СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Крамина Т.А. Арочные и сводчатые системы в памятниках архитектуры Древней Руси.....5

Надырова Х.Г. Развитие градостроительной культуры Волго-Камья X - середины XVI веков: итоги исследования.....9

Нугманова Г.Г. Еврейский молитвенный дом в Казани в контексте российского архитектурно-строительного законодательства.....13

Покка Е.В. Полифункциональность пешеходных мостов в рекреационной системе города.....17

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Мубаракшина Ф.Д. Методика начальной проектной подготовки студентов инженеров-архитекторов на специальности «Проектирование зданий».....24

Мубаракшина Ф.Д., Степанчук А.В. О предпосылках формирования типологии мини-гостиниц для этнографического туризма 30

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Афонина О.В. Использование потенциала исторических слобод Казани как важный фактор становления архитектурного своеобразия города.....36

Глазычев В.Л. Устроение российского пространства.....41

Дембич А.А., Давыдов В.А. Интегрированная модель разработки документов по управлению развитием территорий.....45

Закирова Ю.А. Формирование системы городских пешеходных прогулочных пространств на базе муниципально-частного партнерства.....49

Залетова Е.А. К вопросу формирования основ планировочной культуры у студентов градостроительной специальности.....55

Крашенинников А.В. Профессиональные компетенции градостроителей.....59

Мухамедзянова З.Н. Особенности формирования жилой среды в центральной части современного мегаполиса.....66

Старостенко Ю.Д. Новый центр Москвы в 1920-1930-е гг. 73

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Гимранов Л.Р. Исследование жесткости узла опирания профилированного настила на верхний пояс ферм из ГСП.....79

Ерышев В.А., Тошин Д.С., Латышев Д.И. Расчетная модель определения остаточных деформаций изгибаемых железобетонных элементов при разгрузке.....85

Исаев А.В., Кузнецов И.Л. Вариантность критериев оптимальности при синтезе рационального конструктивного решения на примере стальных стропильных ферм.....92

Майстренко И.Ю. Прогнозирование остаточного ресурса металлических конструкций мостов на основании имитационного статистического моделирования процесса нагружения.....99

Манапов А.З. Статистическое моделирование снеговой нагрузки на территории Республики Татарстан.....106

Потапов А.В. Устойчивость стальных стержней открытого профиля с учетом реальной работы материала.....112

Прокофьев Е.И., Шипилов Р.В. Ключевые аспекты безопасности в проектировании спортивных сооружений.....116

Соколов Б.С., Латыпов Р.Р. Экспериментальные исследования работы арматуры в скважине штепсельного стыка железобетонных колонн.....122

Соколов Б.С., Седов А.Н. Экспериментальные исследования комбинированных стыков крупнопанельных зданий с учетом возможных отклонений при их возведении.....129

Удлер Е.М., Пекерман Э.Е. Экспериментальная апробация методики расчета большепролетных тентовых шатров на примере покрытия катка в Казани.....135

Хайруллин Л.Р. Результаты численных исследований трехслойных панелей с технологическим стыком среднего слоя 139

Шипилов Р.В., Манапов А.З., Перикова Е.С. Анализ возможных динамических нагрузок на конструкции трибун спортивных сооружений.....143

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Мустакимов В.Р. Опыт усиления фундаментов зданий в инженерно-геологических условиях Татарстана.....149

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Антонов С.Ю., Антонова А.В., Золотоносов Я.Д. Определение коэффициентов теплопередачи через стенку эллиптических гладких и пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов.....158

Белавина Т.В., Золотоносов Я.Д. Высокоэффективный пароструйный подогреватель для систем теплоснабжения жилых и промышленных зданий.....165

Бройда В.А. Эффективность чиллера с естественным охлаждением при регулировании расхода холодной воды.....176

Зиганшин М.Г., Зиганшин А.М. Полуэмпирическая модель образования автослоя на тканых фильтрационных материалах. Часть 1. Исследование взаимодействия взвешенных частиц и препятствия в потоке.....181

Зиганшин М.Г., Зиганшин А.М. Полуэмпирическая модель образования автослоя на тканых фильтрационных материалах. Часть 2. Опытное исследование фильтрации.....186

Полосин И.И., Кузнецов С.Н., Портянников А.В., Дерепасов А.В. Построение эффективного воздухообмена для помещений производств с местной вытяжной вентиляцией с использованием математической модели.....191

Садыков Р.А., Антропов Д.Н., Крайнов Д.В., Линючкин Ю.Л. Компьютерная симуляция теплогенерирующих установок.....196

СОДЕРЖАНИЕ

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Каюмов Р.А. Экспериментальные исследования гидродинамики установки с закрученным течением.....201

Адельшин А.Б., Леонтьева С.В., Ежова К.А. Очистка технологической воды плавательного бассейна на намывных фильтрах 206

Горшкалев П.А. Определение коэффициента стока и вывод формулы расхода ливневых вод.....211

Жукова О.В., Морозов Н.В., Хузаянов Р.Х., Кудряшов В.Н. Технологическая схема биоочистки нефтесодержащих производственных стоков, основанная на применении отселектированных углеводородокисляющих микроорганизмов.....214

Каратаев О.Р. Сравнительная оценка хлорирующих препаратов при обработке воды плавательных бассейнов.....221

Степанов А.С. Биомембранная и биосорбционно-мембранная очистка сточных вод нефтехимического производства.....226

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Газизуллин Р.Г., Газизуллина Е.В. Технологические характеристики строительных горных пород Сюкеевского месторождения Татарстана.....233

Голубев В.С., Сафиуллин Р.К. Применение мощных CO_2-лазеров для обработки материалов и изделий.....237

Данилов А.М., Логанина В.И., Смирнов В.А. Анализ показателей лакокрасочных покрытий методом главных компонент.....243

Tarek A. Elsayed, Amr A. Elhefnawy, Amr A Eldaly, Gouda M. Ghanem. Properties of locally manufactured hybrid fiber reinforced polymers (HFRP) rebars.....247

Zaruev A.V., Figovsky O.L. Production process of the new advanced nano-based super abrasive diamond-like B_4C material.....256

Королев Е.В., Гришина А.Н. Основные принципы создания радиационно-защитных материалов. Определение эффективного химического состава.....261

Красиникова Н.М., Хозин В.Г. Новый способ приготовления пенобетона.....266

Круглова А.Н. Метод акустической эмиссии: исследование разрушения эпоксидных композитов.....273

Латыпов В.М., Латыпова Т.В., Авренюк А.Н. Рациональные способы подготовки поверхности бетона при ремонте конструкций после деструктивного воздействия серосодержащих соединений.....277

Логанина В.И., Давыдова О.А. Технологические свойства известковых отделочных составов с добавкой золя.....284

Медведева Г.А., Порфирьева Р.Т., Герасимов В.В. Получение полисульфидных материалов строительного назначения на основе золошлаковых отходов ТЭЦ, модифицированных фосфорсодержащими соединениями.....288

Синкевич А.В., Новиков В.Ф., Танеева А.В. Пространственная модель для оценки сорбционных свойств керамических материалов.....292

Смирнов Д.С., Маслов С.С. О методах оценки качества чугунных радиаторов.....297

Токарев Ю.В., Яковлев Г.И. Модифицирование ангидритовых композиций алюмосодержащими ультрадисперсными добавками.....302

Шмарова Т.С. Технологические свойства полимерсиликатных красок для внутренних отделочных работ.....309

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Игтисамов Р.С. К вопросу о типизации объектов малоэтажной застройки и направлениях развития строительства малоэтажных жилых зданий.....313

Коклюгина Л.А., Коклюгин А.В. К вопросу о разработке организационно-технологической документации.....318

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

Нигматуллин В.С., Нигматуллин И.В., Галиев И.Х. Городскому подземному электротранспорту нет альтернативы 322

ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Кириллин К.В., Филиппов С.И. Обтекание крылового профиля над границей раздела двух весомых жидкостей конечной глубины.....326

Правила представления материалов для публикации в научном журнале “Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета”.....332

УДК 711.168

Т.А. Крамина – доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

АРОЧНЫЕ И СВОДЧАТЫЕ СИСТЕМЫ В ПАМЯТНИКАХ АРХИТЕКТУРЫ ДРЕВНЕЙ РУСИ

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследований распорных систем в памятниках архитектуры Древней Руси. Дан анализ работы арочных и сводчатых конструкций, подвергшихся воздействию долгосрочных факторов, отрицательно повлиявших на сохранность архитектурных форм, свойства строительных материалов и несущую способность конструкций. Рассмотрены причины аварийных ситуаций и конкретные пути снижения распора в арочных и сводчатых системах, что помогает реставратору решать целый ряд задач по разработке реконструктивных мероприятий с учётом всех дефектов, имеющихся в древней конструкции на сегодняшний день и даже прогнозируемых на ближайшее будущее.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Реконструктивные мероприятия, распорные системы, пространственная устойчивость, арочные и сводчатые конструкции.

T.A. Kramina – associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

ARCH AND VAULT CONSTRUCTION FUNCTIONING IN ARCHITECTURE MONUMENTS OF ANCIENT RUSSIA

ABSTRACT

In present work the results of strut system investigations in architecture monuments of Ancient Russia are given. The analysis of arch formed constructions, worked under the long-term influence of a number of factors that had a negative impact on the retention of architecture forms, construction material characteristics and construction bearing capacity is conducted. The reasons of emergency situations and the possibilities to decrease the strut power in arch formed constructions are considered. The findings of the present work help the restaurateur to solve many tasks on reconstructive measures workout with taking into consideration all ancient construction defects and future defect dynamics forecasting.

KEYWORDS: Reconstructive measures, strut system, arch formed constructions, defect dynamics forecasting, retention of architecture forms, architecture monuments of Ancient Russia.

В процессе реконструкции сложных объектов культурного наследия приходится решать целый ряд локальных архитектурных, конструктивных и планировочных задач. В данной работе рассмотрены особенности деформаций одной из древних распорных систем.

Исследования, проведённые на сегодняшний день в области арочных и сводчатых конструкций, не являются достаточными для проведения реставрационных работ и требуют дальнейшего углубления, т.к. не учитывают специфики эксплуатационных воздействий, которые зачастую влекут за собой не только деформации, но и перераспределение нагрузки, вызывая изменение первоначальной конструктивной схемы объекта.

Исходя из этого, целесообразным следует считать рассмотрение вопросов, связанных с анализом многовековой работы арочных систем в памятниках древнерусской архитектуры, выполненным применительно к целям реставрационных работ.

Арки и своды, появившись в Древнем Риме, являлись главным видом покрытий в римской, византийской, романской, готической и ренессанской архитектуре вплоть до появления металла и железобетона в арсенале зодчих. Однако исследования этих конструкций носили эмпирический характер и ставили целью опытным путём получить наиболее оптимальные формы, размеры и соотношения частей в распорных системах. Теоретические исследования такого рода конструкций появились сравнительно

недавно, в XVIII-начале XIX веков. В них можно найти анализ опыта арок и сводов в древние эпохи и графоаналитические расчёты плоской клиновой арки. Более глубокие исследования распорных систем относятся ко второй половине XIX-началу XX веков, среди них труды В.Р. Бернгардта, Н.К. Кривошена, Н.К. Лахтина [3]. Однако в этих работах рассматривается первозданное состояние конструкций, при этом не затрагивается специфика работы деформированных в процессе эксплуатации систем. Нет в них и диагностики деформаций, не учитывается влияние монолитности кладки на устойчивость формы и прочие вопросы, связанные с особенностями кинематики распорных систем.

В разработанном Н.К. Лахтиным «Руководстве к аналитическому расчёту арок и сводов» рассмотрены все основные части подпружных арок, аркбутанов, парусов, сводов и затяжек. Однако, выводы и рекомендации учёного следует считать условными, т.к. сделаны они из предположения, что своды имеют параболическую форму, кроме того, произведён учёт только одной вертикальной равномерно распределённой нагрузки.

В связи с внедрением в практику современного строительства новых строительных материалов и методов возведения арок и сводов в последнее время проведено большое количество исследований, посвящённых вопросам статики распорных систем в конструкциях метрополитена, туннелей, плотин, ГЭС, покрытиях большепролётных зданий и др.

Однако, несмотря на внешнее сходство форм вышеперечисленных конструкций с распорными системами памятников старины, воспользоваться расчётами, рекомендациями и методиками оценки технического состояния, выполненными современными учёными применительно к железобетонным сводам, не представляется возможным. Причина этого заключается в различии между свойствами монолитной и кладочной структуры. В то время, как монолитный железобетон и металл воспринимают напряжения разных знаков, кладка, выполненная из камня или кирпича, способна воспринимать лишь сжимающие напряжения. Только в случаях повышенных прочностных характеристик раствора кладка воспринимает незначительные растягивающие усилия. В зависимости от качества перевязки кирпичей и свойств раствора нагрузка в процессе деформации конструкции может лишь частично перераспределиться вдоль кладочного свода, в то время как железобетонный или металлический свод в тех же самых условиях передают напряжения на большие соседние участки, благодаря продольной арматуре, способной воспринимать растягивающие усилия.

Первые каменные храмы на Руси появляются в X веке и представляют собой крестово-купольную систему, конструктивную основу которой составляет трёх- или пятипролётная арочно-стоечная система, делящая внутренний объём на центральные и боковые нефы. Главные подпружные балки, несущие центральный световой барабан и боковые подпружные арки, служащие основанием для коробовых или крестовых сводов, передают нагрузку на четыре центральных столба. Они делят пространственную систему перекрытия в плане на отдельные модули, которые в зависимости от размера и нагрузки вызывают большие или меньшие распоры, направленные навстречу друг другу. Складываясь или вычитаясь, они создают суммарный неуравновешенный распор, действующий в плоскости подпружных арок продольного или поперечного направления или в диагональных плоскостях. Этот распор передаётся на вертикальные опоры: столбы, колонны, наружные стены, работающие независимо друг от друга или совместно, будучи объединёнными в плоские и объёмные диафрагмы жёсткости. Немаловажное значение имеет совместная работа вертикальных элементов жёсткости с горизонтальной жёсткостью внешнего опорного контура при условии, что в монолитных тонкостенных конструкциях отсутствуют трещины. Плоская многопролётная система является уравновешенной, если опрокидывающее действие распора, передающееся к элементу жёсткости, меньше удерживающей реакции собственного веса и нагрузки, воспринимаемой данным элементом, приложенным с соответствующим плечом относительно точки опрокидывания. В том случае, когда распор превышает эту величину, для поддержания равновесия крестово-купольной системы необходимо либо устанавливать воздушные связи, располагая их в уровне пят подпружных арок, либо использовать внешние дополнительные элементы, такие как: апсиды, контрфорсы, пристройки и др. Ошибочно было бы переоценивать роль воздушных связей в обеспечении начальной пространственной жёсткости, т.к. нельзя не учитывать собственную жесткость опорного контура и эффект сцепления раствора. Однако в процессе эксплуатации, когда возникают деформации древних распорных конструкций, воздушные связи включаются в активную работу.

На начальных и последующих периодах строительства на Руси храмов с использованием крестово-купольных систем происходили серьёзные деформации и многочисленные аварии, такие как обрушение сводов, барабанов, падение вертикальных опор и др. [1]. При этом необходимо отметить, что объекты являлись аналогами византийских сооружений гражданской, культовой и оборонной архитектуры, возведённых несколько тысяч лет тому назад и отлично себя зарекомендовавших как безотказные и долговечные системы. Анализируя этот опыт, приходишь к выводу, что выработанные в Европе оптимальные параметры крестово-купольных сооружений не явились гарантией надёжности при их

механическом перенесении в иной масштаб, с использованием других строительных материалов при специфических грунтовых условиях и прочих особенностях российских построек. Опыт возведения и эксплуатации на Руси взаимствованных образцов распорных систем позволил выработать свои российские строительные приёмы и методы возведения, которые были адаптированы к климатическим, гидрогеологическим условиям с учётом применения местных строительных материалов. Чтобы обеспечить длительное безаварийное существование арочных систем из кладочного материала, были снижены напряжения во всех элементах, исключены растягивающие усилия и обеспечена малая чувствительность конструкции к влиянию внешней среды, что предопределяется либо самим характером конструкций, либо природными условиями места строительства [2].

Рассматривая сохранившиеся до наших времён ранние русские памятники, приходишь к выводу о существовании общих конструктивных признаков, позволявших обеспечить столь большую долговечность объектов. Это:

- малые пролёты центральных и боковых подпружных арок;
- устройство диафрагм или модулей жёсткости;
- снижение суммарного «неуравновешенного» распора системы;
- освобождение воздушных связей от значительных усилий;
- достижение малого интервала напряжений в кладке несущих конструкций и в основании фундаментов.

Со времени возведения первых наиболее значительных и дорогих соборов Древней Руси, таких как Новгородский, Георгиевский собор Юрьева монастыря, церкви Михаила Архангела в Смоленске и др., вплоть до строительства московских кремлёвских соборов крестово-купольная система претерпела большие изменения, продиктованные градостроительными, идеологическими, утилитарными и финансовыми условиями. По характерным конструктивным признакам их можно разделить на рядовые арочно-стоечные системы, перекрытые сводами в одном уровне с центральными подпружными арками; системы с повышенными центральными подпружными арками и системы с пониженными углами.

Продольная ориентация угловых сводов способствует сбору нагрузок преимущественно на подпружные арки продольного направления, передающие распор на главные жесткостные элементы объёма – апсиды. Внутренними элементами жёсткости служат диафрагмы, образуемые жёстким соединением близко поставленных столбов и наружных стен с помощью двух ярусов арочных перемычек или сплошного заполнения. В шестистопных соборах дополнительной жёсткостью являются подпружные арки и столбы западного модуля.

В связи с тем, что боковые подпружные арки, несущие цилиндрические своды рукавов креста, располагаются ниже центральных подпружных арок, распор последних воспринимается ими как горизонтальная нагрузка. Суммарный распор при этом опускается на уровень пят боковых арок.

Существует ещё один способ снижения общего распора крестово-купольной системы. Он заключается в том, что часть распора сводов креста передаётся на угловые пониженные и, следовательно, наиболее жёсткие части объёмной конструкции.

Рассмотренные методы позволяют снизить распор в 1,5-2 раза, что даёт возможность значительно увеличить высоту зданий [2]. Однако нельзя не учитывать тот факт, что деформации, происходившие в процессе эксплуатации и просадки центральных столбов, зачастую обуславливали передачу нагрузки от высокоподнятого барабана непосредственно на наружные стены или опущенные углы, минуя центральные вертикальные опоры. Примером могут служить деформации, произошедшие в церкви Прокопия в Новгороде. Пониженные угловые своды нашли применение в памятниках Смоленска и Новгорода, построенных в XII веке – церковь Михаила Архангела, Рождества в Перыни. Повышенные подпружные арки и ступенчатые своды использовались в черниговской Пятницкой церкви, в псковских и московских постройках. Наибольшее распространение они получили в XIV-XVI вв. Это церковь Спаса на Ильине в Новгороде, Спасский собор Андронникова монастыря, собор Рождества Богородицы Саввино-Строжевского монастыря.

Среди сооружений XVI-XVII вв. преобладают крупные четырёх-, шестистопные пятиглавые соборы крестово-купольной системы, перекрытые коробовыми сводами. Это Архангельский собор Московского Кремля, Успенский собор в Дмитрове, Смоленский собор Новодевичьего монастыря, Софийский собор в Вологде и др., отличавшиеся значительно возросшими размерами общей площади и высоты. Это стало возможным благодаря развитию строительной техники и освоению новых приёмов и методов производства работ. Обеспечение пространственной жёсткости становится для таких сооружений особо сложной задачей, т.к. напряжения в кладке конструкций и основания, сам распор и его опрокидывающее действие резко возрастают.

В соборах, лишённых диафрагм, притворов, пониженных углов и других элементов жёсткости, для противодействия резко возросшему распору возникает необходимость в облегчении перекрытия за счёт снижения его толщины (в 1 кирпич), пригрузке угловых частей здания весом барабана и включением в более активную работу элементов связевого каркаса. С этой же целью нередко использовался приём обстройки

здания галереями. Роль воздушных связей как элементов устойчивости распорной системы резко возрастает, мало того, начинают применять парные связи.

Фактором, сдерживающим увеличение параметров сооружений, являлась несущая способность кирпича, белого камня и основания. Для увеличения прочности кладки в пяты и замки арок, в опорные кольца барабанов и цоколи столбов закладывали вставки из более прочного материала.

С увеличением объёмов сооружений возрастала нагрузка на основания, достигая 0,3-0,6 МПа, в лучшем случае она была предельной, но чаще превышала допустимую величину в 1,5-3 раза [1]. Крестово-купольные системы подвергались в этих условиях деформациям, вызванным большой величиной и неравномерностью просадок грунта. Фундаментные ленты и подушки из мелкоразмерных элементов не обеспечивали равновесие системы «Фундамент-основание». Необходимо было увеличить площадь фундаментов или же применять искусственное укрепление слабого основания забивкой коротких (1,0-1,5 м) деревянных свай по всей площади застройки.

В соборах конца XVII века крестово-купольная система достигла наивысшего развития, образцом могут служить такие соборы, как Успенский в Рязани, Троицкий в Пскове и Успенский в Астрахани. Их размеры и конструктивное совершенство было превзойдено только после освоения подъёмно-транспортных механизмов, паровых копров, внедрения техники механической обработки металла и камня; использования цементного раствора и армирования кладки.

Это сооружения, возведённые уже в XIX веке: Исаакиевский собор в Санкт-Петербурге, храм Христа спасителя в Москве и др.

Таким образом, для решения проблемы диагностики деформаций и сохранения распорных конструкций в памятниках Древней Руси необходимо комплексное исследование, первый этап которого представлен в данной статье. Здесь дана классификация основных типов распорных систем и рассмотрено их развитие, а также проблемы, возникавшие на каждом этапе этого развития. Особое внимание уделено анализу деформаций и аварийных ситуаций и выявлению причин, их вызвавших.

На основе анализа работы распорных систем и их отдельных элементов под действием нагрузок в процессе эксплуатации предложены мероприятия, обеспечивающие устойчивое состояние конструкции. Рассмотренные принципы снижения уровня распора в системах с подвешенными подпружными арками или с пониженными углами рекомендуется использовать для создания пространственной жёсткости и равновесия крестово-купольных сооружений, роль воздушных связей при этом должна быть определена в строгой зависимости от параметров сооружения, особенностей конструктивного решения, деформаций и пр. Выявление зависимости между распором, опрокидывающим, восстанавливающим моментами и комплексной характеристикой крестово-купольной системы являются при этом определяющим фактором.

Литература

1. Балковски Ф.Д. Санирование исторических зданий. – М.: Стройиздат, 2002. – 80 с.
2. Исследование деформаций, расчёт несущей способности и конструктивное укрепление древних распорных систем. Методические рекомендации. – М.: Изд-во «Росреставрирование», 1989. – 282 с.
3. Лахтин Н.К. Расчёт арок и сводов. – СПб., 1911. – 106 с.

УДК 72.03 (470.40)

Х.Г. Надырова – кандидат архитектуры, доцент, заведующая кафедрой архитектурной композиции
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

РАЗВИТИЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ КУЛЬТУРЫ ВОЛГО-КАМЬЯ X - СЕРЕДИНЫ XVI ВЕКОВ: ИТОГИ ИССЛЕДОВАНИЯ

АННОТАЦИЯ

В статье подведены предварительные итоги исследования развития градостроительной культуры Волго-Камья в X - середине XVI вв. в рамках Волжско-Камской Булгарии, Булгарского улуса Золотой Орды и Казанского ханства. Установлено, что в рассматриваемый период с появлением нового государства в регионе изменялась система расселения и градостроительная культура. В данный период в Волго-Камье у каждого из этих государств была своя столица с характерной архитектурно-пространственной структурой – концентрической, линейно протяженной или секторной. Общей традиционной чертой средневековых столиц Волго-Камья была единая восточно-мусульманская типология культовых, мемориальных и общественных зданий, срубно-деревянная и кирпично-каменная техника возведения жилых и общественных зданий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Типология, планировка, структура, градостроительная культура.

K.G. Nadirova – candidate of architecture, associate professor, head of Architectural Composition department
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

DEVELOPMENT OF URBAN PLANNING CULTURE OF THE VOLGO-KAMYA IN X - MIDDLE XVI CENTURIES: INVESTIGATION RESULTS

ABSTRACT

In the article the preliminary research results of development of urban culture of the Volga-Kamya in X- middle XVI centuries in the Volga-Kama Bulgaria, Bulgarian Ulus of the Golden Horde and the Kazan Khanate are presented. In that period of new state appearance in the region the system of settlement and urban culture were changed. During that period, in the Volga- Kamya each of these states had their own capital with a special spatial structure: concentric, linearly extended or sectorial. The common traditional feature of medieval capitals of the Volga-Kamya was a common east-Muslim typology of cult, memorial and public buildings, and a log-wood and brick-stone technique of residential and public buildings development.

KEYWORDS: Structure, type, urban culture.

Цель настоящего исследования – выявление общих закономерностей и особенностей градостроительной культуры Волго-Камья, её роли и места в общем урбанистическом процессе развития Восточной Европы и некоторых регионов Евразии в средневековый период. В связи с этим ставились следующие задачи:

- изучить процесс формирования и особенности развития системы расселения в рамках средневековых государств региона, проблемы формирования и развития городов Волго-Камья в средневековый период;
- определить закономерности архитектурно-пространственной организации и сложения образа средневековых столичных городов региона;
- выявить общие традиционные черты средневековой градостроительной культуры Волго-Камья;
- сравнить развитие градостроительной культуры региона с общим процессом развития градостроительства в Восточной Европе и других регионах Евразии (стран мусульманского Востока и христианского Запада) за 6,5 веков;
- исследовать проблему взаимодействия оседлой и кочевой культур и влияния ее на развитие урбанизма в регионе и в целом в Восточной Европе.

С начала X до середины XVI вв. территория Волго-Камья своей большей частью последовательно входила в состав Волжско-Камской Булгарии, Золотой Орды (Булгарским улусом) и Казанского ханства. В Волго-Камье не было традиций античного и древнего градостроительства и ранее не существовало городов. В Восточной Европе на территории Волго-Камья и в её северо-западной части, где складывалось Древнерусское государство, на рубеже IX-X вв. начали

формироваться градостроительные культуры. Процесс формирования городов в Восточной Европе в средние века происходил на фоне перехода кочевников к оседлости и разрушения городов Хазарии в низовьях Волги.

Волжско-Камская Булгария, Булгарский улус Золотой Орды и Казанское ханство являлись государственными образованиями с моноцентричной системой расселения. Для них было характерно преобладание по габаритам и архитектурно-градостроительной значимости одного столичного города, что обуславливалось, вероятно, особенностями государственного устройства с сильной центральной властью. В этих государствах последовательно складывались собственные системы расселения со своими столицами и иерархией городов и населенных пунктов, обладавшие преемственностью друг с другом только в определенной степени. Часть поселений существовала на своих местах в течение всего средневекового периода, при этом могли изменяться тип и величина поселения. Население региона при сохранении определенной преемственности также постепенно трансформировалось из булгарской в татарскую народность, которая была далеко не однородной.

На протяжении всего средневекового периода сохранялась традиция расположения крепостей вблизи мест впадения притоков в Волгу и Каму. Они защищали и закрывали проход во внутренние территории государств по этим водным дорогам, являвшимся их основными коммуникациями. На главных водных магистралях региона (Волге, Каме, Казанке, Вятке, Мёше, Ветлуге) имелась сеть пристаней и переправ, обслуживавшихся специальными поселениями и защищенных крепостями. Система расселения региона в процессе развития с начала X до середины XVI вв. отражала изменения в градостроительном развитии Волго-Камья в рамках названных государств. В булгарский период наиболее развитой в градостроительном плане была территория Закамья, где располагалась столица Биляр, а Предволжье и Предкамье имели небольшое количество городов по берегам крупных рек региона. В золотоордынский период поселения всех типов тяготеют к берегам Волги и Камы и других рек во всех зонах, сеть таких поселений значительно уплотняется. Происходит как бы переход поселений различных типов из внутренних районов этих зон к прибрежным территориям региона. В период Казанского ханства при практически полном разрушении системы расселения в Закамье, на территориях Предволжья и Предкамья она приобретает равномерную структуру, представленную в основном городами-крепостями, являющимися центрами даруг (Арск, Чаллы, Алат, Зюри и другими), городками – вотчинными центрами, военными крепостями и сельскими поселениями. Изменения в системах расселения этих государств в первую очередь проявлялись в смене столичных городов: Биляра – Булгара – Казани.

Города региона в рамках средневековых государств были связаны с городами Русского государства и других регионов Восточной Европы системой Волжского пути и трансконтинентальными дорожными коммуникациями. Они находились на одном уровне развития и были включены в единую восточно-европейскую структуру расселения.

Развитие градостроительства региона в рассматриваемый период отражает теорию «постколлизийной» эволюции в градостроительстве [1]. Согласно ей, после глобальных и исторически кардинальных потрясений в регионе происходили изменения в системе расселения и градостроительстве. После монгольского погрома и включения региона в состав Золотой Орды мысовые и равнинные города Булгарии всех типов пространственной организации в обводе нескольких линий стен, валов и рвов сменились открытыми, без оборонительных стен линейно протяженными городами. С распадом Золотой Орды и гибелью Булгарского улуса в Казанском ханстве возродился тип мысового города с цитаделью, «внутренним» и «внешним» городом, опоясанными оборонительными поясами.

В развитии средневековых столичных городов региона: Биляра, Булгара и Казани – выявлены некоторые особенности и закономерности архитектурно-пространственной организации и сложения образа. Все три города имели разные формы архитектурно-пространственной организации: расположенную на ровном рельефе, закрытую, концентрическую пространственную структуру с перекрестной, переходящей в радиально-кольцевую планировочную структуру в г. Биляре; открытую, без оборонительной системы, линейно протяженную с квартально-уличной застройкой, расположенной на верхней береговой террасе, склоне и его подножии на нижней террасе в г. Булгаре; закрытую, с крепостью на высоком мысе, посадом на холмах с веерной планировочной структурой, в основе которой лежала трехлучевая система основных коммуникаций в г. Казани. Облики этих городов в силу разных ландшафтных условий и различных форм архитектурно-пространственной организации были разными. Объединяющей их общей традиционной чертой средневековой градостроительной культуры столиц Волго-Камья была единая восточно-мусульманская типология культовых, мемориальных и общественных зданий, срубно-деревянная и кирпично-каменная техника возведения жилых и общественных зданий.

Особенностью средневекового периода развития градостроительной культуры Волго-Камья является разнообразие типов городов, преобладавших в том или ином государстве, сменявшихся один другим при военных катаклизмах или с появлением различных факторов и с изменением условий развития.

Преемственностью обладали города-крепости мысового типа с деревянно-земляными укреплениями. Даже в золотоордынский период они могли существовать как крепости для оставшихся в завоеванных землях монгольских гарнизонов. На каждом этапе развития градостроительной культуры в хронологических рамках государственных образований на территории Волго-Камья наблюдались определенные соотношения традиций и новаций. Наиболее ярко новации в градостроительной культуре региона проявились в организации городов нового типа. В булгарский период это был тип закрытого, с концентрической организацией пространства города на пологом рельефе с монументальными зданиями восточно-мусульманской типологии, а в золотоордынский период – открытые, линейно протяженные в пространстве города с аналогичной типологией зданий.

В градостроительных культурах Волго-Камья и других регионов Восточной Европы, в первую очередь Русского государства, общими чертами обладали те их составляющие, что не были связаны с религиозной идеологией, а обуславливались схожими природно-климатическими условиями и одинаковым уровнем технического прогресса. Волго-Камье в средневековый период являлось регионом распространения передовых и прогрессивных для своего времени достижений архитектурно-градостроительной культуры стран мусульманского Востока. Процесс развития градостроительной культуры Волго-Камья имел аналогичные тенденции с мавританской Испанией и Среднеазиатским регионом в плане распространения мусульманской типологии зданий и взаимодействия арабо-мусульманских и традиционных региональных градостроительных культур [2, с. 184-186; 3]. Процесс становления и развития городов в Волго-Камье в X-XII вв. протекал также синхронно с возникновением городов и развитием урбанизма в северной половине Западной и Центральной Европы [4, с. 22]. В южной части Западной Европы, известной традициями античного градостроительства, после периода упадка также началось возрождение городов. В IX-X вв. в Средней Азии и на юге Казахстана наблюдался подъем урбанизма, продолжавшийся до начала XIII в. и которому были свойственны особенности, идентичные развитию градостроительства в Волго-Камье [5, с. 75-90]. Эти особенности заключались в активном включении регионов в орбиту общемусульманской культуры и взаимодействии с культурой кочевых народов. Кардинально изменившееся градостроительство Волго-Камья в составе Золотой Орды еще в большей степени контрастировало с западноевропейским градостроительством и обладало общими чертами с городами с Синей Орды и Хулагуидского Ирана – открытостью, монументальными зданиями мусульманской типологии.

Характерной чертой градостроительного освоения территорий Восточной Европы в эпоху средневековья явилось отсутствие преемственности городской жизни: большинство античных, а затем хазарских и аланских городов было разрушено, затем погибли и золотоордынские города. После походов Тамерлана города Дона, Кубани, Предкавказья больше не возродились, а степи снова стали кочевым «Диким полем» [6, с. 284]. В этих условиях в центральной полосе Восточной Европы сложился урбанистический пояс, отделенный с юга от древних и высокоразвитых урбанистических территорий широкой полосой кочевых степей, в которых существовали в разные периоды островки городской культуры. На севере к урбанизированным территориям этих государств подступали малонаселенные финно-угорскими племенами или безлюдные лесные пространства.

Градостроительные культуры Казанского и других ханств Восточной Европы обладали общностью становления на осколках золотоордынской культуры с утратой преемственности в организации столичных городов. Развитие их основывалось на возрождении традиционных региональных принципов организации городов: мысовое расположение в ландшафте, наличие укрепленных цитаделей, крепостей, посадов, возведение монументальных зданий мусульманской типологии.

На протяжении рассматриваемого периода в культуре региона сложились определенные закономерности и традиции. Определяющим качеством для них было то, что города и села в этот период были исламскими, с характерным жизненным укладом, мусульманской типологией культовых и общественных сооружений, формировавших их своеобразный облик. Изменяясь конструктивно и стилистически на протяжении этого периода, монументальная архитектура в городах Волжско-Камской Булгарии, Булгарского улуса в составе Золотой Орды и Казанского ханства, тем не менее, в типологическом плане оставалась мусульманской. Привнесенная в Волго-Камье и получившая широкое распространение восточно-мусульманская типология культовых (мечети и минареты), мемориально-культовых (усыпальницы-дюрбе) и общественных (бани, караван-сараи) зданий стала в регионе традиционной.

Средневековая градостроительная культура Волго-Камья имела общие черты с соответствующей культурой Русского государства на синхронных этапах развития.

В Волго-Камском регионе Восточной Европы в X-сер. XVI вв. сформировалась и достигла высокого уровня развития градостроительная культура, ставшая своеобразной, самой северной по расположению частью общемусульманской градостроительной культуры Евразии. В качестве самобытной черты этой культуры можно рассматривать сохранение в застройке или использование в сезонных поселениях юрт и шатров как реликтов кочевой культуры.

Литература

1. Хакимов Акбар. Среднеазиатский регион // Sanat art. 2002, № 2.
2. Город в средневековой цивилизации Западной Европы. Т.4. Extra muros Город, общество, государство. – М.: Наука, 2000. – 353 с.
3. Лавров В.А. Градостроительная культура Средней Азии. – М., 1950. – 177 с.
4. Город в средневековой цивилизации Западной Европы. Т.1. Феномен средневекового урбанизма. – М.: Наука, 1999. – 390 с.
5. Байпаков К.М. Средневековый Отрар // Градостроительство и архитектура. Культура Среднего Востока – развитие, связи и взаимодействия (с древнейших времен до наших дней). – Ташкент: Изд-во «Фэн», 1989. – С. 75-90.
6. Есаулов Г.В. Особенности освоения территорий и эволюция архитектурных форм на юге России в эпоху средневековья // Фундаментальные и приоритетные прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2007 году. Научные труды РААСН. Том I. – М. - Белгород, 2008. – С. 280-285.

УДК 72.03 (470.40)

Г.Г. Нугманова – кандидат искусствоведения, заместитель директора Казанского представительства
Научно-исследовательский институт теории архитектуры и градостроительства Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИТАГ РААСН)

ЕВРЕЙСКИЙ МОЛИТВЕННЫЙ ДОМ В КАЗАНИ В КОНТЕКСТЕ РОССИЙСКОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена взаимоотношениям российской имперской власти с проживающими на территории России инородцами на примере государственного регулирования в области культового зодчества. История проектирования еврейского молитвенного дома в Казани чрезвычайно показательна и отражает реальные взаимоотношения властей разных уровней с иноверцами, которые носили порой драматический характер. Работа основана на новых архивных текстовых и графических документах, впервые введенных автором в научный оборот.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Российское архитектурно-строительное законодательство, архитектура, культовое зодчество, синагога, еврейский молитвенный дом.

G.G. Nugmanova – candidate of fine arts, deputy director
Kazan branch of the Research Institute of the Theory of Architecture and Town Planning of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences (RITATP RAABS)

THE JEWISH PRAY-HOUSE IN KAZAN IN THE CONTEXT OF RUSSIAN ARCHITECTURE AND CONSTRUCTION LEGISLATION

ABSTRACT

The article is devoted to the interrelationships between the Russian Empire power and non-Christian population of Russia with the example of state regulation in the field of cult architecture. The history of the Jewish pray-house planning is utterly significant, and reflects the real interrelationships between the authorities and non-Christian population of Russia, which were dramatic sometimes. The work is based on new archive documents, which were firstly used as the scientific ones by the author.

KEYWORDS: Russian architecture and construction legislation, architecture, cult architecture, synagogue, Jewish pray-house.

Известный указ Екатерины II от 17 июня 1773 г. объявил о «веротерпимости» в многонациональной и многоконфессиональной Российской империи. Однако проводимая властями политика веротерпимости отличалась неоднозначностью по отношению к разным конфессиональным группам населения. При наличии нескрываемых преференций по отношению к государственной религии – православию, российское государство считало необходимым демонстрировать лояльное отношение и покровительство к другим конфессиям – христианским не православного исповедания (их называли инославными), а также нехристианским, т.е. иноверческим. Документы свидетельствуют, однако, что в реальности взаимоотношения религиозных общин и властей разных уровней носили непростой, порой драматичный характер. Наиболее остро складывались отношения государства с иноверцами.

Данная статья посвящена истории проектирования еврейского молитвенного дома в Казани, чрезвычайно показательной и отражающей реальные взаимоотношения власти с иноверцами. Она основана на новых архивных текстовых и графических документах, впервые введенных автором в научный оборот и рассмотренных в контексте российского архитектурно-строительного законодательства в ряде работ [1, 2].

Область культового зодчества относилась к той сфере архитектурно-градостроительной деятельности, которая подлежала государственной регламентации. Для иноверческих храмов регламентация в первую очередь касалась их расположения относительно православных церквей: не ближе 100 сажень в случае, если они находились по одной улице, и не ближе 50 сажень – на разных улицах. Строительное законодательство не диктовало архитектурный облик еврейских синагог и молитвенных домов [3].

В связи с расширением в период правления Александра II территории проживания евреев в 1868 г. министр внутренних дел получил право, не испрашивая Высочайшего дозволения, самолично разрешать учреждение молелен с правлениями при них «для заведования внутренним устройством и хозяйством». Но вопрос этот решался в каждом случае отдельно по представлению губернского начальства.

Казанские евреи, проживавшие в Казани с николаевских времен и имевшие молитвенные дома в наемных помещениях, впервые обратились к губернатору с просьбой разрешить открыть молельный дом только в 1889 г. Ходатайство было отклонено ввиду незначительности, по мнению губернатора, еврейского населения, а также «разнородности религий, живущих в г. Казани». Прошение, поданное в 1895 г., вовсе осталось без ответа. В следующем 1896 г. еврейская община вновь обратилась к губернатору с ходатайством о представлении ее просьбы на благоусмотрение министра внутренних дел. Евреи указывали на тот факт, что большинство городов центральной России, а также многие приволжские и камские города в это время уже имели правительственных раввинов и молитвенные дома. Исключением являлась Казань, где «более сотни еврейских семейств живут, женятся, родятся и умирают в полном беззаконии, вследствие отсутствия раввина и какой-либо правильной регистрации». Браки, совершавшиеся среди евреев Казани, являлись по гражданским законам недействительными, т.к. не заносились в метрические книги, соответственно, дети, произошедшие от этих браков, формально считались незаконнорожденными. Казанский полицмейстер находил в этой ситуации назначение казенного раввина и устройство молельного дома даже желательным.

Сложнее складывались отношения общины с православной Епархией, согласие которой в решении вопроса было обязательным. Примечательно, что в официальной переписке властями часто неправомерно и некорректно употреблялся термин «синагога» – не официальное, а общеупотребительное, бытовое название иудейской молельни. Естественно, что оно заведомо вызывало определенное раздражение, как это, в частности, наблюдалось в переписке с казанской консисторией. Именно так, по-видимому, именовалась молельня в запросе из губернского правления, потому что в ответном письме из консистории сообщалось, что она «ни в коем случае не может и не имеет права дать свое согласие на открытие синагоги вообще в г. Казани, а тем более в центре города, как предполагают евреи». Консистория, в конце концов, дала свое согласие. При этом она сочла желательным вынести нынешний молельный дом на Малой Проломной улице (ул. Профсоюзная) на окраину города, хотя и признавала законность его расположения. Губернатор направил прошение министру, считая, однако, что «улучшение условий быта евреев в гор. Казани повлечет к нежелательному усилению наплыва этого элемента в город», а потому сопроводил просьбу резолюцией «ходатайство евреев … ввиду изложенных выше соображений полагалось бы не заслуживающим удовлетворения».

В 1897 г. министр выдал разрешение на устройство еврейского молельного дома в Казани. Поиск подходящего участка под строительство, несмотря на множество имевшихся вариантов, затянулся на несколько лет. Властей главным образом беспокоила недостаточная, по их мнению, отдаленность от православных храмов, даже в тех случаях, когда расстояние укладывалось в законодательные рамки. Так, расположение предполагаемого участка на Булаке между двумя православными храмами – Владимирской и Успенской церквями, к тому же в одном квартале с последней, послужило поводом к отказу в разрешении покупки: выражались опасения, что молельня своими размерами затмит церковь. Городские власти со своей стороны предлагали, не прибегая к строительству нового здания, купить более обширные дома на окраинах – Плетенях, Подлужной и Старо-горшечной улицах, представлявшие «то удобство, что отдалены от места расположения православных храмов и устройство в них моленной не может служить поводом к религиозному соблазну».

Участок Абдрахмановой на Большой Варламовской улице в Забулачной части города наконец устроил обе стороны. Проект молельного дома, разработанный в 1901 г. К.С. Олешкевичем, относится к числу неизвестных работ этого видного городского архитектора.

Во внешнем убранстве эклектичного фасада с боковым раскреповками, отмеченными четырехгранными пирамидальными куполами-башенками, присутствовали необычные детали, придававшие облику здания яркий, бросающийся в глаза своей непривычностью вид – маленькие сдвоенные окошки третьего этажа и второго света молельного зала, напоминающие скрижали, звездчатое заполнение круглого окна-розетки над арочным входом с переплетами, усложненными лопастями, многослойные элементы в ограждении кровли и пилястрах.

Получивший одобрение строительного отделения Казанского губернского правления архитектурный облик здания показался однако губернатору вызывающим и слишком явно ассоциирующим с синагогой. Завязавшаяся переписка губернатора с Департаментом духовных дел иностранных исповеданий протекала под грифом «секретно». Губернатор писал: «… принимая во внимание как значительные размеры предполагаемого строения (12 с небольшим метров по улице – Г.Н.), … так и *восточный* стиль, придающий зданию *особый* характер (курсив мой – Г.Н.), считаю своим долгом покорнейше просить Ваше Превосходительство не отказать в

сообщении мне своего по настоящему делу заключения». Министр внутренних дел счел утверждение проекта строительным отделением неправильным – «фасад оной не должен был иметь характерных признаков синагоги и подлежит совершенному упрощению».

Таким образом, несмотря на отсутствие каких-либо официальных предписаний относительно внешнего вида двух имевшихся разновидностей иудейских молелен – синагог и молитвенных домов (школ), власти обоих уровней не готовы были вписать в русский городской пейзаж чуждый («особый», «восточный») образ, хотя вблизи уже располагались иноверческие мусульманские мечети.

Известно, что синагоги не являлись храмами, это были молитвенные дома, где совершались общественные богослужения. Собственно, именно потому для них долгое время не существовало архитектурно-строительных канонов. Понятие молитвенного дома было введено в законодательные документы государственными чиновниками в 1835 г. как средство регулирования, ограничения распространения иудейских молелен, поскольку тип разрешаемой молельни зависел от размера поселения. В конце XIX столетия, когда потребность в зримом выражении конфессиональной принадлежности распространилась и на иудаизм, и в то же время происходило распространение иудейских молелен по всей стране, проблема регламентации приобрела большую остроту. Тогда и стало складываться противопоставление синагог и молитвенных домов по внешнему признаку. Первые могли иметь выраженный восточный характер и значительные размеры, а вторые – нет. Более точные разъяснения относительно вторых были представлены в губернское правление в 1912 г. (!) товарищем министра внутренних дел: «По точному смыслу закона еврейские молельни должны быть устраиваемы в существующих уже и предназначенных для обычного пользования зданиях». Далее добавлялось: «если же по местным условиям представляется необходимым сооружение нового здания для устройства в нем еврейской молельни, то здание это не должно отличаться от обыкновенных построек и отнюдь не иметь по внешнему виду характера еврейского богослужебного здания» и «чтобы на фасаде не было допущено устройство куполов, башен, эмблем или других этого рода украшений».

Возникшей заминкой воспользовался казанский губернатор, вновь написав министру внутренних дел: «... я, со своей стороны, находил бы постройку в Казани особенного здания для молельни излишнею и нежелательной, тем более, что ходатайство евреев в этом направлении вызвано в действительности стремлением их к наибольшей национальной обособленности от местного русского населения». Шел 1904 год.

Происходивший в стране общественный подъем, приведший, как известно, к первой русской революции, требовал от властей решения многих назревших вопросов, в том числе национально-конфессиональных. Новая общественная ситуация благотворно сказалась на решении проблемы казанских евреев. В декабре того же года Департамент духовных дел иностранных исповеданий вдруг признал возможным удовлетворить ходатайство о постройке здания молитвенного дома «ввиду значительного числа проживающих в Казани евреев и тесноте занимаемого ныне молельней наемного помещения».

Таким образом, евреи, наконец, могли приступить к строительству здания молельни. Однако к этому времени часть участка они успели продать, по-видимому, уже не рассчитывая на положительное решение вопроса. Поиск нового участка длился восемь лет – только в 1912 г. было приобретено владение Беленкова на той же Малой Проломной улице, на которой община уже снимала помещение в доме Смоленцева, вызывая недовольство властей. Губернские власти на этот раз не препятствовали покупке участка на этой улице, считая, что она составляла «зады двух улиц – Большой Проломной и Воскресенской, а потому, сравнительно мало населена». Министерство разрешило строительство «с тем, чтобы постройка эта по своим размерам и по внешнему виду не отличалась от обыкновенных городских зданий».

Еврейский молитвенный дом был возведен в 1915 г. Здание в стиле модерн спроектировал губернский инженер Н.М. Андреев (проект также неизвестен исследователям). На его главном фасаде выделялась центральная часть, отмеченная аттиком и двумя подковообразными проемами, один из которых служил въездом во двор, а второй – парадным входом. Сдвоенные маленькие окна на аттике имитировали скрижали, а обрамляющие их декоративные элементы напоминали свитки Торы, рисунок лестничной ограды содержал изображения шестиугольной звезды. Восточные черты более всего проявлялись на скрытом от глаз дворовом фасаде двусветного молельного зала, объем которого располагался перпендикулярно уличному корпусу.

Так завершилась эта длительная история возведения молельни одной из иноверческих общин города, которая продемонстрировала явное сопротивление как со стороны местных, так и столичных властей. Преодолевая это сопротивление на каждом этапе, евреи, в конце концов, добились удовлетворения своих законных прав, хотя на это потребовалось в общей сложности 47 лет. Было разработано 4 проекта (кроме указанных здесь, существовали еще два – с «упрощенным» фасадом для участка на Варламовской улице и с внесенными по техническим причинам изменениями на ул. М. Проломной), рассмотрение которых производилось с особым пристрастием и

сопровождалось обширной перепиской, перепроверено на предмет соответствия законности около десятка городских участков, подано множество прошений. И даже при удовлетворении всех требований решение могло быть принято не в пользу общины без всяких объяснений.

Таким образом, мы видим, что в целом в общественном сознании властей в этот период произошли изменения в пользу некоторого равноправия. Однако древние страхи и предрассудки продолжали определять их настроения, которым всякое послабление в отношении иноверцев представлялось опасным. Переписка с центральной властью по вопросу о казанской синагоге создает впечатление, что местная администрация не вполне была уверена в искренности намерений центральной власти укрепить начала веротерпимости по отношению к евреям, и ответы центра показывают, что эти сомнения не были беспочвенными. Начиная с определенного момента, высшие государственные власти четко осознавали необходимость создания некоторых условий для реализации культовых потребностей неправославных жителей империи. С одной стороны, попытки насильственного крещения показали свою неэффективность по отношению к представителям мировых религий. С другой стороны, начиная с XVIII века, возникла ориентация на европейский опыт относительной веротерпимости. Местные власти (светские и духовные) оказывались в позиции медиума между государством и населением. Выполняя законы и предписания центральных властей, они зачастую чинили больше препятствий, чем эти законы и предписания предполагали, присоединяясь тем самым к ксенофобии значительной части православного населения и во многом ее инспирируя. Первые попытки формирования архитектурного образа еврейского молитвенного дома в России относят к 1870-м гг. [4]. В начале XX века принятый в этой области храмового строительства вслед за Европой мавританский стиль уже не казался вызывающим. Сложная и временами драматическая история строительства еврейского молельного дома в Казани пришла к благополучному завершению, свидетельствуя, кроме всего прочего, о достижении определенного этапа в эволюции российского общественного сознания.

Литература

1. Нугманова Г.Г. Архитектурно-строительное законодательство Российской империи и храмы иноверческих и неправославных христианских исповеданий Казани / Региональное многообразие архитектуры России. Ред-сост. Г.Г. Нугманова. – М., Казань: НИИТАГ РААСН, АН РТ, 2007. – С. 172-208.
2. Нугманова Г.Г. Иноверцы в Российской империи и этноконфессиональное в архитектуре / Вопросы всеобщей истории архитектуры. – М.: НИИТАГ РААСН, 2009 (в печати).
3. Устав строительный. – СПб., 1857.
4. Кириченко Е.И., Нащокина М.В. Градостроительство России середины XIX – начала XX века / Под ред. Е.И. Кириченко. – М., 2001. – 340 с.

УДК 624.2

Е.В. Покка – аспирант, ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ ПЕШЕХОДНЫХ МОСТОВ В РЕКРЕАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ГОРОДА

АННОТАЦИЯ

Вопросам проектирования комфортного пребывания человека в рекреационной системе города и ее элементах уделяется много внимания. Как показывает мировой опыт проектирования и функционирования этих систем, их элементы включают в себя, помимо основной функции передвижения, функции, способствующие процессу общения. Пешеходный мост как элемент системы рекреации может быть полифункциональным по заранее спланированной схеме или стать полифункциональным в процессе развития системы рекреации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Система пешеходных связей, городская рекреация, линейный рекреационный объект, пешеходный мост, полифункциональность.

E.V. Pokka – post-graduate student, assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

PEDESTRIAN BRIDGES MULTIFUNCTIONALITY IN URBAN SISTEM OF RECREATION

ABSTRACT

Nowadays a lot of attention is given to the questions of design of comfortable staying for a person in city recreational system and its elements. According to world experience of designing and functioning of these spaces, such elements include not only basic movement functions, but also the functions promoting the communication process. The pedestrian bridge as a recreational system element can be multifunctional according to scheme planned in advance, or to become a multifunctional as a result of the recreational system development.

KEYWORDS: System of pedestrian links, city recreation, line recreation object, pedestrian bridge, multifunction.

Международный градостроительный семинар, проходивший в Казани в августе-сентябре 2008 года, акцентировал значение комфортности рекреационных зон в городской среде крупных мегаполисов и продемонстрировал современное градостроительное мышление в формировании этих зон. Пересечению рекреационных зон с городскими транспортными системами участниками семинара было уделено особое внимание.

Категорически отказавшись от методов решения проблем пересечения рекреационных и транспортных потоков путем строительства подземных пешеходных переходов, столь популярных в недавнем прошлом, градостроительная практика вернулась к веками накопленному опыту строительства надземных переходов как к инструменту более комфортного решения этих задач.

Пешеходная система города обеспечивает реализацию двух видов функциональных процессов: утилитарно-потребительского и рекреационного.

Утилитарно-потребительская деятельность пешехода строится по заранее обусловленной схеме. Для ее обеспечения требуются: непрерывность пешеходной системы, безопасность и физический комфорт передвижения в ней.

Рекреационная деятельность пешехода в дополнение к утилитарно-потребительской включает также такие виды деятельности, как досуг и развлечение. Ее построение зависит от множества факторов, неизвестных заранее, возникающих спонтанно или по спланированному архитектором сценарию.

Полифункциональность объектов рекреации включает широкий веер предложений по оказанию услуг рекреанту. Она предоставляет ему свободу выбора поведения, возможность одновременного выполнения нескольких действий, тем самым формируя спрос на предоставляемый веер услуг.

Города формируют свои рекреации в качестве интегрированных полифункциональных

пространственно-планировочных систем, отдавая им свои лучшие территории [1]:

- ландшафтно-живописные,
- эколого-привлекательные,
- культурно-познавательные,
- художественно-эстетические,
- социально-активные [2].

Когда пешеходные трассы, обеспечивающие связи в пространственно-планировочных системах, прокладываются также в ландшафтно-живописных, художественно-эстетических и (или) социально-активных местах города, тогда пешеходные трассы сами являются рекреационными объектами (линейными).

В процессе формирования исторических городов складывались различные типы линейных рекреационных объектов: улицы, бульвары, галереи, пассажи, парки, набережные и т.д. [3]. Значительную роль в формировании этих линейных рекреационных объектов играли пешеходные мосты. В отличие от мостов утилитарно-потребительской пешеходной системы, пешеходные мосты рекреационной системы выполняют также задачу повышения художественно-эстетической составляющей комфортности пребывания рекреантов: дополняют ландшафтно-живописные и (или) художественно-эстетические качества среды или способствуют их восприятию. Таким образом, пешеходный мост как элемент линейной рекреационной системы города становится полифункциональным.

В толковом словаре приводится следующее определение понятию «мост»:

Мост – сооружение, соединяющее два пункта земной поверхности, разделенные водою, рвом или каким-нибудь другим препятствием и дающее возможность сообщаться между ними [4].

Определение «переход» включает более широкое понятие, в т.ч. включает понятие «мост»:

Переход – 1. Действие по значению глагола «переходить»; 2. Место, где можно перейти с одной стороны чего-либо на другую; 3. Специальное сооружение или часть здания, соединяющая одно помещение с другим (коридор, галерея); 4. Расстояние от одного пункта до другого, преодолеваемое пешком без длительной остановки; время преодоления расстояния; 5. Передвижение от одного пункта до другого без длительной остановки; 6. Момент, когда что-либо одно, изменяясь, превращается во что-либо другое; то, что характеризует момент такого превращения [4].

Соединив эти два определения, получаем определение понятия «пешеходный мост»:

Пешеходный мост – сооружение для преодоления препятствия, по которому можно перейти от одного пункта земной поверхности на другой посредством их соединения.

В данной цепи рассуждений пешеходный мост нас интересует с точки зрения происходящего процесса.

Понятие полифункциональности пешеходного моста добавляет ему предоставление выбора осуществления процесса без остановки или с возможностью одновременного осуществления каких-либо дополнительных функциональных процессов: получение художественно-эстетического удовольствия, удовлетворение досугово-развлекательных потребностей.

Качества объектов рекреации, используемые при формировании рекреационных систем:

Художественно-эстетические качества:

- ландшафтно-живописные:

В 2002 году норвежское управление шоссейных дорог в рамках национальной программы организации туристических маршрутов объявило конкурс на проект смотровых площадок для Орланда. В проекте норвежской компании архитектора Тодда Сондерса (Todd Saunders) Saunders Architecture большое внимание уделено совмещению нового сооружения с «контекстом среды». Смотровая площадка вырастает из склона горы, по которой вьётся небольшое шоссе. Деревянный «мост», выполненный без видимых швов, берёт начало у края дороги и «выстреливает» на 30 метров от неё, а затем закругляется вниз, к склону горы. Под этой стрелой, далеко-далеко внизу, лежит захватывающий дух фьорд, обрамлённый лесистыми склонами. Площадка находится на высоте 640 метров над водами фьорда, а окружающие горы поднимаются ещё выше.

Сондерс гордится, что ни одно дерево на месте стройки не пришлось уничтожить, в то же время сам «анти-трамплин» выполнен из дерева (на стальном каркасе) местных пород, что как раз соответствует экологическому духу времени в применении натуральных материалов.

Проектом Сондерс зрительно ставит значение природы на первое место, а архитектуру отодвигает на второе. Гладкий, выполненный «без единого гвоздя» деревянный «мост в никуда» – словно часть местного леса. Вид с Aurland Lookout открывается и вправду захватывающий, воздух в этих местах очень чистый, а тонкие пряди облаков и тумана, иногда плывущие под ногами, добавляют картине ощущение нереальности. Архитекторы постарались, чтобы у человека, подошедшего к краю сооружения, возникало ощущение полёта над горами. Этому способствует и закругление в конце дорожки и чистое стекло, ограждающее её в этом месте. Даже автостоянку для машин туристов авторы проекта расположили не рядом, а чуть дальше по дороге, чтобы создать определённое настроение, удалив из поля зрения всё техногенное, насколько это возможно [5].

Активно использует ландшафтно-живописные возможности территории Grand Canyon Skywalk – мостик в форме подковы со стеклянным полом, через который видна пропасть Большого Каньона Колорадо глубиной 1220 метров («Небесная дорожка») [6].

Конкурс на оформление набережной Москва-реки в районе Сити, устроенный компанией Mirax Group, выиграл проект мастерской А. Асадова. По замыслу авторов цветочные ленты набережной, сплетаясь в косу, превращаются в обитаемый мост над Москвой-рекой. Архитекторы мастерской А. Асадова устроили на мосту жилье и объединили его одновременно с двумя видами транспортных магистралей – монорельсом и автодорогой. Проект отличает удачное сочетание интересного инженерного решения архитектуры моста с живописно-ландшафтным методом проектирования предмостных территорий. Авторы превратили набережную в сад вечнозеленых растений радужной окраски. Это гигантская цветочная клумба, состоящая из переплетенных в косу цветных лент – террас набережной. Предполагается, что это будет самая большая цветочная клумба в Европе – длиной около 700 метров, а составляющие ее цветы и вечнозеленые кустарники сохранят свой цвет круглый год, зимой и летом [7].

- архитектурно-конструктивные:

Пешеходный мост Сольферино соединяет музей Д"Орсэ на набережной Анатоля Франса с набережной Тюильри, где расположен одноименный парк. Мост был построен в период 1997–1999 гг. с целью заменить временный пешеходный мост, который служил в 1961–1992 гг.

Современный пешеходный мост с одним пролетом в 115 м пересекает Сену и органично вплетается в городской ландшафт, где мосты играют немаловажную роль. Проект Марка Мимрама позволил решить технические, эстетические вопросы, а также планировочные проблемы города весьма оригинальным образом: вход на мост идет из четырех разных точек по ряду несимметричных проходов, которые внедряются в симметричную структуру.

Включение входных проходов в состав конструкции моста обогатило облик пешеходного моста, который, при всей его пространственной сложности, производит впечатление гармоничного и легкого сооружения [8].

Пешеходный мост Вебстера на набережной Ренессанса г. Бедфорд (Великобритания) расположен на верхнем канале реки Оз между засаженными ивой и травой берегами. Его пролет – 30 м. Мост связывает Рассел Парк и Остров Лонгхолм.

Мост Вебстера – очередная попытка создания эволюционного проекта, применяющего современные инженерные возможности и возможности материала. Мост состоит из пары высоких параболических арок, исходящих из одной точки на каждом берегу, отклоненных от вертикали, формирующих открытие, похожее на крылья бабочки, «подобно некоторому механическому насекомому, приземлившемуся на заливных лугах». Мост претендует называться ярким, запоминающимся сооружением, которое характеризует достижения науки и техники в мостостроении XX века [9].

Мост Тысячелетия в Лондоне – пешеходный мост, соединяющий центр города – великий памятник позднего средневековья, собор Святого Павла, с южным берегом Темзы, где в здании заброшенной городской электростанции Бенксайд была незадолго до этого открыта вторая галерея Тейта – галерея современного искусства. Рядом с галереей расположен воссозданный театр Шекспира – Глобус.

Местоположение будущего моста наложило серьезные ограничения на его облик. При полной длине 320 м его главный пролет перекрывает судоходное русло Темзы. Выход моста непосредственно к собору исключает возможность использования в его конструкциях каких-либо башен или пилонов из соображений обзора собора. Кроме того, нижняя отметка пролетного строения была ограничена высотой судоходного габарита, а верхняя – невозможностью поднимать конструкции моста по изложенным выше архитектурным соображениям. Одновременно были понятны желания заказчика и проектировщиков сделать конструкцию легкой и элегантной. Таким образом, еще до начала проектирования основные «габаритные» размеры сооружения уже были предопределены.

Еще до начала строительства мост стали называть мостом Тысячелетия. По мнению специалистов, проект является сплавом нескольких искусств – архитектуры, скульптуры и инженерного творчества [9].

Эколого-привлекательные качества.

Японский архитектор, изобретатель и сторонник «зелёных» технологий Сигеру Бан (Shigeru Ban), глава компании Shigeru Ban Architects, построил на юге Франции мост из бумаги. Перекинутый через реку Гардон (Gardon) пешеходный мост способен выдержать 20 человек одновременно.

Примечательно, что Бан поставил свой необычный мост всего в восьмистах метрах от Пон дю Гар (Pont du Gard) – самого крупного римского виадука, сохранившегося до наших дней. По замыслу Сигеру, это должно создавать любопытный контраст между каменным памятником архитектуры и бумажным творением, между древней и современной технологиями.

Мост выполнен из 281 картонной трубы, каждая 11,5 сантиметров в диаметре при толщине стенок 11,9 миллиметра. Ступеньки отформованы из переработанного бумажного и пластмассового вторсырья, а фундаментом послужили деревянные коробки, заполненные песком. Для проверки моста на прочность на ступеньки положили множество шариков с водой, общим весом 1,5 тонны. Мост проработал шесть недель, после чего его демонтировали в ожидании дождливого сезона [10].

Проблема современных мегаполисов – постоянная нехватка пространства. Квадратные метры добывают буквально «из воздуха», чтобы максимально использовать доступную площадь. Именно так

появляются небоскрёбы. Как следствие, природа полностью вытесняется из городской среды. Таким городам не хватает разнообразия внешнего вида (к примеру, типичной панораме Нью-Йорка или Гонконга). Это вдохновило проектное бюро eVolo Architecture на организацию конкурса Skyscraper Competition.

Проект Symbiotic Interlock (SI) начинающего архитектора Даэквона Парка (Daekwon Park) из университета Иллинойса (University of Illinois at Urbana-Champaign) вышел в финал конкурса. Symbiotic Interlock не небоскрёб в чистом виде, а своего рода «насадка» на небоскрёб, используемая не только в целях украшения сформировавшегося городского пейзажа, но и чтобы связать небоскребы в единую трёхмерную сеть.

Четыре вида секций SI крепятся в определённом порядке друг на друга и к углам уже отстроенных небоскрёбов, образуя своего рода вертикальные гирлянды, каждая из которых держится на одном общем стержне. У каждой секции своё предназначение.

Первая секция – это так называемые вертикальные сады. Здесь место различным растениям, насекомым и животным, которые постоянно вытесняются за пределы города. Эти модули предназначены заменить городские парки и приусадебные участки. По мнению Даэквона, они будут хоть немного охлаждать город, очищать воздух и, возможно, обеспечивать мегаполисы едой.

Вторая секция – воздушные доки и мосты, ответвляющиеся к соседним небоскрёбам с такими же модулями. Они станут связующими звеньями, узлами, которые будут перераспределять потоки людей не только на уровне земли, но и выше.

Третья секция – так называемый «программируемый блок». Он может использоваться как кафе, мини-магазин, комната переговоров, информационный центр, библиотека или музей.

И, наконец, четвёртая секция – отделение для ветровых турбин, для которых, как наиболее подходящие, были выбраны Парком ветряки с вертикальной осью. Понятно, что основной задачей этого отсека будет сбор кинетической энергии ветра для питания небоскрёба, к которому будут прикреплены гирлянды Symbiotic Interlock.

Одним из положительных качеств этого проекта является следующее: модули можно создавать в одном специально отведённом для этого месте и привозить к небоскрёбу уже в готовом виде. Здесь они будут достаточно быстро собраны воедино, а это значит, что во время строительства не будет необходимости перекрывать улицы и создавать прочие долговременные помехи окружающим зданиям и работающим в них людям. Сам Даэквон характеризует своё детище так: “Symbiotic Interlock объединяет разрозненные городские здания, создаёт дополнительную инфраструктуру из различных общественных заведений и зелёных площадей” [11].

Сервисно-потребительские качества.

Возвращаясь к пешеходному мосту как элементу системы городской рекреации, можно проследить на конкретных примерах сервисные возможности данного объекта архитектуры. Например, богатство функций наиболее ярко и полно представлено в мостах эпохи средневековья, так называемых «мостах-рынках» или «мостах-улицах».

Наиболее полное представление о средневековых мостах можно получить на примере Старого моста в Лондоне на Темзе, построенного между 1176 и 1209 гг. Описание его сделано Марком Твеном в книге «Принц и Нищий»: «Мост… служил проезжей, шумной многолюдной дорогой и представлял любопытную особенность: по обе его стороны, от одного берега Темзы до другого, тянулись непрерывные ряды лавчонок и лавок с квартирами для торговцев наверху. Это был как бы отдельный, самостоятельный городок, имевший свои гостиницы и трактиры, свои погребки и распивочные, свои булочные, мелочные лавки, свой рынок, свои мастерские и даже свою церковь» [12].

Богат функционально старый мост во Флоренции. Понте Веккио, существующий и сегодня, начиная с 1345 г., сейчас называют «золотым» мостом, поскольку на нем издавна расположены мастерские и лавки ювелиров, предлагающих на продажу свои великолепные изделия.

Характеристика моста Менял в Париже приводится в книге немецкого автора книги «Парфюмер» Патрика Зюскинда: «Этот мост с обеих сторон был так плотно застроен четырехэтажными домами, что с него ни в одном месте нельзя было увидеть реку, так что создавалось впечатление вполне нормальной, основательной, хорошо мощеной и к тому же чрезвычайно элегантной улицы. В самом деле, мост Менял считался одним из самых модных кварталов города. Здесь находились знаменитые лавки, где свой товар предлагали ювелиры, резчики по черному дереву, лучшие изготовители париков, чемоданов, сумок и кошельков, тончайшего нижнего белья и чулок, рамок для картин и сапог для верховой езды, вышивальщики эполет, литейщики золотых пуговиц и банкиры» [13].

Иное отношение сформировано к функциям пешеходного моста на Востоке – в них уделяется особое внимание процессам медитации и релаксации.

Любопытен крытый японский мост во Вьетнаме (Коу Нят Бан или Лай Вьен Киеу), который соединяет улицы Чан Фу, 155, и Нгуен Тхи Минь Кхай, 1. Первоначально мост на этом месте был построен в 1593 г. японской общиной Хойана, чтобы связать ее с соседними китайскими кварталами, находящимися на другой стороне реки. Мост был покрыт крышей, которая служила защитой от дождя и солнца.

На северной стороне моста построен небольшой храм, Чуа Коу. На его двери написано название, данное мосту в 1719 г. взамен предыдущего – Японский мост.

Новое название моста – Лай Вьен Киеу (Мост для прохожих издалека) – так и не прижилось.

Существует местная легенда о жившем когда-то на земле огромном монстре по имени Ку, голова которого находилась в Индии, хвост в Японии, а тело во Вьетнаме. Согласно легенде всякий раз, когда монстр двигался, ужасные бедствия – наводнения и землетрясения – сотрясали Вьетнам. Мост был построен на самом слабом месте монстра – его «ахиллесовой пяте», чтобы убить его. Однако люди в Хойане немного сжалились над убитым монстром и построили у моста маленький храм Тюа-Кыу, чтобы молиться о его душе. Два входа на мост охраняет пара обезьян с одной стороны и пара собак с другой. Согласно одному преданию, эти животные очень почитались, т.к. многие из императоров Японии родились в год собаки и обезьяны. Другая легенда гласит, что строительство моста было начато в год обезьяны, а закончено в год собаки.

Этот мост считается символом Хойана и изображен на гербе города [14].

В столице Вьетнама Ханое на озере Возвращенного меча представляет интерес мост Тхехук, соединяющий берег с маленьким островком. Мост Тхехук издавна известен своей уникальной красотой и является неповторимой чертой в гармоничном архитектурном облике старого Ханоя.

С северной стороны мост окружают старинные кварталы города, а с юга открывается вид на островок «Жемчуг», на котором стоит башня Черепахи, возвышающаяся над зеленоватой водной гладью озера.

Первоначально на этом месте был построен простой бамбуковый мост, соединивший берег озера с островком, где стоит храм Нгокшон. В 1865 году, по инициативе культурного деятеля Нгуен Ван Шиеу (1799-1872 гг.), был спроектирован и построен мост, который получил название Тхехук, что в переводе значит «место, где сосредоточиваются утренние лучи солнца». Мост был сделан из ценных пород дерева и выкрашен в красный цвет, чтобы у людей создавалось впечатление, что они идут по радуге от башни Кисти к храму Нгокшон.

Мост Тхехук – часть архитектурного комплекса, в состав которого входят храм Нгокшон, мост Тхехук, башня Кисти и возвышение Чернильницы. Много времени прошло с того дня, когда мост был возведен впервые. Он был много раз отремонтирован и отреставрирован, однако сохранил свой первоначальный облик, который был запечатлен во многих поэтических, музыкальных и художественных произведениях [15].

Приведенные примеры исторических пешеходных мостов демонстрируют своеобразие дополнительных функций пешеходных мостов и образа жизни горожан с их традициями и привычками.

В функциональном своеобразии современных пешеходных мостов отражаются ритм жизни и привычки современного человека. Характерным примером этого может послужить возведенный в 1997 году торгово-пешеходный мост «Багратион» архитектора Бориса Тхора – один из элементов грандиозного замысла «Москва-Сити».

На мосту имеются услуги, предоставляемые его посетителям: множество магазинов, кафе, боулинг, крытая галерея и романтические скамеечки. Главным входом на мост служит пятиуровневое здание на Краснопресненской набережной с огромным просторным холлом, в котором цветочные лавочки, кафе и студия салона красоты соседствуют с масштабным макетом строящегося «Сити». В будущем система эскалаторов свяжет мост с подземным уровнем «Москва-Сити» и линией метрополитена.

Со стороны Кутузовского проспекта и набережной Тараса Шевченко вход на мост «Багратион» находится в холле тридцатиэтажного ультрасовременного офисного комплекса «Башня-2000».

Торговая галерея моста представлена бутиками с продажей венецианского стекла, мобильных систем связи, часов, подарков, игрушек, одежды, обуви. С верхней частично застекленной галереи моста есть возможность полюбоваться панорамами Москвы. Строгая, сдержанная конструкция моста исполнена с большим чувством архитектурного вкуса и такта. Здесь можно походить между массивными стальными конструкциями и функциональными трубами, почувствовать силу, величие и мощь металла, сочетающегося с хрупким стеклом [16].

Западные архитекторы развивают мысль городской рекреации на свой лад: техногенная усталость от небоскребов Манхэттена подтолкнула проектировщиков к реконструкции старой эстакады с проложенной по ней железнодорожной линией в многофункциональный объект рекреации. Проржавевшая эстакада тянется через 22 квартала города на высоте около 10 метров. Издалека не очень понятно, что это такое, но вблизи Хай Лайн (The High Line – так сами жители называют эту постройку) создавала шокирующее впечатление: ограждения проржавели, осыпались, а колея поросла травой и кустарником.

Проект реконструкции железнодорожной линии совмещает в себе всё то, чего не хватает жителю мегаполиса: парки, клумбы, простирающиеся на многие сотни метров, плавательные бассейны, бульвары, спортивные комплексы. Вертикальные связи объекта рекреации предлагается осуществлять за счет лифтов. Возведение новых зданий планируется вдоль одного из участков дороги. Расстояние от эстакады до новых зданий увеличат, чтобы добавить новому парку света и увеличить его визуальный отрыв от города, формируя тем самым городскую рекреацию [17].

В современной отечественной практике градостроительства планируется ввести в действие идею концепции туристско-рекреационного маршрута зоны «Золотого кольца Москвы». Для ее осуществления

Таблица

Примеры пешеходных мостов как рекреационных объектов	Рекреационные качества объектов			
	Художественно-эстетические		Эколого-прогрессивные	Сервисно-потребительские
	Ландшафтно-живописные	Архитектурно-конструктивные		
1. Смотровая площадка Aurland Lookout	+		+	
2. Мост Grand Canyon Skywalk	+		+	
3. Обитаемый мост на Москва-реке	+	+		+
4. Пешеходный мост Сольферино	+	+		
5. Мост Вебстера на набережной Ренессанс		+		
6. Мост Тысячелетия в Лондоне	+	+		
7. Бумажный мост арх. Сигеру		+	+	
8. Проект Symbiotic Interlock (SI)		+	+	+
9. Старый мост в Лондоне на Темзе		+		+
10. Мост Понте Веккио во Флоренции		+		+
11. Мост Менял на р. Сене в Париже		+		+
12. Японский мост во Вьетнаме		+		+
13. Мост Тхехук во Вьетнаме	+		+	+
14. Торгово-пешеходный мост «Багратион»		+		+
15. Рекреация Хай Лайн (The High Line)	+	+	+	+
16. Пешеходные мосты в рекреации Москвы	+	+	+	+

проектируются несколько мостов. Один из них будет соединять храм Христа Спасителя с Болотным островом. К нему в качестве предмостного сооружения примкнет культурно-развлекательный комплекс.

Еще один мост с центром досуга площадью 4000-5000 кв. м планируется у Международного дома музыки на Красных Холмах как часть концепции Российского культурного центра. Также проектируется мост с рестораном на будущем Краснопресненском проспекте, торгово-сервисный надземный переход на улице 26 Бакинских Комиссаров и мост через пролом в Китайгородской стене – исторически сложившемся торговом районе, традиции которого столичные власти хотят возродить.

Каждому мосту отведена в городе своя роль: одни выполняют представительские функции, другие являются исключительно сервисными сооружениями, а третьи объединяют в себе и представительские, и сервисные функции [18].

Рассмотрим приведенные примеры в соответствии с рекреационными качествами мостов (см. таб.).

Рассмотренный опыт проектирования и строительства полифункциональных пешеходных мостов в рекреационной системе города позволяет подытожить вышесказанное следующим образом: пешеходный мост – это элемент интегрированной полифункциональной пространственно-планировочной системы. Функционально-рекреационное содержание пешеходного моста обладает художественно-эстетическими (ландшафтно-живописными и архитектурно-конструктивными), эколого-прогрессивными и сервисно-потребительскими качествами. Функционально-рекреационное

содержание пешеходного моста зависит от места его расположения в интегрированной полифункциональной пространственно-планировочной системе. Наиболее часто встречающееся сочетание полифункциональности в пешеходных мостах – это архитектурно-конструктивные и сервисно-потребительские качества моста как объекта рекреации (примеры 3, 8-12, 14). Прослеживается взаимосвязь ландшафтно-живописных и эколого-прогрессивных качеств пешеходных мостов (1, 2, 13). Наибольшая вероятность сочетания всех рассмотренных качеств в тех пешеходных мостах, которые либо сами представляют собой рекреацию (пример 15), либо являются рекреационным элементом в рекреационной системе города (пример 16).

Литература

1. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
2. Шестернева Н.Н. Архитектурная типология и принципы развития существующих пешеходных коммуникаций крупнейшего города (на примере Санкт-Петербурга) // Автореферат канд. дисс. на соиск. степени канд. арх. – С-Пб., 2007. – С. 8-9.
3. Харитонова З.В. Пешеходные улицы в исторически сложившейся среде крупного города // Дисс. на соиск. степени канд. арх. – М., 1988. – С. 40.
4. Ушаков Д.Н. Толковый словарь русского языка. В 4-х т. – М., 1940.
5. Свихнувшийся трамплин бросает взгляды зрителей на горы под ногами // http://www.membrana.ru Люди, идеи, технологии. URL: http://www.membrana.ru/articles/global/2006/02/28/184200.html от 28.02.2006 (дата обращения: 21.03.2009).
6. Прозрачный мост над большим каньоном впервые принял гостей // http://www.membrana.ru Люди, идеи, технологии. URL: http://www.membrana.ru/lenta/?7049 от 21.03.2007 (дата обращения 21.03.2009).
7. Цветочный город над рекой // http://www.archi.ru Российская архитектура. URL: http://agency.archi.ru/news_current.html?nid=10393 от 05.12.2008 (дата обращения 21.03.2009).
8. Анджия Сасси Перино, Джорджо Фараджана. Мосты. – М.: Астрель, 2004. – 184 с.
9. Овчинников И.Г. Пешеходные мосты: конструкция, строительство, архитектура. Учеб. пособие. – Саратов: СГТУ, 2005. – 223 с.
10. Во Франции открыт бумажный мост // http://www.membrana.ru Люди, идеи, технологии. URL: http://www.membrana.ru/lenta/?7513 от 31.07.2007 (дата обращения 21.03.2009).
11. Вертикальная сеть влипла между небоскребами // http://www.membrana.ru Люди, идеи, технологии. URL: http://www.membrana.ru/articles/imagination/2008/03/28/175800.html от 28.03.2008 (дата обращения 21.03.2009).
12. Марк Твен. Принц и нищий. – М.: Государственное издательство художественной литературы, 1953.
13. Патрик Зюскинд. Парфюмер. – М.: Азбука, 2007.
14. Японский мостик во Вьетнаме // http://www.vokrug-mira.ru Туроператор Виктория. URL: http://www.vokrug-mira.ru/content/category/6/33/46/ (дата обращения 21.03.2009).
15. Мост Тхехук на озере Возвращенного меча // http://774.ru/main/articles/?id=4129 (дата обращения 21.03.2009).
16. Торгово-пешеходный мост «Багратион» // URL: http://www.citynext.ru/bagration.asp http://www.raytar.ru/articles/132/82/s/mettals.html (дата обращения 21.03.2009).
17. Древняя железка наполняется новым зеленым смыслом. // http://www.membrana.ru Люди, идеи, технологии. URL: http://www.membrana.ru/articles/global/2006/05/02/223900.html от 02.05.2006 (дата обращения 21.03.2009).

УДК 721.021

Ф.Д. Мубаракшина – кандидат архитектуры, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

МЕТОДИКА НАЧАЛЬНОЙ ПРОЕКТНОЙ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ИНЖЕНЕРОВ-АРХИТЕКТОРОВ НА СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ»

АННОТАЦИЯ

Важным этапом в системе обучения инженеров-архитекторов на специальности «Проектирование зданий» является подготовка, охватывающая первые два года обучения студентов. Основа обучения – государственный образовательный стандарт. Базовыми в профессиональной проектной подготовке будущих специалистов являются дисциплины: «Основы архитектурно-конструктивного проектирования», «Архитектурная графика» и «Архитектурная композиция». Педагогическое содержание начальной профессиональной подготовки заключается в интегрированном обучении архитектурно-конструктивному проектированию на основе получения навыков архитектурной графики, развития композиционного мышления и изучения элементарных конструктивных знаний. Студенческие проекты иллюстрируют основные положения методики и тематику курсового проектирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Методика подготовки инженеров-архитекторов, проектирование зданий, графика, композиция, архитектурно-конструктивное проектирование.

F.D. Mubarakshina – candidate of architecture, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

METHOD OF PRIMARY PROFESSIONAL DESIGN TRAINING OF ENGINEER-ARCHITECT STUDENTS AT “BUILDING PROJECTION” SPECIALITY

ABSTRACT

One of the most important stages of engineers-architects training at the “Building projection” speciality is the preparation of students over first two years. The basis of the training is the State Educational Standard. The main subjects of professional training are: “The bases of architectural and construction design”, “Architectural graphics”, “Architectural composition”. Pedagogical content of primary professional training is in the integrative teaching of architectural and construction design on the basis of architectural graphics skills, development of compositional thinking and study of primary constructional knowledge. The student projects illustrate the main ideas of the method and the theme of course work.

KEYWORDS: Method of engineers-architects training, building projection, graphics, composition, architectural and construction design.

Архитектура – один из самых сложных видов интеллектуальной и материальной деятельности человека.

Архитектор – творец, его творческая деятельность направлена на создание разнообразной искусственной среды обитания человека для удовлетворения его физических, материальных и духовных потребностей.

Инженер (конструктор) – специалист инженерно-строительной области знаний, его основные обязанности состоят в «обслуживании» архитектора. Инженер разрабатывает и рассчитывает конструкции зданий, запроектированных архитектором.

Инженер-архитектор как специалист в своей работе отличается и от «чистого архитектора», и от «простого инженера». Хотя в своей работе он так же, как архитектор и инженер, создает искусственную среду для человека, при этом он применяет другие методы и подходы. Основная задача инженера-архитектора – соединение в своей работе, с одной стороны, инженерно-конструкторских знаний, с другой стороны, своих творческих способностей и умений для того, чтобы реализовать процесс художественно-конструктивного проектирования зданий на основе художественного осмысления конструктивных систем и форм конструкций, с учетом тектоники сооружений, воплощающей в себе художественное выражение работы конструкций и материала.

Значимым этапом в общей системе подготовки инженеров-архитекторов на специальности 270114 – «Проектирование зданий» в соответствии с Государственным образовательным стандартом 2000 года является начальная профессиональная подготовка, которая охватывает первые два года обучения студентов. Подготовка студентов ведется на кафедре «Проектирование зданий» Инженерно-архитектурного факультета Института архитектуры и дизайна Казанского государственного архитектурно-строительного университета.

Основой профессиональной проектной подготовки будущих инженеров-архитекторов являются, прежде всего, дисциплины, связанные с архитектурно-конструктивным проектированием. На начальном этапе обучения базовой является дисциплина «Основы архитектурно-конструктивного проектирования» («Основы АКП»), дисциплина федерального компонента блока специальных дисциплин.

Учебным планом Инженерно-архитектурного факультета КазГАСУ по специальности «Проектирование зданий» в составе регионального и элективного компонентов блока общепрофессиональных дисциплин в дополнение к «Основам АКП» предусмотрено введение двух сопутствующих дисциплин, необходимых для формирования будущего инженера-архитектора: «Архитектурная графика и макетирование» и «Архитектурная композиция». Кроме того, в качестве вспомогательных рассматриваются такие дисциплины федерального компонента блока общепрофессиональных дисциплин, как «Начертательная геометрия», «Инженерная графика» и «Архитектура».

Основой педагогического содержания начальной подготовки студентов является реализация программы интегрированного обучения будущих специалистов архитектурно-конструктивному проектированию на основе получения ими навыков архитектурной и инженерной графики, в процессе развития композиционного мышления, изучения понятийного аппарата и основ инженерно-конструктивного проектирования зданий.

Дисциплину «Архитектурная графика и макетирование» студенты осваивают в течение первого года обучения. Начальная подготовка в контексте освоения архитектурной графики включает:

- изучение основных видов архитектурной графики;
- освоение средств и приемов архитектурной графики как способа моделирования и выявления формы архитектурного сооружения;
- изучение основных закономерностей цветовой гармонии, пространственных свойств цвета, света и тени;
- освоение средств колористики для выявления формы архитектурных объектов;
- выполнение курсовых проектов для практического освоения и закрепления навыков архитектурной графики и колористики.

В рамках дисциплины «Архитектурная графика и макетирование» студенты выполняют два проекта по темам:

- выявление формы архитектурного сооружения или детали средствами полихромной графики в разных техниках (рис. 1);
- выполнение фасада здания в технике полихромной отмывки (рис. 2).

В названных курсовых проектах осваиваются различные виды архитектурной графики и закрепляются навыки графического выявления формы, пропорций, материала, фактуры, цвета архитектурных объектов. В дополнение к графической работе студенты выполняют макет архитектурной детали.

Дисциплина «Архитектурная композиция» изучается на втором курсе. Содержание начальной подготовки студентов в рамках изучения архитектурной композиции включает:

- изучение основных видов композиции;
- освоение закономерностей композиционного моделирования;
- выполнение ряда заданий и упражнений для практического освоения средств и приемов архитектурной композиции;
- выполнение курсовых проектов для закрепления навыков композиционного формообразования архитектурных объектов.

В составе дисциплины «Архитектурная композиция» инженеры-архитекторы выполняют два проекта:

- малоэтажный архитектурный объект без внутренней функции с использованием ордерной системы (рис. 3);
- интерьер малоэтажного индивидуального жилого дома.

Дисциплина «Основы архитектурно-конструктивного проектирования» изучается в течение всего периода начальной подготовки. Первой практической работой по освоению азов архитектурных знаний является обмерная практика, предваряющая учебный процесс. В период обмерной практики студенты в натурных условиях изучают простейшие архитектурные элементы (окно, дверь, ворота), получают первые представления об исторической ценности, архитектурном строе и стилистике, конструктивных решениях, материалах изучаемых объектов. В результате практики вычерчивается рабочий альбом архитектурно-конструктивных решений объекта. В состав альбома входят обмерные чертежи, выполненные от руки (кроки); чертежи фасадов, планов, разрезов, сечений, узлов и деталей объекта, выполненные с соблюдением требований ЕСКД.

Далее в составе «Основ архитектурно-конструктивного проектирования» студенты выполняют 4 курсовых проекта по тематике:

- изучение памятника архитектуры и изображение его в основных проекциях (рис. 4);
- организация территории архитектурного объекта (генплан);
- культовое сооружение (рис. 5);
- малоэтажный индивидуальный жилой дом (рис. 6).

Рис.1. Курсовой проект: выявление формы архитектурного объекта
(выполнила студентка гр.14-101 Илалова Алиса)

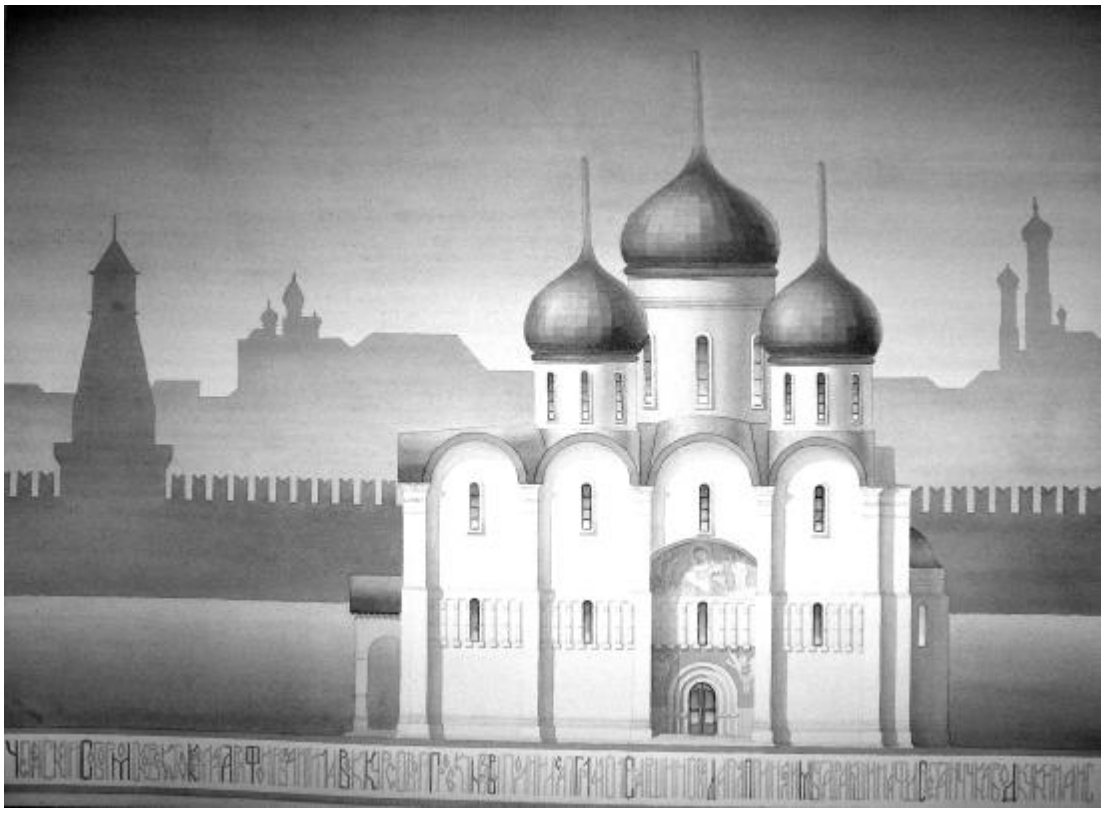


Рис. 2. Курсовой проект: выполнение фасада в технике полихромной отмывки
(выполнила студентка гр.14-101 Старшинова Дарья)

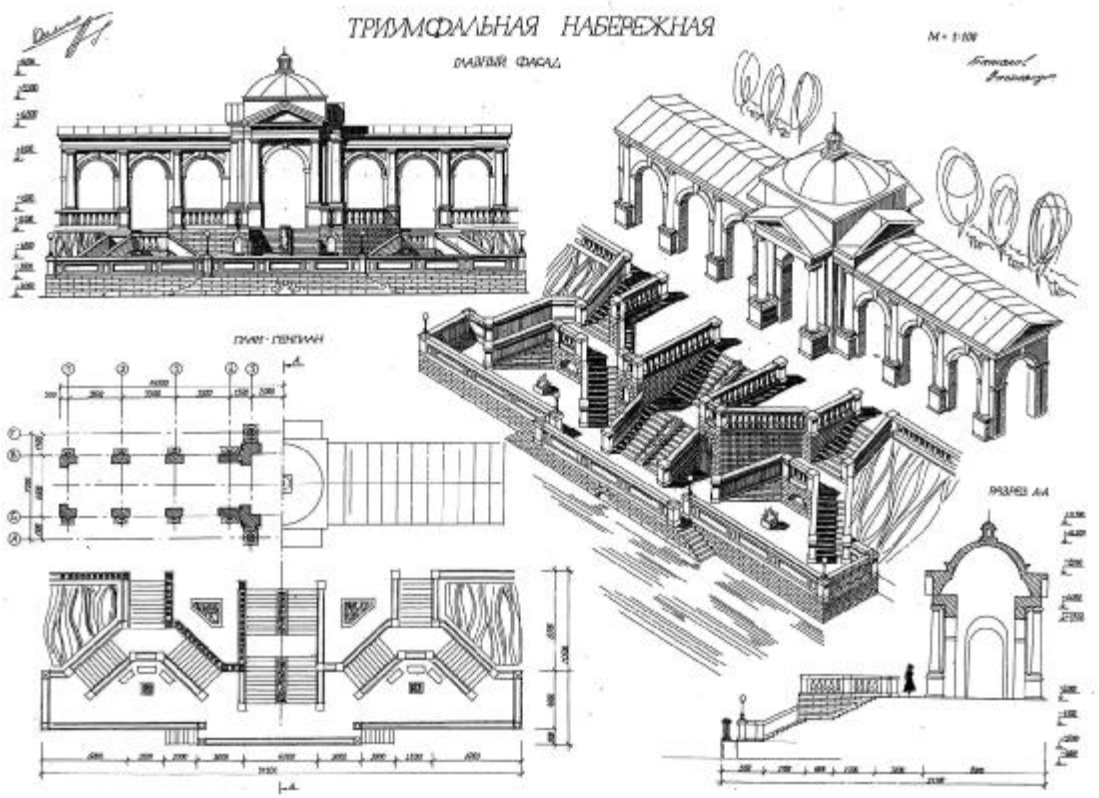


Рис. 3. Курсовой проект: малоэтажный архитектурный объект без внутренней функции с использованием ордерной системы (выполнил студент гр.14-21 Баталов Александр)

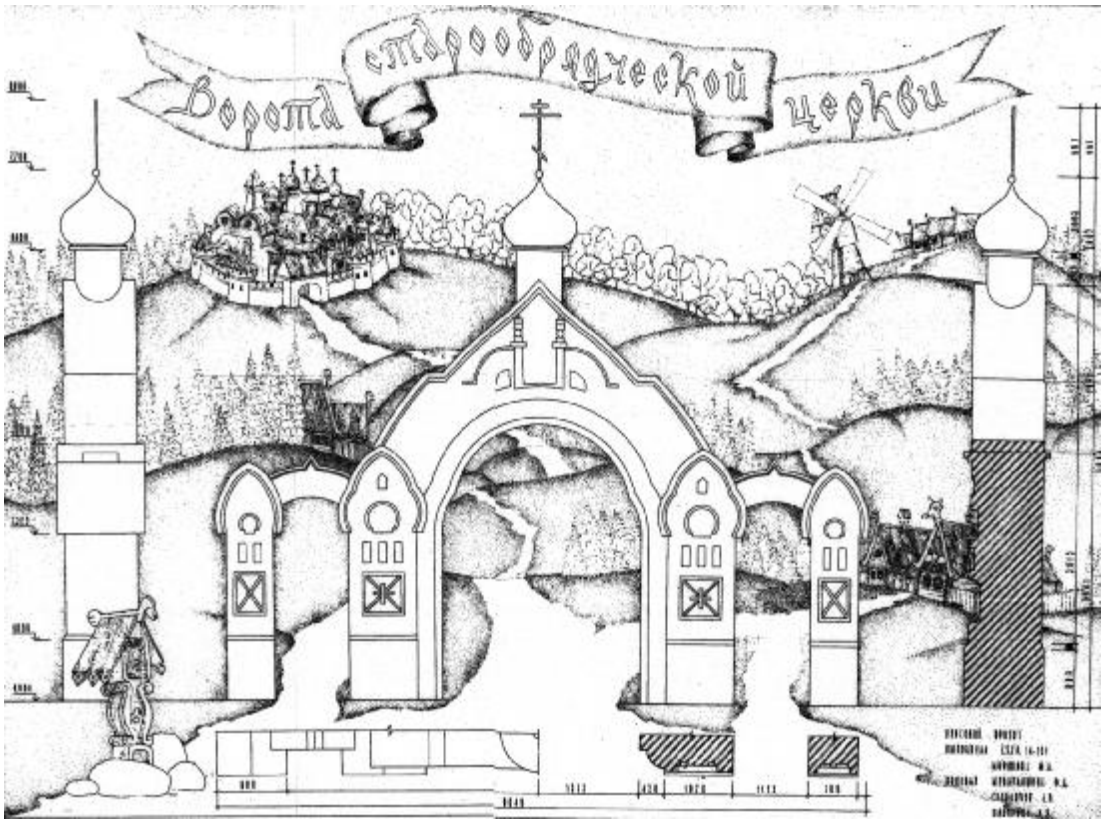


Рис. 4. Курсовой проект: изображение памятника архитектуры в основных проекциях (выполнила студентка гр.14-101 Миронова Мария)

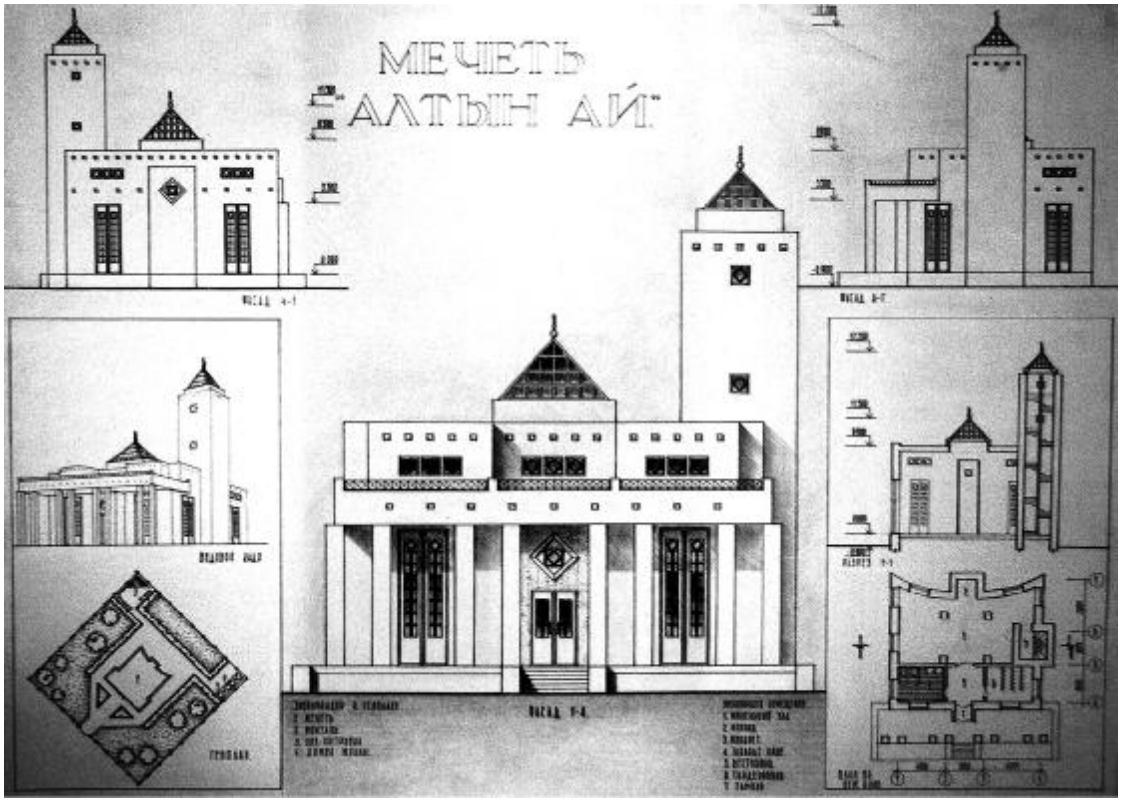


Рис. 5. Курсовой проект: культовое сооружение – мечеть
(выполнила студентка гр.14-201 Нуриахметова Гульназ)

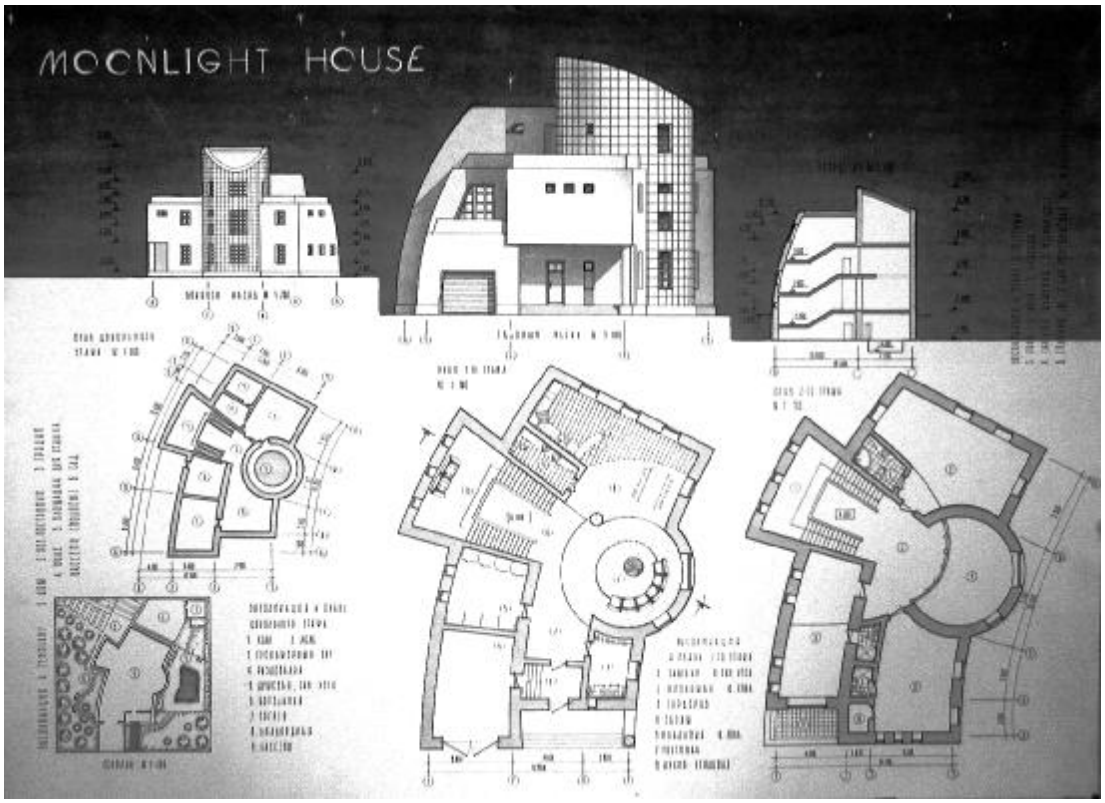


Рис.6. Курсовой проект: индивидуальный жилой дом
(выполнила студентка гр.14-201 Якшигулова Татьяна)

При выполнении первого курсового проекта студенты решают задачи, направленные на развитие творческого воображения и композиционного мышления. Одновременно учащиеся получают первое представление об элементарных конструктивных элементах, осваивают первичные понятия и термины в области конструктивного проектирования, изучают правила изображения основных проекций архитектурного объекта с габаритными размерами, отметками высот, изучают строительные материалы и правила их обозначения.

При разработке второго курсового проекта студенты решают проблемы проектирования архитектурного объекта в заданной среде: проектирование генплана архитектурного объекта, парковой архитектуры, детской площадки и т.п., где главным является проектирование пространства.

Задачи курсовых проектов второго года обучения непосредственно связаны с разработкой архитектурно-конструктивных решений небольших по объему зданий: культового здания с минимальной функцией и малоэтажного индивидуального жилого дома с расширенным составом помещений.

Очевидно, что задачи курсового проектирования этого периода обучения у студентов, уже вооруженных навыками архитектурной графики, азами ассоциативно-образного и композиционного мышления, а также представлениями о конструктивных особенностях проектирования зданий и их элементов, более сложные. В значительной мере в процессе проектирования студенты опираются на знания, полученные в рамках дисциплины «Архитектура». Тематика, содержание и объем проектов связаны с процессом архитектурно-конструктивного проектирования небольших объектов с достаточно простой функцией, с одновременным решением художественно-образных и инженерно-конструктивных задач.

Методические принципы подготовки инженеров-архитекторов на кафедре «Проектирование зданий» Инженерно-архитектурного факультета КазГАСУ складываются в течение десяти лет и, естественно, содержат не только начальный, но и общепрофессиональный, специальный и другие этапы обучения студентов. Методическое содержание начального этапа профессиональной подготовки инженеров-архитекторов, разработанное с учетом требований Государственного образовательного стандарта и внедряемое на базе целого ряда дисциплин, представляется целостным, предполагает системно-интегрированное освоение базового профессионального инструментария проектировщика, включающего целый комплекс знаний и умений, и предусматривает:

- освоение студентами средств и приемов архитектурной графики;
- формирование у студентов образно-ассоциативного мышления;
- развитие композиционно-пространственного мышления;
- получение представлений о конструктивных системах, конструктивных схемах и элементах зданий, более сложных типах конструкций;
- освоение правил грамотного изображения проекций, элементов, узлов, деталей зданий, правил привязки конструкций;
- формирование навыков проектирования объектов с заданной функцией с учетом требований эргономики;
- освоение основ архитектурно-конструктивного проектирования сооружений с учетом тектоники сооружений.

Кроме этого, студенты получают навыки проектирования объекта в заданной среде и первые навыки проектирования самой архитектурной среды, решая задачи градостроительного характера.

В заключение хочется отметить, что, несмотря на то, что специальность «Проектирование зданий» относительно новая, молодая, подготовка специалистов в стране ведется уже более чем в 20 вузах. Каждая инженерно-архитектурная школа изначально имеет индивидуальные базовые условия и возможности, а соответственно, свои представления о том, как надо строить образовательный процесс. Автор смеет надеяться, что казанская инженерно-архитектурная школа в этом ряду имеет свое творческое лицо и характерный почерк.

Литература

1. Кринский В.Ф., Колбин В.С., Ламцов И.В., Туркус М.А., Филасов Н.В. Введение в архитектурное проектирование. Учебник для вузов. – М.: Изд-во «Стройиз-дат», 1974. – 176 с.
2. Зайцев К.Г. Графика и архитектурное творчество. – М.: Изд-во «Стройиз-дат», 1979. – 340 с.
3. Кудряшев Л.В. Архитектурная графика. Учебное пособие. – М.: Изд-во «Стройиз-дат», 1990. – 312 с.
4. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования. Направление подготовки дипломированного специалиста 653500 – Строительство. – М., 2000. – 86 с.
5. Мелодинский Д.Л. Школа архитектурно-дизайнерского формообразования. Учебное пособие. – М.: Изд-во «Архитектура-С», 2004. – 310 с.
6. Пронин Е.С. Теоретические основы архитектурной комбинаторики. Учебное пособие. – М.: Изд-во «Архитектура-С», 2004. – 232 с.
7. Учебный план по специальности 270114 – «Проектирование зданий». – Казань: КазГАСУ, Инженерно-архитектурный факультет, 2007. – 15 с.
8. Соколова Т.Н., Рудская Л.А., Соколов А.Л. Архитектурные обмеры. Учебное пособие. – М.: Изд-во «Архитектура-С», 2007. – 112 с.
9. Энгель Хайно. Несущие системы. Учебное издание. – М.: Изд-во «АСТ-Астрель», 2007. – 344 с.

УДК 728.5

Ф.Д. Мубаракшина – кандидат архитектуры, доцент
А.В. Степанчук – аспирант, ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

О ПРЕДПОСЫЛКАХ ФОРМИРОВАНИЯ ТИПОЛОГИИ МИНИ-ГОСТИНИЦ ДЛЯ ЭТНОГРАФИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

АННОТАЦИЯ

Туризм развивается стремительно. Одним из самых популярных видов туризма является этнографический туризм. Он предполагает погружение в культуру народа и ознакомление с традиционными ремеслами. В мировой туристической инфраструктуре этнотуризм реализуется в так называемых этнографических деревнях. Определяющим архитектурно-планировочным элементом инфраструктуры этнографического туризма являются мини-гостиницы с помещениями для организации ремесленной трудовой деятельности. Для выявления типологии мини-гостиниц, состава и габаритов помещений для ремесленной трудовой деятельности в пространстве мини-гостиниц авторами выявлены виды ремесел, характерные для территории Республики Татарстан.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Этнографический туризм, мини-гостиницы с помещениями для ремесленной трудовой деятельности.

F.D. Mubarakshina – candidate of architecture, associate professor
A.V. Stepanchuk – post-graduate student, assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE PREREQUISITES OF FORMING OF MINI-HOTELS TYPOLOGY FOR THE ETHNOGRAPHIC TOURISM

ABSTRACT

Tourism increases rapidly. Ethnographic tourism is one of the most popular. It implies immersion into nation culture and acquaintance with traditional crafts. In the world tourist infrastructure the ethnographic tourism is realized in the so-called ethnographic (heritage) villages. Mini-hotels with rooms for the craft labor activity are the architectural planning key elements of the ethnographic tourism's infrastructure. Authors reveal the types of craft, which are usual at Tatarstan Republic territory, in order to form typology, composition and dimensions of craft labor activity rooms within the mini-hotels.

KEYWORDS: Ethnographic tourism, mini-hotels with rooms for the craft labor activity.

После Второй мировой войны туризм начал развиваться стремительными темпами, выступая при этом одновременно и как средство развлечения, и как средство познания мира: за сорок послевоенных лет население планеты увеличилось в 2 раза, а численность международного туризма – в 19 раз. По данным ВТО и МВФ, с 1998 года туризм вышел на первое место в мировом экспорте товаров и услуг, обогнав автомобильную промышленность и производство компьютеров.

Сегодня существует большое разнообразие видов туризма:

- культурно-познавательный туризм (посещение памятников истории, культуры и архитектуры, ознакомление с природными достопримечательностями);
- событийный туризм (участие в праздниках, выставках, фестивалях, народных гуляньях, карнавалах и т.д.);
- этнографический туризм (знакомство и погружение в традиционную национальную культуру народа);
- сельский туризм (отдых в сельской местности);
- лечебный и лечебно-оздоровительный туризм (отдых с лечением в санаториях и на курортах);
- деловой туризм (поездки для участия в съездах, научных конгрессах и конференциях – бизнес-поездки, конгрессно-выставочный туризм, «incentive-tourism»);
- спортивный туризм (альпинизм, дайвинг, горные лыжи и др.);
- этнический туризм (посещения места рождения или происхождения семьи, а также места жительства родственников или близких – «nostalgie tour»);
- религиозный туризм (паломнический и религиозный туризм);
- образовательный туризм (стажировки, выездные семинары, школы).

Одним из самых популярных из вышеназванных видов туризма является **этнографический туризм**. Этнографический туризм организуется в форме познавательных и развлекательных программ и призван:

- ознакомить туристов с национальными местными традициями, обрядами, укладом жизни, бытом, кухней;
- ознакомить туристов с национальной музыкальной, песенной и танцевальной культурой, предоставить возможность участия в национальных праздниках, гуляниях, ярмарках;
- погрузить туристов в атмосферу традиционных местных и национальных ремесел, с посещением интерактивных мастерских, с возможностью участия в процессе создания продукции народно-художественных и декоративно-прикладных промыслов.

В мировой туристической инфраструктуре этнотуризм как отдельное направление осуществляется в так называемых этнографических деревнях. У нас в стране этнографический туризм находится на начальном этапе развития, существует, в основном, в виде специализированных тематических экскурсий. Местные жители принимают туристов в малоприспособленных для этнотуризма типовых гостиницах или в своих жилых домах. В последнее время появились проекты этнографических деревень в Крыму, в республике Марий Эл, в Архангельской области.

Для успешного внедрения малоосвоенного вида туризма необходимо изучение мирового и отечественного опыта организации, проектирования, строительства и эксплуатации всех элементов инфраструктуры этнотуризма, начиная от жилых зданий и заканчивая всеми видами обслуживающих и специализированных зданий.

Широко известны существующие этнографические деревни:

- «Усадьба пономаря» – Klockargarden в Даларна в Швеции;
- деревня Скансен в Стокгольме, городок Сигтуна в Швеции;
- центр производства стеклянных изделий Иттала в Турку в Финляндии;
- этнографическая деревня-музей «Етыр» в Болгарии;
- рыбацкая этнографическая усадьба в Литве и другие.

В России среди построенных этнографических деревень наиболее известны следующие объекты:

- культурный центр народности сето с интерактивными мастерскими в деревне Сигово Печерского района Псковской области;
- этнографический и ремесленно-торговый квартал «Рыбная деревня» в Калининграде (рис. 1);
- русская деревня «Шуваловка» в Санкт-Петербурге (рис. 2).

В последнее время появилось большое число проектов этнографических деревень на разных этапах проектирования:

- культурно-этнографический центр в селе Соколиное Бахчисарайского района в Крыму (древнее название села – Коккозы);
- этнографический комплекс трех деревень – марийской, татарской и русской – в республике Марий Эл;
- этнографический туристский комплекс «Виктория» в районном центре Морки в МарийЭл;
- этнографическая деревня Ширяево в Самарской области;
- проект «Города мастеров» в Пскове.

В некоторых странах Европы, Азии, Африки и Латинской Америки промыслы часто сосредотачиваются на отдельных улицах, в кварталах, районах городских и сельских населенных пунктов. Здесь ремесленники живут, работают и здесь же они продают свою продукцию. В этих условиях может существовать как один вид промысла (например, жители нескольких районов города Таско в Мексике заняты обработкой серебра), так и несколько разнопрофильных видов промыслов (в кварталах городов Мальты живо производство декоративных изделий из стекла, гипса, керамики; в Индии процветают промыслы резьбы по кости, дереву, обработке самоцветов и полудрагоценных камней).

Определяющим архитектурно-планировочным элементом инфраструктуры этнографического туризма являются **мини-гостиницы с помещениями для организации ремесленной трудовой деятельности**.

Существующая номенклатура гостиниц для туристов, таким образом, пополняется новым типом – туристской мини-гостиницей с элементами малого бизнеса. В данном контексте элементы малого бизнеса рассматриваются как возможность функционально-пространственной организации производственной деятельности, связанной с этнографическими традиционными видами ремесел в составе мини-гостиниц.

Функционально мини-гостиница с помещениями для ремесленной трудовой деятельности делится на две крупные зоны: жилую зону и зону организации трудовой деятельности. Для проектирования помещений жилой зоны в рамках научной работы проведен ряд исследований: собран обширный материал по планировочным решениям гостиниц (проекты, нормали, ГОСТы и т.п.), выполнен сравнительный анализ составов помещений и их габаритов, санитарно-технического оснащения и меблировки. В результате проделанной работы приняты принципиальные решения по формированию структуры жилой зоны.

Что касается зоны производственных помещений, то здесь дело обстоит сложнее. Для каждого территориального региона характерны свои исторически сложившиеся виды национальной традиционной этнографической деятельности. Наличие и состав ремесел оказывают непосредственное влияние на структуру функционально-планировочной и объемно-пространственной организации производственных помещений. Для разработки состава и габаритов площадей производственных зон необходимо определить весь спектр видов деятельности, характерных для Республики Татарстан. Виды

Рис. 1. Этнографический и ремесленно-торговый квартал «Рыбная деревня» в Калининграде

а)

б)

в)

г)

Рис. 2. Русская деревня «Шуваловка» в Санкт-Петербурге:
а) гостиница; б) мельница; в) мастер-класс в кузнице; г) в гончарной мастерской

Таблица

Виды национальной традиционной этнографической деятельности и ремесел, характерные для территории Республики Татарстан

Техника	Виды деятельности	Продукт производства
1	2	3
1. УТИЛИТАРНО-БЫТОВЫЕ НАРОДНЫЕ РЕМЕСЛА И ПРОМЫСЛЫ (изготовление бытовых изделий, одежды, деталей народного костюма, предметов интерьера, сувениров)		
Ткачество	Изготовление тканой одежды	Узорные рубахи, пояса, фартуки
	Изготовление узорных многоцветных тканей	Ткани
	Изготовление тканых предметов интерьера	Декоративные полотенца, занавеси, покрывала, скатерти, коврики, салфетки, тканые дорожки, пологи, подзоры
Шитье	Изготовление элементов костюма	Свободные рубахи - кулмэк, шаровары с широким шагом, камзолы, казакины в талию, бешметы, прямоспинные чекмени
	Изготовление головных уборов	Калфаки, тюбетейки, заостренные кверху головные уборы из войлока, меха и ткани, платки
	Изготовление деталей народного костюма	Верхние нагрудники, перевязи, накосные украшения, манжеты рукавов
Ковроделие	Безворсовое ковроделие	Ковры, половики, дорожки, гобелены
Вязание	Изготовление одежды	Шали, носки, варежки
Скорняжное дело	Обработка овчин и шитье из них верхней одежды	Тулупы, шапки, рукавицы
Шерстобитное и валяльно-войлочное дело	Обработка шерсти	Войлоки, кошмы
	Изготовление головных уборов и валенной обуви	Шляпы, валенки
Обработка кожи	Изготовление изделий в техниках тиснения и мозаики	Диванные подушки, кисеты для табака, переплеты, декоративные коврики
	Изготовление узорной обуви	Женские сапожки — ичиги, туфли; мужская мозаичная обувь
2. ДЕКОРАТИВНО-ПРИКЛАДНОЕ ИСКУССТВО (художественное оформление изделий, одежды, деталей народного костюма, предметов интерьера, сувениров)		
Роспись по ткани	Изготовление предметов интерьера	Занавески, панно, чаршау – занавеси-перегородки, скатерти, декоративные накидки, салфетки
	Изготовление одежды	Головные платки, шарфы, платья, блузы
	Изготовление мини-гобеленов	Натюрморты, пейзажи, символико-аллегорические композиции

Продолжение таблицы

1	2	3
Роспись по дереву	Роспись бытовой утвари	Сундуки, доски, шкатулки, разделочные доски
	Роспись посуды	Ложки, чашки, тарелки
	Роспись архитектурно-декоративных деталей	Полихромная раскраска деталей фронтонных ниш, наличников, обшивки и рустовки углов дома
	Изготовление сувениров	Матрешки, ложки, шкатулки
Аппликация по ткани	Изготовление предметов интерьера	Узоры из кусочков шелковых лент, пришиваемых к поверхности изделия свернутым «ушком»
	Изготовление одежды	Женские головные уборы – калфаки
	Изготовление ковров	Ковры из цветного меха с включением тамбурных вышивок и ушковой техники аппликации
Художественная вышивка	Полихромная тамбурная вышивка, вышивка гладью, золотое шитье, тамбурное золотое шитье	Декоративные полотенца, занавеси, покрывала, скатерти
	Художественное оформление предметов религиозного культа	Шамаили, молитвенные коврики, футляры для книг
Ювелирное искусство	Изготовление украшений	Колье, серьги, браслеты, бусы, подвески
	Изготовление сувениров	Декоративная посуда, монеты, ножи
Художественная керамика	Изготовление бытовой утвари и посуды	Кувшины, хумы, кумганы, блюда
	Изготовление сувениров	Декоративные фигурки, светильники, игрушки, свистульки, памятные тарелки
Кружевоплетение	Изготовление предметов интерьера	Декоративные скатерти, салфетки, пологи, подзоры
Резьба по дереву	Изготовление бытовой утвари	Прялки, коромысла, конские дуги
	Изготовление посуды	Шкатулки, вазы, сосуды, ковши, ложки
	Изготовление архитектурно-декоративных деталей	Резной и накладной орнамент, пилястры, колонки с ордерами, стрельчатые и килевидные фронтонные ниши, легкие веранды, галереи
Изготовление изделий из дерева в сочетании резьбы и росписи на основе традиций булгарского и татарского народа	Изготовление предметов интерьера	Резные картинные рамы, шкатулки, настенные тарелки, расписные блюда, резные двери
	Изготовление посуды	Расписные ложки в технике татарской «хохломы», ложки из капо-корня (без окраски, с сохранением текстуры различных пород дерева)
	Изготовление сувениров	Матрешки, сувениры по мотивам национальных сказок

Продолжение таблицы

1	2	3
3. ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ТВОРЧЕСТВО		
Живопись и графика	Изготовление произведений искусства	Картины, открытки
Росписи по стеклу	Изготовление предметов религиозного культа	Шамаили
4. УТИЛИТАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕМЕСЛА		
Деревообработка	Рубка изб	Изба, баня
Столярные работы	Производство мебели	Лавки, стулья, столы, шкафы
Бондарное дело	Изготовление бытовой утвари	Бочки, кадки, ведра
Экипажное ремесло	Изготовление транспортных средств	Сани, телеги, экипажи
Кузнечное дело	Художественная ковка	Каминные наборы, светильники, подсвечники, решетки и др.
	Изготовление сельскохозяйственных орудий	Массивные плужные лемехи и сошники, плужные ножи, косы, серпы, топоры
	Изготовление инструментов	Гвозди, ножи, тесла, долота, пила, скобели, фигурные молоточки чеканщиков, ножницы
	Изготовление бытовой утвари	Пряжки, иглы, безмены, гири, замки и ключи, обручи для ведер, шпоры, подковы
Слесарное дело	Изготовление предметов утвари	Медная посуда, самовары, котлы, кумганы

национальной традиционной этнографической деятельности были выявлены на основе изучения специальной литературы, в результате натурных обследований, посещения музеев истории и этнографии, частных коллекций и т.п. В результате анализа полученных материалов авторами разработана классификация, результат этой работы представлен в настоящей статье в табличной форме (см. табл.).

Рациональный выбор из обширного списка наиболее характерных видов местных национальных традиционных ремесел, тех, которые одновременно представляют значительный интерес и для потенциального потребителя – туриста, является основой разработки архитектурно-пространственных типов мини-гостиниц с помещениями для трудовой деятельности. Достоверность этого выбора представляется крайне важной. В связи с этим авторами разработана анкета-вопросник для выявления перечня видов деятельности. Анкета была распространена в России, Швеции, Италии и Турции. В настоящее время результаты анкетирования обрабатываются и анализируются.

Следующим этапом научного исследования должна стать разработка собственно предложений по архитектурно-планировочной организации мини-гостиниц с помещениями для трудовой деятельности, что и является основной целью настоящего исследования.

Литература

1. Александрова А.Ю. Из истории международного туризма // Вопросы истории, 1996, № 8. – С. 139-143.
2. Воронкова Л.П. История туризма и гостеприимства: Учебное пособие. – М.: “ФАИР-ПРЕСС”, 2004. – 304 с.
3. Уваров С.В. Классификация туристско-рекреационных учреждений, использующих мобильные здания // Сб. научных трудов «Проблемы совершенствования архитектуры рекреационных учреждений». – М: ЦНИИЭП учебных зданий, 1989. – С. 54-64.
4. Стаускас В.П. Градостроительная организация районов и центров отдыха. – Л., 1977. – 164 с.
5. Сенин В.С. Введение в туризм. Учебное пособие для гимназий, лицеев, колледжей и вузов. – М., 1993. – 100 с.
6. Бабкин А.В. Специальные виды туризма. – Ростов-н/Д: Феникс, 2008. – 252 с.
7. Зорин И.В., Каверина Т.П., Квартальнов В.А. Туризм как вид деятельности. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 288 с.
8. Гельфонд А.Л. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений. Учебное пособие. – М.: “Архитектура-С”, 2007. – 280 с.

УДК 712.25

О.В. Афонина – ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ИСТОРИЧЕСКИХ СЛОБОД КАЗАНИ КАК ВАЖНЫЙ ФАКТОР СТАНОВЛЕНИЯ АРХИТЕКТУРНОГО СВОЕОБРАЗИЯ ГОРОДА

АННОТАЦИЯ

В настоящее время любой город вынужден вступать в конкуренцию с другими городами. Конкуренция за все: инвестиции, информационные и туристические потоки, талантливых преподавателей, врачей, менеджеров.

Территории города во все времена его развития застраивались отдельными, локальными по композиции «слободами» разной величины. Слободы хорошо сохранили планировочную структуру и ключевые объекты, велика их роль и в истории города. Потенциал города (культурно-историческое наследие) необходимо не только сохранять, но и эффективно вовлекать в экономическую и социальную жизнь города. Умелое использование культурно-исторического наследия Казани является весомым конкурентным преимуществом перед другими городами в продвижении своего бренда.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Потенциал города, умелое использование культурно-исторического наследия.

O.V. Afonina – assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE USE OF POTENTIAL OF KAZAN HISTORICAL SETTLEMENTS AS THE IMPORTANT FACTOR OF CITY ARCHITECTURAL IDENTITY FORMATION

ABSTRACT

At present times any city has to compete with other cities. Competition for all – for investments, informational and tourist flows, talented teachers, medical doctors, managers.

The territory of a city in all times of its growth was developed by separate, local in composition "settlements" of different sizes. The settlements have saved its planning structure and key objects, and their role in the city history is significant. It is necessary not only to save the potential of a city (its cultural and historical heritage), but also to involve it effectively into economical and social life of a city. The competent use of cultural and historical heritage of Kazan is a significant competitive advantage over the other cities in the promotion of its brand name.

KEYWORDS: Potential of the city, competent use of the cultural and historical heritage.

Казань стремится позиционировать себя как город, имеющий богатое историческое наследие, сложившееся в процессе длительного взаимодействия двух культур, с одной стороны, а с другой – все больше и больше новых зданий строится на месте исчезающей исторической застройки. К юбилею Казани были снесены целые улицы неповторимой деревянной застройки, во многом формировавшей лицо города. Мировой экономический кризис, возможно, сыграет в данный момент положительную роль для Казани, будет время осмотреться и осознать, к чему стремится город. Под влиянием идей глобализации, в стремлении сформировать облик бурно развивающегося мегаполиса, в городе в последнее время построено много крупных престижных зданий, призванных усилить репрезентабельность столицы Татарстана.

Во многом это происходит и под влиянием экономических факторов. Наследие – всегда помеха: мешает развитию, занимает дорогую территорию, требует чрезмерного внимания и неоправданных с точки зрения бизнеса капиталовложений. В настоящий момент у казанских инвесторов и застройщиков сложился некий стереотип мышления о выгодности вложения финансов именно в новое строительство. Однако, на мой взгляд, это несколько поверхностное представление об инвестиционной привлекательности. Опыт последних десятилетий застройки исторических городов в странах Запада говорит об обратном – вложения в реставрацию, реконструкцию дают более существенную отдачу, нежели строительство новых объектов. А посетители исторических зон тратят в день больше денег, остаются на более длительное время и посещают больше мест, чем обычные туристы.

Например, как свидетельствует автор недавнего архитектурного бестселлера «Экономика исторического наследия» Донован Рипкема: «Восстановление исторического наследия создает рабочие места. Восстановление исторических объектов (в Джорджии) за пятилетний период привело к созданию 7550 рабочих мест, что дало $ 201 млн. общего трудового дохода, $ 559 млн. общего вклада в экономику штата, и это только от проектов, участвующих в федеральных программах и программах штата …

Расходы на реализацию программы охраны исторического наследия в Род-Айленде вылились в общий прирост добавочной стоимости в $ 232 млн. … Добавленная стоимость определяет уровень экономики региона так же, как ВВП определяет уровень экономики государства. На Федеральном уровне затраты штата Род-Айленд на сохранение исторического наследия в размере $ 240 млн. принесли $ 342 млн. прироста внутреннего валового продукта» [1].

Мировая экономика развивается парадоксально. Кон-цепция национальной экономики отживает свой век. Мы вступаем в век мировой экономики и всемирного рынка, и со временем эта тенденция будет проявляться все более очевидно. Но развитие, не включающее в качестве ключевых элементов сохранение исторического наследия и обновление центра города, является бессмысленным. Развитие ради развития и ничего больше?

В настоящее время центр города «захлебывается» во всевозможных рынках и офисах. В ночное время и выходные центральные районы становятся безлюдными, т.к. процент застройки жилья очень маленький. Это, несмотря на близость мест приложения труда, развитую инфраструктуру. Несмотря на все это, жилье в центре города нельзя назвать престижным. Центр Казани по сей день остается изгоем, хотя давно нуждается в тщательной реконструкции, что в свою очередь могло бы принести немалую прибыль.

Рис. Современная Казань – крупный мегаполис, только центральная часть которого “вобрала” в себя десятки исторических слобод и деревень

«Стоимость обновленных исторических владений значительно выше оценочной стоимости новостроек». Перегруженный региональный рынок Нижнего центра (НЦГ) в самом сердце исторической застройки города Денвера является, пожалуй, самым старым городским образованием на западе страны. В силу того, что большинство зданий в этом регионе были построены уже после Второй мировой войны, исторические здания, расположенные в НЦГ, приобретают еще большую ценность. Преобразившиеся склады НЦГ резко контрастируют с новой застройкой в пригородах Денвера, которая создавалась множеством разных архитекторов. Это оказало НЦГ добрую услугу. С 1990 г. стоимость жилья в этом районе выросла гораздо выше, чем цены на жилье в пригородах Денвера. Площадь на верхних этажах, которую трудно было продать по $ 50 за кв. фут всего лишь несколько лет назад, теперь «отрывают с руками за $ 250 и выше», – Донован Рипкема [1].

Генеральный директор Национального Центра Опеки Наследия Валентин Мантуров: «Доходность инвестиций в этом сегменте оправдывает риски. Международный опыт показывает, что лишь немногие из 500 известных человечеству видов экономической деятельности способны оказывать такое влияние на экономику, как восстановление исторических зданий». Я думаю, если взять на вооружение иностранный опыт, мы можем сделать сохранение исторического наследия Казани более привлекательным для инвесторов. К этому есть все основания.

Историческая Казань – это не только Кремль и застройка примыкающих к Кремлю городских кварталов, но и слободы, и деревни, существовавшие некогда вокруг города. Со временем разросшаяся Казань включила в себя данные населенные пункты, структура многих из них по сей день сохранилась в современном городе. Каждое такое поселение, будь то деревня или слобода, во многом и доныне сохранила образ, только ей свойственный. Современная Казань – это обширная территория, сформированная из множества исторических мест, связанных новой тканью городской застройки.

Казань возникла не на пустом месте. Город и большинство его пригородов, большая часть дорог формировались на основе существовавшей, по крайней мере, с X века развитой доказанской системы расселения, впоследствии пережив золотоордынский, булгарский и период Казанского ханства. Многие современные кварталы и группы кварталов Казани, большинство пригородов размещены на месте доказанских селений, сотни километров доказанских дорог стали городскими проспектами и улицами. На территории современного Большого города столетиями находилось большое количество селений.

Город этого времени представлял собой фактически конгломерат нескольких различных поселений – селитьба распадалась на «город», «посад», слободы. Благодаря неоднородности социального и этнографического состава населения городов, дополненной разнонаправленным взаимодействием других факторов планообразования, планировки городских поселений на первом этапе представляли собой многообразные сочетания различных планировочных форм, выделяемых для сельских населенных пунктов в качестве самостоятельных типов [2].

Территории города во все времена его развития застраивались отдельными, локальными по композиции «слободами» разной величины. Этот принцип также восходит ко временам Петра Первого. Практически все территории исторического года сформированы по «слободскому» принципу. В конце 19 – начале 20 века слободы сливаются с застройкой города и перестают существовать как отдельное образование, однако структура слобод сохраняется по настоящее время.

В современной Казани до сих пор читаются планировочные структуры слобод. Поэтому история слобод является важнейшим фактором в развитии градостроительной структуры города.

Термин «слобода» можно объяснить как:

- большое село с некрепостным населением;
- поселение около города, пригород.

Казанские слободы появились в пригороде, на окраинных землях, где было много свободной, невозделанной земли. Необходимо отметить, что появление слобод было тесно связано с военным и торговопромышленным развитием города. Слободы являлись территориально обособленными поселениями, имели естественные границы – овраги, речки, озера, болота, холмы и др.

Сегодня наиболее интересными, на мой взгляд, являются слободы Старо-Татарская и Адмиралтейская. Они хорошо сохранили планировочную структуру и ключевые объекты, велика их роль и в истории города, именно здесь необходимо развернуть работу по восстановлению и реконструкции.

В 1718 году у села Бишбалта царевым указом и было учреждено второе в России – после петербургского – Адмиралтейство, ставшее на службу молодого российского флота. В 1842-1849 годах была построена Адмиралтейская дамба, соединившая улицу Московскую (К. Цеткин) и улицу Успенскую (Московская). Вызывает особый интерес аналогии в планировке Адмиралтейской слободы в Казани и Васильевского острова в Санкт-Петербурге. Улица Большая идет к верфям в Адмиралтейской слободе Казани, аналогичный проспект Большой существует и в Санкт-Петербурге. В обоих случаях они служат композиционной осью, перпендикулярно которой лежат улицы, выходящие на Волгу и Неву соответственно. Таким образом, можно сказать, что Адмиралтейская слобода имеет богатейший исторический потенциал для интересного и современного развития.

Официальное название Татарской слободы впервые упоминается в писцовых книгах, датируемых 1566-1568 годами: «...за Булаком на Кабане озере Слобода Татарская». Старо-Татарская слобода во второй половине XVI века была уже довольно большим селением. В слободе была масса крохотных улочек, переулков и тупичков, которые возникли из-за стихийного и непланомерного строительства. Самым богатым и аристократическим татарским урамом была центральная улица слободы – Захарьевская (сегодняшняя К. Насыри). Селиться здесь предпочитала вся знать. В 1749 году в Казани случился очередной пожар, в котором более всего пострадала Старо-Татарская слобода. Уже в 19 веке Старо-Татарская слобода становится религиозным и общественным центром татарского населения Казани, районом, где концентрируется татарская национальная культура, торговля и промышленность.

В 1998 г. на основании постановления Главы администрации г. Казани от 17.02.1998 г. № 293 «Об организации Казанского государственного историко-архитектурного заповедника «Старо-Татарская слобода» («Иске татар Бистэсе») была создана историко-культурная заповедная территория. Общий архитектурный облик слободы создается зданиями конца 18 – начала 20 веков.

На протяжении почти пяти столетий Казань является одним из опорных городов Российского государства. Очень много важнейших и даже поворотных в истории России событий непосредственно связано с Казанью. «Казанский вокзал», «Казанский собор», «Казанская улица» – так имя Казани, значение нашего города в истории страны нашло свое отражение в давно устоявшихся и привычных названиях важнейших объектов обеих столиц Российского государства. В 16-18 веках Казань – главный форпост России в ее движении на восток. Это зафиксировано в многочисленных исторических наименованиях отдельных участков и элементов города: Адмиралтейская слобода, Сибирский тракт, Арское поле.

Многие улицы заимствовали свои названия от примечательных исторических объектов: Адмиралтейская, Зилантовская; об этнической принадлежности и вероисповедании жителей говорят на-звания слобод города – Старая и Новая Татарская слобода; если в черту города оказывалось включенным село, то его название могло переходить на улицу, как-то Малая Игумнова улица.

Архитектурный бренд города, основанный на его истории, – это совокупность его знаковых объектов (символов) и многочисленных исторических мест. Только так возникает репутация исторического города, а бренд города – это и есть его репутация.

Охрана исторического наследия – неотъемлемая часть человеческой культуры, берущая свое начало от эпохи Возрождения. На данный момент сложилась неясная ситуация: что делать с архитектурным наследием. «Сегодня Федерация – неэффективный собственник памятников, которые находятся в регионах, регионы – тоже неэффективные собственники памятников, находящихся на их территориях», – заявила председатель правительства Ярославской области, первый заместитель губернатора Ирина Скороходова. «Задача законодателей – создать условия, чтобы люди, которые созревают до того, чтобы вложить деньги в историю, получили разумные преференции» [4].

По данным Всероссийского центра изучения общественного мнения (ВЦИОМ), на основании результатов опроса, проведенного в середине ноября 2008 года в 42 регионах России, практика использования исторических зданий в коммерческих целях, если инвестор обязуется отреставрировать их за свой счет и сохранить архитектурный облик памятников, имеет немало сторонников среди россиян: 14 % безусловно одобрили такой подход, 36 % – скорее одобрили. Отрицательно оценили эту практику 40 % опрошенных, затруднились ответить 10 % [3].

Но необходимо понимать, что речь идет не только об охране исторической застройки, но и о возможности ее органичного включения в процессы современной жизни города.

Опыт показывает, что в городах без прошлого социальные противоречия обычно острее. Законсервированные исторические места немногим лучше: жить в них – значит задыхаться от нехватки пространства и фальшивой косметики. Прошлое и будущее нуждаются друг в друге: прошлое сообщает, а будущее вдохновляет. В точке их встречи находится образованное прошлым и вдохновленное будущим настоящее.

Сегодня необходимо найти «золотую середину» и для Казани, между сносом и тотальным сохранением архитектурного наследия. И дело не только в том, чтобы подробно воссоздавать историческую архитектурную среду, а в том, чтобы включать в эту среду и новую архитектуру, но такую, которая «говорила» об истории данного места, здания, улицы, сквера и т.п. Чтобы с помощью архитектурного контекста можно было «читать» историю места, целенаправленно формировать систему ассоциативных образов в сознании потребителя.

Репутация исторического города всегда заключается в количестве и многообразии исторической среды, отражающей его эволюционное развитие – чем это многообразие шире, тем устойчивее бренд. Среди городов современной России у Казани в этом одна из лучших позиций. Здесь нельзя не отметить, что наш город особенно интересен сочетанием бикультурного архитектурного наследия. Сочетание европейской и восточной архитектуры заметно расширяет палитру исторического многообразия. В городе всемерно надо поддерживать сложившееся многообразие исторической среды. Единство в многообразии – это и есть ключ к бренду Казани.

Подготовка к проведению Универсиады, ожидаемое развитие туризма является хорошим поводом для привлечения внимания и инвестиций в область сохранения исторического наследия и формирования бренда города.

Можно приводить бесконечное число позитивных и негативных примеров того, как меняются исторические города под напором новой жизни с ее новыми реалиями и запросами. Ответственность за архитектурные последствия этих перемен, на мой взгляд, несут архитекторы: ведь обстоятельства меняются, нормы и правила пересматриваются, правители уходят, и их забывают, а архитектура остается.

Литература

1. Рипкем Д. Экономика исторического наследия. Практическое пособие для руководителей / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Милдинг Медиа Груп», 2006. – 156 с.
2. Загоскин Н.П. Спутник по Казани. Иллюстрированный указатель достопримечательностей и справочная книжка города. – Казань: Татарское книжное издательство, 2004.
3. http://www.regnum.ru/news/1092486.html (дата обращения 31.03.2009).
4. http://www.regnum.ru/news/829361.html (дата обращения 31.03.2009).

УДК 712.25

В.Л. Глазычев – доктор искусствоведения, профессор
Московский архитектурный институт (Государственная академия) – МАРХИ

УСТРОЕНИЕ РОССИЙСКОГО ПРОСТРАНСТВА

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается сложившаяся в настоящее время в России ситуация со стратегическим территориальным планированием. Проводится сравнительная оценка подходов к территориальному планированию, как от региональных стратегий к единой системе планировочной организации всей страны в целом, так и наоборот, от общей концепции территориального развития России к макрорегионам и более низкому масштабу уровню административных территориальных единиц. Отмечается, что территориальное планирование более результативно осуществлять в границах территорий с единой хозяйственно-экономической, историко-культурной и природно-климатической общностью, а не в условных границах субъектов Федерации или муниципальных образований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Территориальное планирование, административные территориальные единицы, планировочная организация.

V.L. Glazichev – doctor of fine arts, professor
Moscow Architectural Institute (State Academy)

THE STRUCTURE OF RUSSIAN SPACE

ABSTRACT

The present situation with strategic territorial planning in Russia is considered. The comparative assessment of approaches to territorial planning, from regional strategy to unified system of planning organization of the whole country, and conversely, from the general concept of the territorial development of Russia to macroregions and lower scale level administrative territorial units, is conducted. It is observed that territorial planning is more effective to realize rather within territories with common economic, historical, cultural and climatic situation, than within relative borders of federation regions or municipal formations.

KEYWORDS: Territorial planning, administrative units, planning organization.

Благодаря Сизифовому труду нескольких профессионалов, рискнувших тратить жизненные силы на просвещение начальства, слова «пространственное развитие» теперь в ходу. Слова в ходу, так что изготовление схем территориального планирования успешно поставлено на поток, однако идея основополагающей пространственной рамки для работы планирования по-прежнему витает в эфире идеального, решительно не вступая в контакт с действительностью управления.

Казалось бы, двухлетний опыт игры в стратегии регионального развития должен бы научить правительство тому, что это тупиковый закоулок административного сочинительства. Интеллектуальной вершиной деятельности МЭРТа стало, как известно, назначение трех вариантов сценария развития региона: инерционного (он же сырьевой), инновационного и промежуточного. Эта нехитрая схема была доведена до сведения региональных властей, правильно ими понята, следствием чего стало производство объемных текстов с титулом «стратегия». Не изготовить такой текст никак нельзя – без этого вложений из федерального бюджета не получить. Содержание текста особого значения не имеет, почему его сотворение можно без особых сантиментов препоручить на аутсорсинг – обычно с некоторыми привходящими обременениями. Соответственно, сама уже идея содержательного обсуждения концепта с муниципалитетами и независимыми экспертными сообществами отторгалась властью не только как экзотическая, но и как попросту избыточная.

По-своему, это рационально. Коль скоро федеральный центр, как и в советские времена, мыслит экономику исключительно отраслями, вполне удовлетворяясь скудными и неточными сведениями относительно «социалки», то и на региональном горизонте нет никаких оснований идти на усложнение. Посему понять, кто и как будет осуществлять грандиозные планы, из текстов решительно невозможно, так что создается устойчивое ощущение,

что единственным субъектом развития выступает сама региональная власть. По умолчанию предполагается, что финансирование основных инвестиций будет осуществляться через ВЭБ, хотя заранее известно, что инвестиции, если и пойдут, то через госкорпорации, планы которых утверждаются на самом верху, так что региональной власти от этого мало что перепадет. Просто такая игра.

При этом забывается, что в отсутствие Госплана, Госснаба и контрольной ретивости КПСС, отрасль есть пустая абстракция, пригодная единственно для статистики. Между тем, нам досталась система расселения от совершенно иной страны и система управленческого мышления, настроенная на неуклонное наращивание количеств – тонн, кубометров, рабочих мест, квадратных метров, от которых годами, десятилетиями отсчитывалось все прочее.

Здесь не место углубляться в толщу истории российского расселения. Достаточно сказать, что она является результатом последовательного, многовекового наслоения множества следов волн разбегания и стягивания. Первичная колонизация по новгородскому образцу, раздвижка череды крепостей, постепенно отжимавших Дикое поле, вторичная колонизация Заволжья, эпопея Транссиба, столыпинское переселение, великое перемещение промышленности во время войны и эпопея Гулага, Целина и рассеивание оборонных предприятий по всей территории страны. При всех этих движениях одно оставалось неизменным: исторический центр отдавал население в пользу мест все более отдаленных, а наращивание демографического потенциала казалось столько очевидной константой, так что даже комиссии Вернадского, в условиях первой мировой войны, не приходило в головы усомниться в том, что население России будет прирастать в бесконечность. С крахом советской системы планирования и института прикрепления людей к рабочим местам изменилось очень многое, но для нашей темы важнее всего три обстоятельства. Первое – центростремительное движение наиболее энергичных к Москве и на юг. Второе – стягивание населения в крупнейшие города. Третье – практическое исчезновение традиционного села в перспективе ближайшего десятилетия.

Нынешний экономический кризис может, как и в начале 90-х годов, породить реверсивное движение людей к огородам, но понятно, что этот приступ дезурбанизации будет иметь временный характер, а неизбежную паузу в практическом планировании резонно использовать так, чтобы хотя бы теперь, с непростительным опозданием, пересмотреть основания территориального планирования. Называя вещи своими именами, это означает осуществить пересмотр планирования как такового. В основе всякого планирования лежит целеполагание, а именно с определением целей построения концепций, стратегий, планов до сих пор происходит нечто невразумительное. При просмотре всех на сегодня региональных стратегий ключевым словом является «развитие», но на простой вопрос – что же именно должно развиваться в первую очередь, каковы приоритеты развития – можно вычитать единообразный ответ: все и повсюду!

Такого не бывает, и нам все же необходимо ответить на простой вопрос: что – для того чтобы иметь опору для ответа: где именно и как.

Слово «развитие» мало что объясняет, поскольку всякому, кто знаком с положением дел в нашей стране, понятно, что в большинстве случаев нечто существующее, будь то фабрика, сельхоз или университет, придется отнюдь не развивать, а создавать заново. Часто на новом месте. Это трудно, но возможно при наличии среды, способствующей формированию нового, и достаточного числа новых профессионалов, добиться которого в лучшем случае возможно в течение семи-восьми лет. Поскольку же такой среды нет, ее пересоздание оказывается ключевым условием, а если так, то ведущая тема планирования – регенерация среды в местах, определенных с некоторой избыточностью, в силу неизбежности локальных ошибок.

Инновации, новые технологии, конкурентоспособность – все это превосходно, но все ниши на мировом рынке заняты, так что не получится выстроить эффективный проектный менеджмент. Соответственно, меньше чем через десять лет получить первые результаты в трех-четырех десятках мест невозможно. При этом кризис, который (будем надеяться) способен несколько ускорить процесс необходимых перемен, в любом случае проглотит накопленные финансовые ресурсы, так что у нас нет времени на ожидание виртуальных благоприобретений.

Нас маловато, территория обширна,* следовательно, вместо наивной методы, согласно которой сначала – региональные стратегии, затем уже их сборка в единое целое, для начала необходимо видеть страну целиком, в ее геополитическом окружении. Отсюда укрепление приграничья, включая Арктику, вычленение заповедных территорий, основных линий транзита, зонирование территорий, пригодных для развития эффективного агрокомплекса (у нас порядка 10 млн. кв. км пригородных, потенциально урбанизированных земель) и т.п. Это отдельная, обширная тема, которую разрабатывали лучшие умы России, от Ломоносова до Вернадского, вступая в решительное противоречие с попытками

*Столь любимый у нас сюжет низкой плотности заселения пригоден исключительно для сравнительных подсчетов и лишен смысла. В Канаде или в Австралии средняя плотность еще ниже, чем в России, что нисколько не помешало этим странам сформировать весьма эффективную экономику.

разорвать экономику на отраслевые схемы, закрепляемые в конструкциях различных ведомств, плохо приспособленных к взаимодействию.

Макрорегионы в экономическом смысле – территории, вычленяемые сообразно задаче, безотносительно к границам между субъектами федерации и, тем более, между федеральными округами. В современных условиях размерность макрорегиона будет определяться скорее глобальным экономическим контекстом в его перспективе, чем одними лишь страновыми ожиданиями. В самом деле, к примеру, Южноякутское ядро развития с очевидностью получает или не получает шанс и масштаб в зависимости от мировой сырьевой конъюнктуры, а та, в свою очередь, определится от шансов радикального перехода в технологиях стран, более продвинутых, чем Россия. В любом случае опыт показывает, что возможность практической реализации макрорегионального проекта открывается в том лишь случае, если для этой цели формируется госкорпорация, тем самым фактически изымая территорию из регионального контроля, а конкретные проекты – из контроля ведомств. Так было в советское время, так – судя по «Олимпстрою» – делается и сейчас.

Исходная громоздкость такого рода проектов в существующем правовом поле усиливается тем, что возникающие подвижки расселения в системе макрорегиона должны каким-то образом вписываться в закон об основах местного самоуправления, тем самым попадая и в поле тяготения региональной власти. С другой стороны, неопределенность мировой конъюнктуры при длительности цикла развития макрорегиона чрезвычайно осложняет выбор, тогда как масштаб затрат ставит под сомнение возможность одновременной реализации более одного проекта. Применительно к проектной работе это означает необходимость опережающей разработки пакета макрорегиональных разработок, просчитанных до уровня полноценного бизнес-плана.

Масштабным уровнем ниже – субъекты федерации, административные регионы. Как схема организации повседневного функционирования, они не хуже и не лучше любой другой схемы расчленения страны на зоны регулируемого обеспечения базовых потребностей масс людей. Эта схема видоизменялась десятки раз, продолжает видоизменяться сейчас, будет видоизменяться и впредь,** но она имеет некое отношение к вопросам развития исключительно по застарелому недоразумению. Главы регионов, отвечая «за все» на подведомственной территории, осознают себя в роли ключевых агентов развития, а не в роли организаторов условий для развития, которое могут осуществлять различные слои предпринимательского сословия. В то же время сословия федеральных управленцев и контролеров, преследуя собственные цели, до настоящего времени делали все, чтобы «укоротить» претензии предпринимателей, тогда как власти сильных муниципалитетов, ущемленные в правах региональными властями, в большинстве случае, в свою очередь, зажимают возможности предпринимателей, которых, в свою очередь, тоже к ангельскому чину не причислить.

Как уже говорилось, региональные стратегии до сих пор разрабатывались в логике ритуальных жестов, но даже если бы к их разработке отнеслись всерьез, получить новое качество было бы сложно. Чрезвычайно сложно – потому, что региональные администрации, за редчайшим исключением (Пермский край), в точности воспроизводят отраслевую структуру отчетности и планирования, заданную федеральным ведомствами. Это автоматически означает, что места обитания людей трактуются как данность, тогда как их жизнеобеспечение пишется в графу «расходы», и о том, чтобы трактовать его как ключевую линию инвестирования, нет и речи.***

Российскому градостроению лет пятьсот, если принимать во внимание только московскую стадию государственности. Эта школа градостроительного искусства исходно базировалась на проектном, целевом подходе, в рамках которого человеческий материал трактовался как своего рода «сырье», которое перемещали по мере необходимости, впрочем, заботясь о льготах по уплате подати.

Вот фрагмент грамоты Ивана Грозного от 4 марта 1583 г., адресованной двинским воеводам: «Писали есте к нам о Двинском городовом деле и роспись и чертеж тому городу к нам прислали: и мы тое росписи вычли и чертежу смотрили, и указали поставить город на том месте и по той мере, как в вашей росписи и в чертежу написано; а Архангелскому монастырю, церкви и кельям указали есми им бытии в городе, а которые их монастырские службы, и дворы их служни, и всякие монастырские обиходы и тем службам и двором и всяким монастырским обиходом указали есми быть за городом… И как к вам ся наша грамота придетъ, и в бы часу того велели город делати на том месте и по той мере, по росписи и по чертежу, какову есте роспись и чертеж к нам прислали, наспех, теми посошными людьми, которую посоху к тому городовому делу есмя указали».

Та же схема поведения, постепенно размывавшаяся, но все же прочная, пережила отмену крепостного права и просуществовала до городовых реформ 1880-х годов и в целом была в полноте

** Достаточно указать как пример существование с 1929 по 1936 гг. Северного края, в который входили Архангельская, Вологодская, Северо-Двинская губернии и автономная область Коми (Зырян).

*** Известным оправданием региональных властей служит то, что при существующей налоговой политике, передающей более половины налогов в распоряжение федерального центра, у них нет существенных ресурсов для вложения в среду жизнедеятельности, тогда как сам федеральный центр городов «не видит».

воспроизведена социализмом. С 60-х годов постепенно увеличивались нормы обеспечения жильем и элементарными услугами, что, впрочем, не касалось ни малых, старинных городов, ни обширных зон «индивидуальной застройки» в больших городах. Если учесть приращение больших городов за счет ведомственных «городков» и сугубо декоративное назначение генеральных планов (за исключением парадных «полуансамблей»), то структуру российского города точнее всего можно описать как взаимное наложение частичных, незавершенных систем. Уже этого достаточно для формирования полноценного хаоса, но его мощь дополнена разновременностью ветшания инженерных «полусистем».

Все это рассуждение понадобилось для того, чтобы констатировать: первостепенная задача очевидным образом заключается в осуществлении полновесного технического аудита наличного городового хозяйства страны. Только эта работа, имеющая немного общего с данными, собранными с БТИ, может стать первым исходным основанием для реалистического территориального планирования, поскольку ресурсов для развития среды во всех городах и поселках заведомо недостаточно. Но что может послужить вторым исходным основанием, вектором, направленным в сторону поселения от его окружения?

Не политика муниципалитета, поскольку в абсолютном большинстве случаев ресурсов, которые у него есть, лишь отчасти хватает на удержание среды от окончательного распада, и говорить на этом уровне о развитии можно только метафорически. Не т.н. муниципальный район, разумеется. Эта умозрительная схема, пришедшая на смену вполне понятному административному району (уезду), сугубо вторична, находится в прямой зависимости от регионального начальства и субъектностью не обладает. Но и не регион! Регион, соотносимый по территории с иными европейскими странами, слишком обширен и разнороден, чтобы играть роль регулирующей рамки для регенерации среды в каждом районе с его городом и поселком. Известные на сегодня региональные схемы территориального планирования показывают это со всей определенностью. Единой схемы расселения на территории России нет, но когда и если ее, наконец, создадут, в этом формате невозможно ожидать проработки каждого уголка.

Единственным горизонтом, на котором можно и сохранить целостную картину землепользования и градоустройства, и проработать возможности и ограничения всякого места – обитаемого, обитаемого ранее или обитаемого в перспективе – выступает субрегион, который в языке старых географов именовался «страной». Мещерский край, Горнозаводской Урал, Верхнее Прикамье – несть числа такого рода землям, имеющим общие природные условия, общую историю и (нередко) внутренние связи между местами обитания. Субрегион есть, но в управленческом понимании его нет.

Между тем, именно на этом горизонте можно реально отработать схему межмуниципального взаимодействия, без которой рациональное построение обитаемой среды в условиях разреженности отечественного расселения практически неосуществимо.

Придется признать, что в нынешних условиях проектная проработка субрегиона, охватывающего фрагменты территорий двух и более регионов, почти невероятна, в силу неразвитости культуры достижения договоренности между субъектами федерации. Тем важнее попытки выхода к задаче такого содержания в тех регионах, где есть шансы на рациональность подхода к субрегиону, целиком размещающемуся в границах губернии. Пауза в горячке охоты регионов за инвестициями, порожденная кризисом, создает шанс для подготовительной исследовательской и проектной работы такого типа, и многое будет зависеть от того, будет ли использован этот шанс.

Литература

1. Градостроительный кодекс РФ. Федеральный закон от 29 декабря 2004 г., № 190-ФЗ.
2. Глазычев В.Л. Урбанистика. – М.: Изд-во «Европа», 2008.
3. Владимиров В.В. Избранные труды 1990-2000 гг. – М.: Московские учебники и картолитография, 2001.

УДК 711.111

А.А. Дембич – кандидат архитектуры, заведующий кафедрой градостроительства и планировки сельских населенных мест
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)
В.А. Давыдов – кандидат философских наук, заместитель директора НИиПИ генерального плана г. Москвы, директор Гильдии градостроителей РФ

ИНТЕГРИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ РАЗРАБОТКИ ДОКУМЕНТОВ ПО УПРАВЛЕНИЮ РАЗВИТИЕМ ТЕРРИТОРИЙ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается проблема взаимоувязки пространственного планирования на территории РФ с другими видами планирования, также нацеленными на развитие территорий. На примере разработки генеральных планов Казани, Чебоксар, Калининграда показана ущербность принятой сегодня методики градостроительного планирования, не увязанной со стратегиями социально-экономического развития этих городов, и анализируются причины и последствия отсутствия этой связи.

Рассматривается новая, интегрированная модель подготовки градостроительной документации верхнего уровня, органично связанная со стратегическим социально-экономическим планированием развития территорий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Пространственное планирование, генеральные планы, градостроительная стратегия, стратегия социально-экономического развития.

A.A. Dembich – candidate of architecture, professor, head of the Urban Planning department
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)
V.A. Davydov – candidate of philosophy sciences, deputy director of NIiPI of general plan of Moscow, director of The Guild of Planners of RF

INTEGRATED MODEL OF DOCUMENTS ELABORATION ON TERRITORIES DEVELOPMENT MANAGEMENT

ABSTRACT

In this article the problem of interconnection between spatial planning on RF territories and other types of planning, also targeted on territories development, is considered. Using examples of the general plans elaboration of Kazan, Cheboksary and Kaliningrad the imperfection of current methods of urban planning is shown. These methods are not connected with strategies of social-economic development of the cities; and reasons and consequences of absence of such connection are analyzed.

The new, integrated model of preparation of top-level urban planning documentation, closely connected with strategic social-economic planning of the territories development, is considered.

KEYWORDS: Spatial planning, general plans, urban strategies, strategic social and economic planning.

Сегодня в России и на законодательном уровне, и на уровне градостроительной теории и практики отсутствует целостная концепция разработки документов, позволяющих целенаправленно и эффективно управлять развитием территорий.

Практически независимо друг от друга на территории России разрабатываются и утверждаются документы территориального, социально-экономического, бюджетного и отраслевого планирования. На противоречивые планы, выработанные в выше названных сферах управления развитием территорий, накладываются и далеко не всегда хорошо увязанные между собой планы деятельности региональных и муниципальных властных структур, что приводит к еще большей несогласованности в этих процессах.

Практически единственный законодательный документ, призванный выстроить системное управление развитием территорий, – Градостроительный кодекс РФ – на деле не решает эту задачу, оставаясь лишь схематичной правовой канвой, допускающей множество трактовок и возможных, часто не согласующихся решений.

Вот что пишет об этом один из наиболее опытных и знающих градостроителей России, Президент Гильдии градостроителей России, почетный академик РААСН М.Я. Вильнер: «… им (Градостроительным кодексом РФ) не обеспечен комплексный подход к регулированию развития территорий, являющийся сущностью градостроительства, не обеспечено поддержание профессиональной основы решения градостроительных задач; государство практически отстранено от регулирования развития своей территории посредством его подмены механическим сложением отраслевых решений и решением землеустроительных задач муниципального уровня» [5].

С момента вступления в действие Градостроительного кодекса РФ прошло пять лет. Срок уже достаточный, чтобы подвергнуть анализу результаты его применения.

Передача в ведение муниципальных властей подготовки и согласования градостроительной документации территорий муниципальных образований естественным образом привела к тому, что в сельских муниципальных районах, малых и средних городах России подобная документация к сегодняшнему дню практически отсутствует.

Да и далеко не все большие города России к настоящему времени успели обзавестись утвержденными генеральными планами, не говоря уже о других, необходимых для планомерного развития видах градостроительной документации. По данным Министерства регионального развития РФ, на начало 2008 г. из 1100 крупных и средних городов России только около 70 имели новые утвержденные генеральные планы. Однако и эти, только что разработанные и утвержденные генпланы уже изначально содержат в себе серьезную проблему, немедленно лишающую эти документы жизнеспособности и которая уже в самом начале реализации требует серьезных корректировок или кардинальной переработки.

Суть этой проблемы в том, что эти важные документы долгосрочного планирования в значительной мере выполнены на базе устаревших методик, свойственных отечественному градостроительству советского периода, но при этом из этих методик механически удалена их социально-экономическая основа – опора на планы развития народного хозяйства, характерная для директивной экономики, а иного взамен не предложено.

В сегодняшних российских условиях становления рыночной экономики уже апробированной и реальной заменой директивному экономическому планированию могут стать используемые в западных странах стратегии социально-экономического развития.

В настоящее время многие муниципальные образования России уже разработали или разрабатывают подобные стратегии. Но дело в том, что в нашей стране стратегии социально-экономического развития территорий пока совершенно не увязаны с градостроительными стратегиями пространственного развития территорий и, соответственно, с разрабатываемой и утверждаемой градостроительной документацией – генеральными планами и проектами планировок.

По всей видимости, для органичной увязки социально-экономических стратегий с последующими градостроительными документами, стратегии должны стать комплексными, включив в свой состав прогнозные градостроительные материалы в форме «концепций» градостроительного развития территорий.

Без этих материалов процесс «перехода» от стратегий социально-экономических к стратегиям градостроительным вряд ли будет плодотворным.

Типичным примером тому служат генеральные планы крупных региональных центров России – Казани, Чебоксар и Калининграда. Генеральные планы этих городов выполнены всего несколько лет назад, различными проектными коллективами, но все они не опираются на современные хорошо разработанные и общественно признанные стратегии своего социально-экономического развития.

В Казани к разработке генерального плана приступили в 2003 году, после проведения тендера на право выполнения проектных работ. Победителем тендера стал объединенный творческий коллектив проектных институтов «Казгражданпроект» (Казань) и ЦНИИЭП Градостроительства (Москва).

В этом же 2003 году, в преддверии празднования 1000-летия города (в 2005 г.), при участии и под методическим руководством Международного центра социально-экономических исследований «Леонтьевский центр» (Санкт-Петербург) была выполнена «Стратегия развития г. Казани до 2015 г.».

К этому времени Леонтьевский центр уже выполнил стратегию развития Санкт-Петербурга (1998-99 гг.), одну из первых стратегий в России, сформировав на этой работе собственную методику подготовки подобных документов (технология КРЭП®) и образовав у себя специализированное подразделение для этих работ – Ресурсный центр по стратегическому планированию (РЦСП).

Стратегия Казани была выстроена на этой методике, хотя и в значительной степени формально, поскольку многие методические звенья, в силу сжатых сроков исполнения работ и административного давления руководства города, были заменены на волевые решения. В результате стратегия во многом превратилась в традиционный «комплексный план» развития городского хозяйства, слабо ориентированный на рыночную экономику и достижения городом конкурентных преимуществ на геополитической и геоэкономической арене.

В силу этих обстоятельств, когда в 2003 году началась разработка генерального плана города, в его составе

пришлось выполнить специальный раздел «Социально-экономическое развитие г. Казани» (субподрядчик «Агентство градостроительного развития»), призванный заполнить информационную нишу в определении и ранжировании приоритетов городского развития, определении пространственных ресурсов для реализации этих приоритетов.

Но и материалы этого раздела, в силу стремления руководством генпроектировщика ("Казгражданпроект") по возможности просто скомпилировать методику выполнения генплана Казани 1969 г., оказались маловостребованными.

В результате, после утверждения в декабре 2007 г. генерального плана Казани, город сразу же столкнулся с рядом важнейших градостроительных проблем, которые генеральным планом оказались не предусмотренными.

В частности, к таким проблемам можно отнести освоение и ревалоризацию протяженного (свыше 20 км) приволжского берегового фронта, резкое сокращение объемов производства на оборонных предприятиях и, как следствие, запустение на огромных территориях и кардинальное изменение транспортных потоков в городе, необходимость в развитой системе туристического сервиса в связи с предстоящей Всемирной Универсиадой, интенсивное спонтанное развитие пригородных территорий.

Столкнувшись с этими «новыми», а на деле давно предполагаемыми вызовами, казанское руководство вынуждено было срочно предпринимать меры по решению остро возникших проблем.

Одним из подобных мероприятий стал проведенный в Казани летом-осенью 2008 года масштабный международный проектный семинар «Градостроительная реорганизация и развитие приволжских территорий г. Казани» с участием свыше 40 специалистов из Великобритании, Германии, Нидерландов, Финляндии и России.

Только отдельно взятые материалы проектного семинара и система проектных предложений по размещению объектов Универсиады настолько значительно «перекраивают» заложенную в генеральном плане планировочную структуру Казани, что неизбежно должно повлечь за собой пересмотр генерального плана города. А ведь не прошел еще и год с момента его утверждения.

Не имел в своей основе стратегии социально-экономического развития и разработанный фирмой «Энко» (Санкт-Петербург) Генеральный план столицы Чувашии, выполненный в 2003-2004 гг. Именно поэтому в первые же годы его реализации руководство Чебоксар таким же образом столкнулось с целым рядом проблем, вызванных отсутствием увязки предлагаемых в Генплане градостроительных решений с реалиями социально-экономического развития Чебоксарской агломерации, обусловленными спецификой рыночной экономики.

В результате руководство Чувашии было вынуждено в 2007-2008 гг. заказать нескольким проектным коллективам (из Чебоксар и других городов России) «Концепцию градостроительного развития г. Чебоксары (агломерация, город, центр)» и параллельно заказать разработку стратегии социально-экономического развития города.

При подготовке этой концепции в «Агентстве градостроительного развития» (г. Казань), выполненной под руководством одного из авторов этой статьи, была предложена своя методика подготовки подобных градостроительных документов.

В основу методики был положен, основанный на предыдущем опыте работ последних лет, специально разработанный алгоритм проектно-аналитических действий, включающий следующие последовательные операции:

- Ресурсный анализ территорий (SWOT и STEP-анализ);
- Выдвижение и формирование «Миссии города»;
- Составление оптимального (ресурсно-обоснованного) сценария развития Чебоксарской агломерации;
- Обоснование общих контуров возможной комплексной (социально-экономической и градостроительной) стратегии развития Чебоксарской агломерации, г. Чебоксары и его центра;
- Ориентировочный перечень развивающих проектных программ, выстроенных в хронологическом порядке их реализации, согласно предлагаемому сценарию развития.

Таким образом, все предложенные в «Концепции» решения по градостроительному развитию территории базировались на ресурсно-обоснованном сценарии социально-экономического развития и являлись последствием логического алгоритма проектно-исследовательских действий.

Вполне естественно, что выработанный на основе анализа ресурсов сценарий выявления и развития конкурентных преимуществ Чебоксар и создание пространственных условий для их реализации заметно шли в разрез с утвержденным за несколько лет до этого Генеральным планом города. Особенно существенные различия между утвержденным генпланом и предлагаемой новой концепцией обнаружились при рассмотрении развития Чебоксар как агломерационного центра. Вполне вероятно, что эти материалы в совокупности с подготавливаемой сегодня стратегией социально-экономического развития Чебоксар также приведут к серьезной корректировке генерального плана города.

Генеральный план г. Калининграда, выполненный той же фирмой «Энко» (Санкт-Петербург) в 2004-2006 гг., так же, как и генплан г. Чебоксары, не опирался на социально-экономическую стратегию развития. Поэтому закономерно возникновение подобных же проблем с первых шагов реализации генплана.

Полная неясность в подходах к реконструкции центра города, вызванная противоречием в решениях генерального плана и реально предлагаемых инвестиционных проектах, позиционирующих Калининград как «форпост России на Западе», заставила руководство города и области в 2007 г. провести международный проектный семинар «Концепция градостроительного развития центральной части г. Калининграда», чтобы получить реальные и обоснованные предложения.

По информации на сайте Калининграда, на совещании 19 марта 2009 г. мэр города Феликс Лапин заявил: "Генплан составлялся довольно давно и ряд показателей не соответствует нынешней действительности. Число жителей города, согласно плану, к 2015 году должно быть 720 тысяч человек, также территория города указана на 500 га больше ее нынешних размеров. Эти неточности должны быть устранены". По мнению главы города, генеральный план Калининграда опирался на другие представления и планы социально-экономического развития. Теперь, когда разрабатывается стратегия, эти два основополагающие документа должны быть согласованы между собой и между ними не должно быть фактических разночтений.

Уже только эти примеры, основанные на анализе генпланов трех городов и попыток их реализации, позволяют нам сделать вывод о необходимости интегрированной подготовки стратегий социально-экономического и градостроительного развития территорий.

Почти десять лет назад, наблюдая стремительно развивающийся в нашей стране рынок, один из ведущих градостроителей советского периода, академик РААСН И.М. Смоляр очень прозорливо предупреждал о срочной необходимости взаимосвязи всех видов планирования, связанных с городским развитием: «Излишне говорить о том, на сколько тесно связаны между собой городское и градостроительное планирование, а главное – как сильно зависят оба эти вида плановой деятельности от экономико-социального уклада общества» [7].

Но только недавно потребность в таком интегрировании стала пробивать себе дорогу в реальную практику.

Появились первые опыты таких работ, закладывающих основы будущей методологии территориального планирования в нашей стране.

На примере собственных и некоторых других, известных нам отечественных работ, на примере анализа опыта стран, давно осуществляющих градостроительное планирование в условиях рыночной экономики, мы видим, что сегодня уже наметился приемлемый алгоритм интегрированных подходов и методик к стратегическому планированию. Необходимо лишь на федеральном уровне поддержать подобные подходы, оказать финансовую поддержку теоретическим исследованиям, направленным на системную разработку соответствующих методик, позволяющих органично сочетать стратегии пространственного и социально-экономического планирования.

В противном случае, государственные и муниципальные власти в России вынуждены затрачивать многомиллионные бюджетные средства, выполняя вмененную им Градостроительным кодексом РФ обязанность по разработке необходимой градостроительной документации, которая на практике в значительной степени оказывается малопригодной.

Видимо, подошло время очередных серьезных изменений в системе подготовки градостроительной документации и в методике подготовки специалистов, способных выполнить такую работу. Изменений, тщательно продуманных, обоснованных и закрепленных соответствующими правовыми документами.

Литература

1. Смоляр И.М. Градостроительство как правовая планировочная система // Госкомитет по строительству и ЖКХ. Серия «Градостроительство и городское планирование». Вып. 14. – М., 2003.
2. Стратегическое планирование в городах – методы и практика // Госкомитет РФ по строительству и ЖКХ. Серия «Градостроительство и городское планирование». Вып. 20. – М., 2003.
3. Гапоненко А.Л., Панкрухин А.П. Стратегическое управление. – М.: Омега-Л, 2008.
4. Рингланд Д. Сценарное планирование для разработки бизнес-стратегии. – М. – СПб. – Киев: Диалектика, 2008.
5. Вильнер М.Я. Новый градостроительный кодекс с позиций профессионала. – М.: Зодчий 21 век, 2008.
6. Дембич А.А. Шаг к Волге и дальше // «Казань», 2008, №11.
7. Гилязетдинов А.Р., Дембич А.А. Основные этапы подготовки градостроительных документов рационального пространственно-планировочного развития г. Казани // Труды годичного собрания РААСН. – М. – Казань, 2003.
8. Градостроительный кодекс РФ (по состоянию на 1.05.2008). – М., 2008.
9. Стратегия развития Казани до 2015 г. // МЦСИ «Леонтьевский центр». – СПб., 2003.

УДК 712.25

Ю.А. Закирова – ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГОРОДСКИХ ПЕШЕХОДНЫХ ПРОГУЛОЧНЫХ ПРОСТРАНСТВ НА БАЗЕ МУНИЦИПАЛЬНО-ЧАСТНОГО ПАРТНЕРСТВА

АННОТАЦИЯ

В формировании системы городских пешеходных прогулочных пространств (ППП) на базе муниципально-частного партнерства участвуют три группы – органы власти, бизнес-сообщество и общественность. Мировой опыт лучшей практики градорегулирующей деятельности муниципалитета показывает, что действенным инструментом градорегулирования процесса формирования в городе системы общественных пространств (ППП в их составе) является целевая муниципальная программа, которая должна охватывать содержание действий, определять субъектов действий и процедуры действий по созданию в центре города системы ППП. Посредством программы создаются условия для градорегулирования и осуществляется контроль над градостроительной деятельностью по созданию в центре города системы общественных ППП.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Формирование, система пешеходных прогулочных пространств, муниципально-частное партнерство, градорегулирование, программа.

Yu.A. Zakirova – assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

FORMATION OF A SYSTEM OF CITY PEDESTRIAN PROMENADE SPACES ON THE BASIS OF PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP

ABSTRACT

In the formation of a system of city pedestrian promenade spaces (PPS) on the basis of public-private partnership three groups take part – government authorities, business-association and the community. World experience of the best practice of municipality's urban regulation activities shows that the effective instrument of urban regulation of forming in the city the system of public spaces (including PPS) is a purposeful municipal programme, which should cover the contents of actions, determine their subjects and procedures on creation of a PPS system in the city centre. So, by means of the programme the conditions for urban regulation are created, and the control of urban planning activity upon making in the centre of the city the system of public PPS is conducted.

KEYWORDS: Formation, system of pedestrian promenade spaces, public-private partnership, urban regulation, programme.

В настоящее время во многих городах Европы, Америки четко прослеживается социальная направленность деятельности муниципальных властей города. В области градостроительной политики это находит отражение в создании открытых общественных пространств, пешеходных зон – как способе решения общих транспортных, экологических, социальных проблем, вопросов охраны культурного наследия и исторического своеобразия среды. В таких разных городах, как Богота, Сеул или Париж, мэры проводят политику освобождения центральных улиц от автомобилей и превращения их в парки, бульвары, зоны пешеходного и велосипедного движения. В Лондоне реализуется принятая в 2002 г. программа создания «100 общественных пространств». На одной из центральных площадей Берлина засыпается транспортный туннель в пользу пешеходов. Социально ответственное градостроительство становится общемировым трендом. И если европейские и американские города накопили богатый совместный опыт, то российские города продолжают искать в этом направлении свой путь. В нашем градостроительстве системный целевой поход к созданию комфортных пешеходных прогулочных пространств (ППП) можно проследить в городах федерального значения. В городах меньшего размера создание пешеходных зон находит отражение лишь в градостроительных проектах, которые рассматривают и пытаются решить проблемы развития локальных городских территорий: г. Уфа (проект центральной торгово-пешеходной зоны города –

ул. Социалистическая), г. Самара (ул. Молодогвардейская), г. Казань (ул. Баумана) и пр. Формирование *системы* городских общественных ППП – это не частная инициатива добросовестного застройщика и не «спонтанное удачное явление», а результат целенаправленной градорегулирующей и градостроительной деятельности органов местного самоуправления (администрации города и органов архитектуры).

Градорегулирование в процессе формирования системы городских ППП, как «система принятия решений в области регулирования землепользования и застройки», основано на следующих базовых (общих) документах градорегулирования:

1) документ территориального планирования развития – генеральный план города;

2) местный нормативный правовой акт, регламентирующий права использования и строительного изменения объектов недвижимости – Правила землепользования и застройки;

3) градостроительные документы применительно к частям городской территории – проекты планировки, проекты межевания территории на земельные участки, проекты застройки;

4) проектная документация на строительство отдельных объектов [2].

В генеральном плане закладывается Концепция градостроительного развития ППП. После чего разрабатываются Планы градостроительного развития ППП. Например, Концепция центральной столичной зоны г. Чебоксары опирается на принятый генеральный план и на обозначенные в результате STEP- и SWOT-анализа приоритеты и направлена на создание в центре города функционально-пространственной среды, адекватной поставленным задачам градостроительного развития (рис. 1).

Градорегулирующая деятельность по созданию и реализации проектов ППП может реализовываться муниципальными программами. Свидетельством этого является опыт лучшей практики муниципального управления по созданию городских общественных пространств. Исходя из этого, целесообразным является разработка комплексной программы «Формирование системы ППП на базе муниципально-частного партнерства». После разработки и принятия программы все последующие проекты планировки, проекты межевания территории, проекты застройки, проектная документация на строительство отдельных объектов в центральной части города должны учитывать положения Программы. Программа формирования в центре города системы ППП как инструмент градорегулирования должна обеспечивать баланс интересов, гарантировать права и возможности проявления инициативы частными лицами. *Муниципально-частное партнерство* – подразумевает совместную деятельность органов власти (самоуправления), бизнес-сообщества и общественности. *В частном бизнесе* можно выделить предприятия, ориентированные на обслуживание людского потока: предприятия торговли, общественного питания, услуг, гостиницы и туристические фирмы, риэлтерские, девелоперские, строительные и проектные компании, театры, музеи и другие культурные заведения, ассоциации бизнеса. К группе *«общественность»* относятся общественные организации, которые обеспечивают контроль над соблюдением общественных интересов и местное городское сообщество.

Программа представляет собой цикличную последовательность градорегулирующей и экономико-управленческой деятельности. Это алгоритм действий муниципальных органов власти, где на разных стадиях участвуют частный бизнес и городское сообщество.

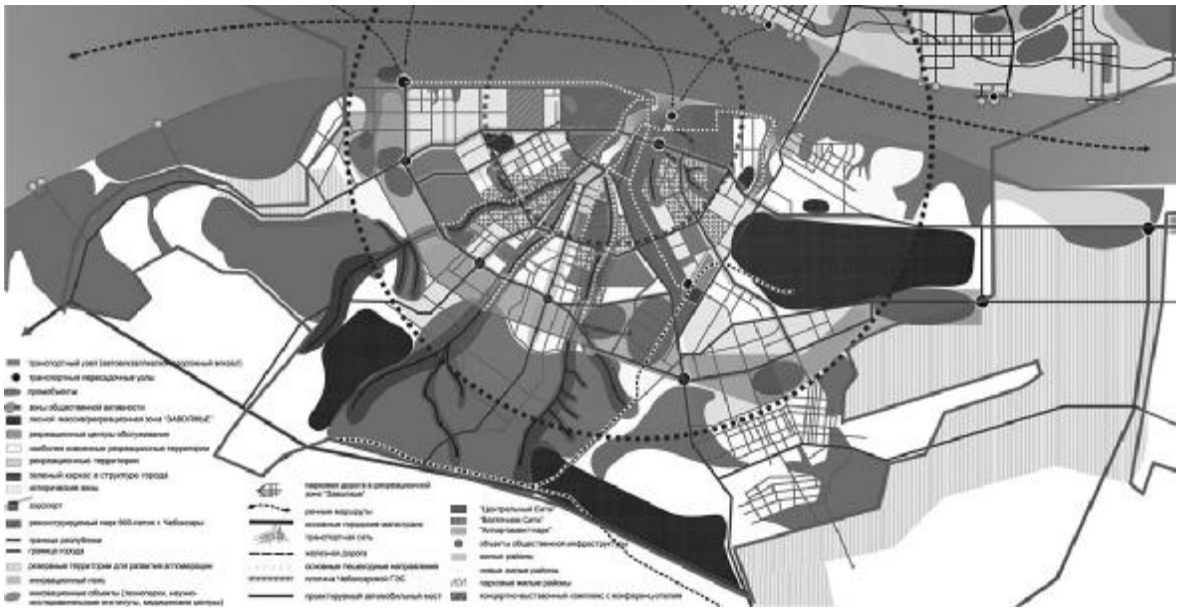


Рис. 1

Стадии разработки Программы

I стадия. Участники: муниципальные органы власти (администрация города и органы архитектуры). *Градорегулирующая деятельность* на данном этапе включает: определение целей и задач, субъектов формирования системы ППП (участников программы), анализ социально-экономического положения и стратегии развития муниципального образования, принятых градостроительных документов (Генеральный план и Правила землепользования и застройки).

Так, например, в 2008 г. в Казани проводился Международный проектный семинар «Градостроительная реорганизация и развитие приволжских территорий г. Казани», заказчиком которого являлось ООО «Институт развития города». В проектном семинаре участвовало 8 проектных групп, модераторы и эксперты. В ходе первого этапа (всего 3 этапа) были определены цели и задачи семинара и каждого этапа работы. По результатам ознакомления участников семинара с исходной проектной документацией (Правила застройки и землепользования г. Казани, Генеральный план г. Казани, Стратегия социально-экономического развития г. Казани), с территорией проектирования на месте, а также в ходе коллективных обсуждений, в том числе с участием специалистов-экспертов (по экологии, экономике, градостроительству), инвесторов, городской общественности (представители ЖКХ, дорожного строительства и др.) и жителей района был выработан алгоритм развития территории.

II стадия. Участники: муниципальные органы власти, частный бизнес, городское сообщество. *Экономико-управленческая деятельность* на данной стадии включает разработку инвестиционной и социальной стратегий формирования системы ППП.

Система взаимоотношений по линии «органы самоуправления – общественность» заключается в разработке социальной стратегии реализации проектов ППП. *Социальная стратегия* определяет потребительскую структуру ППП, механизмы взаимодействия муниципалитета и городского сообщества (механизмы общественного участия) в процессе формирования системы ППП. Потребительская структура пешеходной прогулочной зоны включает в себя вопросы определения основного контингента посетителей данного объекта, социальных приоритетов общества, направлений социокультурного развития, выявления устойчивых поведенческих моделей, закрепленных в материально-пространственной структуре городской среды. «Потребителями» среды ППП выступают: 1) постоянные жители; 2) временные посетители (потребители услуг); 3) бизнесмены, трудовые маятниковые миграции [3, 4]. Например, при разработке Концепции развития центральной части г. Чебоксары (2008 г.) учитывались все возможные «потребители» среды центра города. Было определено, что для развития муниципального и познавательного туризма необходимо создание в центральной части города разнообразной и комфортной среды, ориентированной на развлекательно-познавательные цели, как самих горожан, так и туристических потоков. С этими целями предлагается создать вокруг залива бульварное кольцо, как основную прогулочную зону в ядре центра города, составив его из различных по ландшафтно-архитектурному облику и функциональному назначению участков (рис. 2).

Рис. 2

Среди механизмов обеспечения общественного участия можно выделить следующие: информационные публикации в СМИ (включая электронные и интернет-издания); пресс-конференции, интервью; горячие линии; круглые столы; деятельность формализованных институтов общественного участия (тематических групп, общественного совета, агентства социально-экономического развития); общественные экспертизы; опросы экспертов и населения; прямая рассылка писем; организация общественных слушаний.

Вопросы взаимовыгодного партнерства власти и бизнеса в области градостроительной деятельности по созданию системы ППП решаются на стадии совместной разработки экономической (инвестиционной) стратегии формирования системы ППП. *Инвестиционная стратегия* заключается в организации инвестиционных процессов по созданию ППП, т.е. включает вопросы привлечения потенциальных инвесторов, определение источников финансирования для создания ППП и механизмов сотрудничества с частным бизнесом. Например, в 1998 г. в Санкт-Петербурге разработана инвестиционная стратегия реконструкции центра администрацией города и основными заинтересованными

организациями, для того чтобы повысить эффективность деятельности по сохранению и развитию исторического центра города.

Источниками ресурсов для формирования пешеходных прогулочных пространств в центре города выступают: 1) недвижимость (жилой и нежилой фонд); 2) инвестиции (собственные средства предприятий и организаций); 3) бюджетные ресурсы.

Взаимодействие частного бизнеса и местных органов власти в процессе формирования ППП может осуществляться в форме социальной и благотворительной деятельности (социальная ответственность бизнеса), в форме концессии и прямого возмещения.

III стадия. Участники: муниципальные органы власти (администрация города и органы архитектуры). *Градорегулирующая деятельность* на этой стадии включает определение контрольно-правовых механизмов реализации проектов ППП.

- Резервирование территорий под ППП в центральных частях города и выделение квоты на муниципальные общественные пространства во всех районах города на базе Генерального плана и Правил землепользования и застройки. После чего муниципальные органы власти определяют ключевые (наиболее значимые) городские территории, где необходимо создать общественные ППП – «вешки», которые послужат катализатором последующего развития района. Таким образом, на этой стадии вырабатывается градостроительный (предпроектный) документ, регулирующий архитектурную деятельность в пределах обозначенных территориальных границ – Градостроительная Зона приоритетного развития для формирования ППП. Методика создания подобной планировочной зоны предусматривает разработку архитектурно-планировочной структуры и объемно-пространственной композиции застройки, решение вопросов инженерного оборудования и подготовки территорий и т.д. [1].

Так, в ходе проектного семинара «Градостроительная реорганизация и развитие приволжских территорий г. Казани» проектной группой преподавателей кафедры градостроительства и планировки сельских населенных мест (ПСНМ) КазГАСУ было выдвинуто предложение, в котором в качестве «вешки» развития приволжских территорий предлагается создать многофункциональную пешеходную прогулочную зону «Лагуна» (рис. 3).

Данная пешеходная зона в свою очередь также предполагает «якорное» освоение территории. В качестве «якорных» объектов выступают многофункциональный торгово-развлекательный центр, развлекательный комплекс «Локомотив», спортивный развлекательный парк, гостиничный комплекс с реконструкцией речного вокзала, т.е. предприятия с быстрой окупаемостью вложенных средств. Строительство точечных опорных объектов,

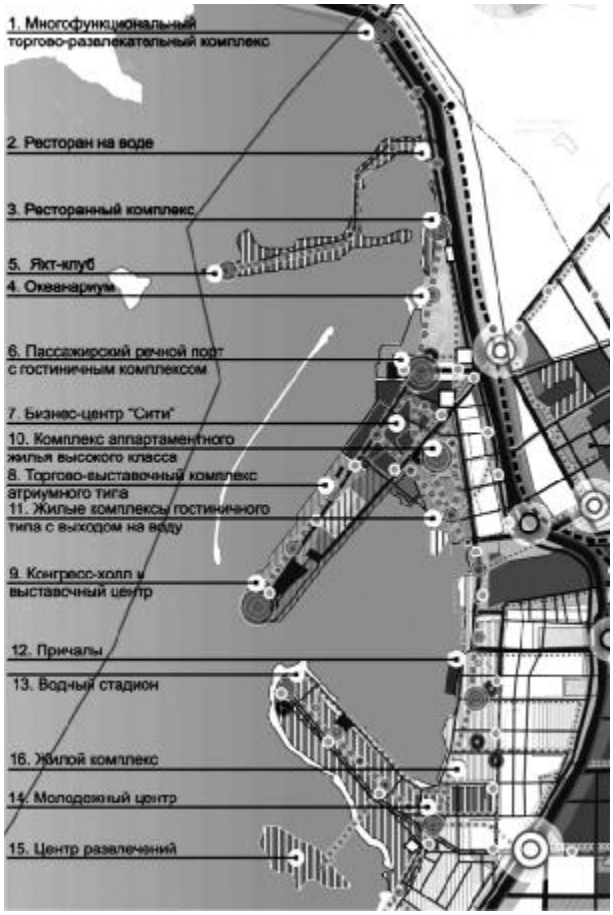


Рис. 3

элементов-доминант позволит уже на первом этапе реализации проекта сформировать архитектурно-планировочный облик территории. Формирование пешеходной зоны остальными объектами, предусмотренными проектом, которые будут достраиваться позднее, уточнит и расширит список предлагаемых услуг.

- Ранжирование территорий по степени их инвестиционной привлекательности осуществляется путем анализа территорий общественных пространств по следующим характеристикам: пешеходная и транспортная доступность; физическое состояние объектов недвижимости и инфраструктуры; возможности и потенциал дальнейшего развития территории; градостроительные ограничения; экологическое качество территории; интенсивность и доходность использования недвижимости; цена земли и ставки аренды [4]. Суммируя выше перечисленные характеристики, в Инвестиционной стратегии реконструкции центральной части Санкт-Петербурга предлагается оценивать инвестиционную привлекательность общественного городского пространства (а в контексте данного исследования и ППП в их составе) с помощью шкалы балльных оценок по ряду объективных факторов.

- Определение местной нормативно-законодательной базы формирования ППП. Градостроительная деятельность по созданию ППП должна закрепляться и поддерживаться в проектных принципах и стандартах, утверждаемых местной администрацией: градостроительные регламенты, «уставы оформления», «локальные градостроительные рекомендации» [1].
- Определение организаций реализации проектов ППП. Участники: муниципальные органы власти (администрация города), общественные организации, частный бизнес.

Организациями для реализации проектов ППП могут выступать: дирекция единого заказчика, фонд развития территории, «корпорация развития территории», «ассоциация», «управляющая компания», «партнерство». В Концепции градостроительной реорганизации и развития приволжских территорий г. Казани, разработанной проектной группой преподавателей кафедры градостроительства и ПСНМ КГАСУ, вся территория была разделена на три зоны: «Лагуна», «Инновационный парк», «Экополис». Далее для реализации проекта в целом на первом этапе (2009-2010 гг.) авторы предлагали создать корпорацию по развитию территории и девелоперский бренд «Лагуна», корпорацию и девелоперский бренд «Казанский Инновационный Мегапарк», которые должны заниматься организацией подготовки нормативно-правовой и проектной документации, реализацией проектов, контролем за ходом реализации строительства, координированием и урегулированием вопросов со всеми заинтересованными сторонами. Для градостроительных преобразований зоны «Экополис» на первом этапе на основе проведения тендера должна быть выбрана управляющая компания.

IV стадия. Участники: муниципальные органы власти (администрация города и органы архитектуры), частный бизнес. *Экономико-управленческая деятельность* на этой стадии включает: повышение инвестиционной привлекательности определенной городской территории, предназначенной для создания ППП, и проведение конкурсных процедур предоставления земельных участков для строительства, с открытой информацией о цене и заявителях.

Повышение инвестиционной привлекательности территории ППП в центральной части города предполагает реализацию следующих градостроительных решений, осуществляемых муниципальными органами власти, а также частным бизнесом в форме спонсорской поддержки:

1. Расширение общественных функций на территории пешеходной прогулочной зоны в центре города.

2. Повышение проницаемости городской среды на территории пешеходной прогулочной зоны в центре города, разукрупнение больших кварталов центра.

3. Развитие внутриквартальных ППП в центре города.

4. Использование различных форм мобильного, временного и сезонного благоустройства на территории пешеходной прогулочной зоны в центре города.

5. Активное использование естественных акваторий (при наличии), искусственных водоемов и каналов на территории пешеходной прогулочной зоны в центре города.

6. Сохранение, восстановление и развитие ценных городских ландшафтов на территории пешеходной прогулочной зоны в центре города.

7. Формирование активного образа территории пешеходной прогулочной зоны в центре города.

Например, согласно Концепции развития центральной части г. Чебоксары главным элементом ядра центра города должно стать бульварное кольцо, прокладываемое вдоль берега залива (см. п. 5, 6). Бульварное кольцо состоит из нескольких, различных по архитектурно-пространственному решению участков – по западному косогору идет ландшафтный бульвар (как центральная аллея террасного парка), с восточной стороны залива образуется «Чудесная дуга» – зона бульвара, начинающаяся от площади-сквера на пр. Ленина и по рельефу огибающая сложившуюся застройку Президентского бульвара (см. п. 7). «Чудесная дуга» – участок бульвара с исключительным качеством благоустройства, насыщенного высококлассными кафе, ресторанами, дорогими бутиками, скульптурами и камерными зонами отдыха (см. п. 1). Особенно торговыми объектами предлагается насытить участок «Чудесной дуги» от новой площади на Президентском бульваре до предлагаемого у кромки воды залива ресторанно-развлекательного комплекса (участок бульвара – «Променад вдоль витрин»). Фрагменту «Чудесной дуги» от площади на пр. Ленина до новой площади на Президентском бульваре предлагается придать образ интерактивной городской среды – постоянно изменяемой, за счет активного применения электронной рекламы (см. п. 4, рис. 4).

8. Повышение эффективности работы существующей транспортной и инженерной системы на территории пешеходной прогулочной зоны. Например, в лондонский Docklands государство вложило 2 млрд. фунтов стерлингов для выкупа у собственников земли, проведения рекультивации отравленной промышленными отходами почвы, создания современной транспортной и инженерной инфраструктуры, в том числе транспортной. Только после этого в проект удалось привлечь 6 млрд. фунтов стерлингов частных инвестиций.

В качестве организационно-экономических инструментов, которые могут повысить инвестиционную привлекательность ППП, можно выделить следующие: субсидирование,

Рис. 4

стимулирование и локализация особых правовых условий [1].

V стадия. Участники: муниципальные органы власти, городское сообщество, частный бизнес. *Градорегулирующая деятельность* на этом этапе начинается с разработки проектной документации по формированию ППП на локальных городских территориях. Разработка проектной документации по формированию ППП на локальных городских территориях (проект планировки, проект застройки) ведется в соответствии с Градостроительным кодексом и опирается на технические задания, разработанные в составе Программы. Контроль за соответствием проектов «программным» требованиям осуществляется в виде согласования проекта документа с органами публичной власти (возможно с местными исполнительными советами, общественными комитетами), в виде публичных слушаний (ГрК РФ ст. 46).

После чего проводится ряд *экономико-управленческих действий* по реализации проектов. Если организация городских общественных пространств для пешеходного прогулочного движения входит в состав более общего архитектурного проекта, то юридический процесс проектирования включает обычные этапы и условия: разрешение на застройку и отвод участка. Если организация ППП планируется в границах выделенных в Программе Градостроительных Зон приоритетного развития для формирования ППП, то в этом случае большинство предпроектных согласований уже не требуется. Реализация проектов ППП ведется за счет средств муниципалитета и частного бизнеса. К проведению ряда работ (имеющих важное общественное значение) может быть привлечено местное население.

Заключительным этапом является *градорегулирующая деятельность* по оценке результатов и проведению мониторинга. Существуют механизмы включения общественности в процесс мониторинга и оценки осуществленных проектов – «общественный мониторинг» и «общественная оценка» реализации Программы. Организация общественного мониторинга и оценки требует значительных затрат и активности местного сообщества [2].

Литература

1. Крашенинников А.В. Градостроительное развитие жилой застройки: исследование опыта западных стран: Учеб. пособие. – М.: Архитектура-С, 2005. – 112 с, ил.
2. Лекции по экономике города и муниципальному управлению. – М.: Фонд «Институт экономики города», 2004. – 340 с.
3. Падерин В.К., Нигматуллина Л.К. Социальные проблемы городского пространства // Материалы международной научно-методической и практической конференции по архитектуре и дизайну. – Казань: КГАСА, 1999. – С. 174-180.
4. Реконструкция центра Санкт-Петербурга. Инвестиционная стратегия / Под общ. ред. Б.С. Жихаревич, А.С. Кривов, Л.Э. Лимонов. Международный центр социально-экономических исследований «Леонтьевский центр», 1999.
5. Трутнев Э.К. Комментарий к Градостроительному кодексу Российской Федерации: ответы на проблемные вопросы градостроительной деятельности / Э.К. Трутнев, Л.Е. Бандорин; Фонд «Институт экономики города». – М.: Изд-во «Экзамен», 2008. – 525 с.

УДК 711.378

Е.А. Залетова – старший преподаватель
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

К ВОПРОСУ ФОРМИРОВАНИЯ ОСНОВ ПЛАНИРОВОЧНОЙ КУЛЬТУРЫ У СТУДЕНТОВ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

АННОТАЦИЯ

В работе поднимаются проблемы формирования школы городского планирования. Рассматривается необходимость практического овладения приемами и методами структурно-планировочной организации европейского города – своего рода «Ордерной системы» для градостроителя. Особое внимание уделено основным постулатам набирающего силу движения нового урбанизма и возможностям их применения в образовательной практике. Предлагаются некоторые варианты практических занятий, нацеливающих внимание студентов на структурные единицы городской планировки, на морфологию городских кварталов; на приемы структурно-графического анализа транспортно-планировочной системы исторически сложившегося города; на разукрупнение городской ткани. С тем, чтобы в конечном итоге попытаться избавиться в образовании от некоего типологически-нормативного подхода.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Планировочная культура, городской квартал, Новый урбанизм, система упражнений, городское планирование.

E.A. Zalyotova – senior lecturer
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

SOME ASPECTS OF FORMING OF THE URBAN DESIGN CULTURE AMONG STUDENTS OF THE TOWN-PLANNING SPEICLIZATION

ABSTRACT

In this work the problem of forming of the urban planning school is raised. The necessity of mastering in methods and techniques of the structural-planning organization of European city - some kind of «Order system» for urban planner - is considered. Special attention is paid to the main postulates of the enhancing movement of New Urbanism and to the possibilities of including them into the learning practice. Some types of practical studies focusing the students' attention to the structural units of urban design, to the morphology of city blocks, to the methods of structure-graphical analysis of the transportation system of the historically formed city, to the breaking up of city structure into smaller units are offered. Thus, the aim is to avoid from some kind of typology-normative approach in educational practice.

KEYWORDS: The urban design culture, city block, the New Urbanism, the system of studies, the urban planning.

«Традиционная архитектура и урбанизм это не идеология, религия или абстрактная система. Они не могут спасти потерянные души или вдохнуть смысл в опустошенную жизнь. Это скорее часть технологии, чем стиль; это знания и know-how, позволяющие нам строить практически, эстетически, социально и экономически удовлетворяющие нас города и структуры в различных климатических, культурных и экономических условиях. Такие структуры не обеспечат счастья, но они, безусловно, способствуют стремлениям к счастью огромного количества людей».

Леон Крие

Сегодня необыкновенно остро стоит проблема формирования школы городского планирования и необходимости привития планировочной культуры, основанной на лучших мировых образцах. В России сейчас наблюдается возрождение урбанистики, начинают осознавать, что по сложности городское планирование намного превышает архитектурное проектирование, а это, в свою очередь, требует наличия профессионалов-планировщиков, вобравших в себя концентрированное знание, накопленное многими поколениями урбанистов, и способных на критическое переосмысление и понимание.

Едва ли кто-то несет ответственность за плохое градостроительное решение. Однако, подобные решения упрямо живут своей собственной жизнью – целые поколения вынуждены жить с последствиями планировочных ошибок. Политики и девелоперы нередко серьезно ошибаются, принимая к реализации градостроительные планы, графические и пространственные средства которых могут легко соблазнить и обмануть. Зачастую виной тому изобразительные приемы, использованные для передачи идей среды будущего – умело, поданные планировки могут вселить ложные надежды, что сделает неизбежным горькое прозрение. Потому что так много неизвестного присуще градостроительному планированию, что те, кто принимают решения, до некоторой степени – на милости планировщиков. Urban design – это сфера деятельности, требующая огромной моральной ответственности. Тщеславие творца не должно брать верх над общечеловеческими ценностями. Весьма красноречива цитата Heinrich Zille: «Архитектура может убивать людей» [1].

К сожалению, в XX веке идеи модернизма взяли верх, и это отразилось не только в свободной планировке так называемых микрорайонов, но и повлияло на методы обучения в высших архитектурных школах. Классические архитектурные дисциплины не изучают, потому что их не преподают. Студентов больше не учат грамматике классических Ордеров, не воспитывают вкуса к архитектурной детали… и всему тому, что можно почерпнуть, изучая Serlio или Palladio. Поэтому весьма редки удачные примеры постмодернистских построек. «Редки потому, что несложно имитировать форму, но трудно или вообще невозможно имитировать свободу работы с формой, которой обучиться в Советское время было невозможно» [2]. Нельзя допустить подобных пробелов при подготовке программ для вновь создаваемой градостроительной специальности. Так как классическая структурно-планировочная организация Европейского города – своего рода «ордерная система» для градостроителя, без тщательного изучения её и овладения приемами и методами городского планирования невозможно сформироваться грамотному творческому специалисту, а именно от его профессионализма зависит «комфортность бытия и комфортность видимого образа города».

Самым древним и ключевым элементом планировочной структуры города является квартал, определяющий оба понятия: и городские пространства, и здания. И именно этот элемент определяет городской масштаб, функциональное использование, архитектурный порядок и язык (общественный и частный – индивидуальный и коллективный). Размер квартала определяет качество и плотность уличной структуры, что и сказывается в дальнейшем на всех показателях городской жизни. В качестве «букваря», для изучения всех тонкостей структуризации города, будет незаменима работа Ильдефонсо Серда для Барселоны – «наиболее эффективный генплан крупного города во всей Европе XIX века» [2]. Именно Серда создал термин «урбанизм» и «урбанизация» в своей «Теории Урбанизма» (1867 г.). Серда был первым, кто попытался сформулировать научную теорию города, хотя и достаточно субъективно. По его мнению, новая наука урбанизм будет изучать взаимоотношение застоя и движения в городе, как древнем, так и современном. Он считал, что новые технологии – пар, телеграф и электричество – создали новую цивилизацию, обусловив огромный скачок в масштабе и скорости для европейского города 19 века. Серда изучал эволюцию городов как основу для новой науки, которую он систематизировал, основываясь на транспортной и коммуникационной системах (эта характерная черта позднее нашла отражение в Линчевских «быстрых» и «медленных» частях города). Эта система классификации фокусировала внимание на взаимоотношениях между зданием и улицей, которое для Серда олицетворяло игру между инерцией и постоянным движением. Он в деталях описал процесс модернизации и индустриализации, придавая особое значение скорости сообщения и транспорту. Эти новые потоки энергии видоизменяли традиционный Европейский город, сетку улиц и площадей, создавая новый масштаб городского пространства и новую геометрию движения вдоль современных бульваров и железной дороги. Серда утверждал, что сетка – это лучшая структурная форма современного города, контрастирующая своей рациональностью со случайным кольцом и радиальными связями узких улочек, сформировавшихся ранее. Сетка была лучшим воплощением нового научного порядка; например, прямоугольная сетка плана Виллияма Пенна сделала Филадельфию наиболее красивым городом Америки. Как и его Парижский современник Haussmann, Серда предложил рассечь улицами старые кварталы для раскрытия их и способствуя улучшению циркуляции по городу. Его план окружал старую Барселону новыми, здоровыми соседствами, в которых половина каждого квартала была отдана под сады, видимые со стороны улицы [3].

Барселона по сей день вполне эффективно функционирует на сетке улиц, заложенных Серда. Сегодня идет восстановление исходной структуры кварталов – необычные кварталы со срезанными углами и садами внутри были в дальнейшем варварски застроены. Работа Серда с одинаковым основанием может быть отнесена и к практике, и к теории урбанизма. Ему удалось обеспечить и сохранение исторического ядра столицы Каталонии, и удобную связь города с его окружением, и эффективное объединение железнодорожных и трамвайных маршрутов [2].

Весьма характерно, что показатель общей площади, отведенной под дороги, у Серда выше 30 % – подобным

показателем современные города похвастаться не могут, единичные примеры лишь приближаются, Москва не дотягивает и до половины. А между тем Барселона остается более зеленым городом, чем многие другие того же масштаба. Планировка района Эшампле, предложенная Серда для Барселоны, может служить источником вдохновения для многих поколений градостроителей, так как, по мнению Серда, именно «регулярная структура и вызывает наибольшее разнообразие».

Многие постулаты Серда нашли сегодня отражение в набирающем силу движении New Urbanism. Ограниченные рамки статьи не позволяют остановиться подробно на основных принципах, но важно то, что сторонники этого движения стремятся воспроизвести лучшие качества старинных городов – это плотная сетка кварталов, высокое качество и индивидуальность пешеходной среды, многофункциональность, экологическая устойчивость, социальное разнообразие среды, но при этом стоит задача не дать расползаться пригородам (так называемым suburbs), возродить внимание к малому городу и к «городу в городе».

Новые Урбанисты призывают нанизывать новые кварталы не на автомагистрали, но на маршруты общественного транспорта, прежде всего рельсового – трамваев и скоростных трамваев, к середине прошлого века изгнанных в угоду автомобилизации [2]. Причем многие страны Европы и Америки уже с середины 80-х годов XX века формируют систему скоростного рельсового транспорта, осознав, что повсеместная прокладка новых магистралей и фривэйев – это тупиковый путь развития.

Принципы Нового Урбанизма применимы для проектов разного масштаба – от единичного здания до их сообществ, кроме того братьями Крие (Леон Крие – один из основоположников европейской ветви NU) уже апробировано строительство малых и среднего размера городов, но уже существуют проекты и более крупных поселений. Леон Крие отмечает: «New Urbanism это не утопия, не навязывание социальных генпланов. Вместо этого, он предлагает бесконечное разнообразие возможностей для создания гармоничной и привлекательной окружающей среды». Весьма показательно, что в Англии идеи Крие нашли наивысшую поддержку – в лице принца Чарльза, и это дало возможность воплотить их в готовый проект – городок Poundbury. Остается надеяться, что в скором времени и у нас подобные идеи найдут понимание и отклик со стороны людей, принимающих решения, но вкус и понимание подобных вещей нужно прививать уже со студенческой скамьи.

В этом отношении было бы крайне целесообразно в границах учебных программ студентов-градостроителей разработать систему лекционных и практических занятий, формирующих у студентов не только навыки городского планирования, но и чувство масштаба, плотности и связности планировочной структуры. Занятия могли бы быть выстроены блоками, сообразно уровням городского планирования:

- территориальное планирование, стратегические модели развития;
- разработка и совершенствование городской инфраструктуры;
- формирование городской среды.

Начиная с младших курсов, необходима система упражнений, нацеливающая внимание студентов на структурные единицы городской планировки, при этом особое внимание, уделяя морфологии городских кварталов и тем метаморфозам, которые они претерпели – от основы городской композиции до своего полного растворения в индустриальном городе. Очень важно, чтобы студенты смогли понять диалектику квартала и городского пространства, для этого совершенно незаменимы диаграммы Л. Крие, с помощью которых можно проанализировать как квартал, который, являясь типологически постоянным элементом, мог создавать городские пространства, но мог также и, оставаясь неопределенным, сам стать результатом прорисовки улиц и площадей. Подобная система упражнений позволит привить студентам некую планировочную культуру, основанную на традиции Европейского квартала, они смогут понять, что кварталы должны иметь четко определенные размеры, объем, ориентацию, типологию, порядок и сложность, с тем, чтобы называться городскими.

Но прежде чем некая структурная единица – квартал – приобретет свои специфические градостроительные характеристики, его необходимо определить в более общем, территориальном смысле, поэтому помимо графического анализа типологии городских пространств, чрезвычайно важно проследить преемственность планировочной структуры. С этих позиций очень интересен прием структурно-графического анализа транспортно-планировочной системы исторически сложившегося города. Историко-типологическое зонирование плана позволяет исследовать его композиционную структуру дифференцированно. В этом отношении «формализация» служит основой выявления главной композиционной темы плана. Подобная формализация каркаса дает возможность подвергнуть анализу не только композиционные характеристики структуры, но и увидеть резервы ее дальнейшего развития и перейти к пониманию структурной иерархии транспортного каркаса, а также плотности и связности всей системы. В дальнейшем обучении все вышеизложенное позволит студентам осознать суть комплексного транспортно-градостроительного планирования и необходимость решения транспортных проблем системно, на всех уровнях градостроительного планирования – от выработки стратегии до поэтапной реализации.

В качестве прикладной задачи были бы весьма актуальны и полезны задания по разукрупнению городской ткани, с созданием мелкоячеистой сети

новых проездов, что позволит студентам проследить возможности изменения характеристик структуры по непрямолинейности, плотности и связности.

Далее в процессе обучения, подводя студентов-градостроителей к основам территориального планирования и выработки стратегических моделей развития, может быть, было бы целесообразно от проектов абстрактных поселков перейти к неким самодостаточным урбанизированным образованиям, формирующим агломерации и районы развития. Постепенно усложняя задачи, можно отрабатывать различные модели рассредоточенного развития (системы городов-спутников, концепции полуавтономных городских районов, стратегии развития города вдоль направленных осей урбанизации) и современные инструменты пространственного управления. С тем, чтобы в конечном итоге попытаться избавиться в образовании от некоего типологически-нормативного подхода.

Литература

1. Rob Krier. Town Spaces. – Berlin: Birkhauser, 2006. – 288 p.
2. Глазычев В.Л. Урбанистика. – М.: Изд-во Европа, 2008. – 219 с.
3. David Grahame Shane. Recombinant Urbanism: conceptual modeling in architecture, urban design and city theory. – Chichester, GB: Wiley-Academy, 2005. – 344 p.

УДК 712.25

А.В. Крашенинников – доктор архитектуры, профессор
Московский архитектурный институт (Государственная академия) – МАРХИ

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ ГРАДОСТРОИТЕЛЕЙ

АННОТАЦИЯ

Новая редакция Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки Градостроительство (ФГОС ВПО третьего поколения) пока находится в стадии разработки. Работа над этим документом поставила вопрос о систематизации компетенций, которыми должен обладать выпускник вуза.

Рассмотрены различные подходы к определению объектов и видов градостроительной деятельности, формализации базовых компетенций, необходимых для участия в практической деятельности и подготовки градостроителей в высшей школе.

Предлагаемая статья является авторской редакцией статьи «Образовательный стандарт и компетенции градостроителей», опубликованной в журнале «Архитектура и строительство России» в феврале 2009 года.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Виды градостроительной деятельности, образовательный стандарт и компетенции градостроителей.

A.V. Krasheninnikov – doctor of architecture, professor
Moscow Architectural Institute (State Academy)

PROFESSIONAL COMPETENCES OF TOWN-PLANNERS

ABSTRACT

The new edition of the federal state educational standard of high professional education in Urban planning (the third generation of educational standards) is still at the stage of development. The work on this document has raised the question about systematization of the competences, which should be possessed by the graduates of high education.

The various approaches on determination of objects and types of town-planning activity, on formalization of basic competences and curriculum in urban planning are considered.

This article is the author's edition of the article «The educational standard and the competences of town-planners», published in journal «Architecture and construction of Russia» in February, 2009.

KEYWORDS: Types of town-planning activity, the educational standard and competences of town-planners.

Градостроительство сформировалось как специальный раздел архитектурного проектирования, связанный с планировкой городов и их элементов. Однако, помимо проектной составляющей, практика градостроительства 20 века была связана с *управлением, финансированием и организацией* градостроительной деятельности. «Сформировавшись как специальный раздел архитектурного проектирования, связанный с планировкой городов и их элементов, сегодня градостроительство охватывает широкий круг объектов» – (Яргина З.Н. и др. Основы теории градостроительства. – М., 1986. – С. 6).

Согласно теории советского градостроительства, основным назначением профессии было «**проектирование планировки населенных мест** и пространственной организации обширных территориальных систем», а теория градостроительства была направлена на обоснование проектных решений.

Исследования градостроительных систем со временем стали неотъемлемой частью градостроительной деятельности. Градостроительные исследования – это дополнительные затраты, оправданные только при стратегическом подходе и долговременных целях. Отсутствие стратегических целей или нежелание следовать им делают излишней и **теорию градостроительства**. К сожалению, в условиях слабо выраженного общественного интереса рентабельность отдельных проектов становится главным критерием эффективности. Не отрицая необходимость современного управления, основанного на информационных технологиях, следует отметить, что **градостроительный менеджмент** – это только одна из сфер деятельности градостроителей. Очень медленно происходит осознание потребности в собственной, локальной **градостроительной политике** муниципальных образований.

Объекты градостроительной деятельности

Градостроительными объектами являются территориальные образования (например, города, поселения, округа и др.), а объектом градостроительной деятельности становятся системы проектной документации, отношения физических и юридических лиц; явления, закономерности, процессы, которые ведут к изменению форм территориально-планировочной организации жизни людей.

Объекты градостроительной деятельности принадлежат к четырем группам:

- Градостроительная политика;
- Градостроительная теория;
- Градостроительные проекты;
- Градостроительное управление.

Сфера профессиональной деятельности градостроителей охватывает **политику, проектирование, исследования, организацию и управление**.

Рис. 1. Объекты градостроительной деятельности

Градостроительная политика – включает стратегические цели и приоритеты развития территории, нормативно-правовую базу и порядок управления градостроительными системами. Градостроительная политика определяет: программы и задания для исследования и проектирования; критерии и принципы оценки градостроительной деятельности; требования к профессионализму участников и к качеству градостроительной продукции.

Градостроительное проектирование – включает решения по пространственно-планировочной организации урбанизированных территорий. Градостроительные проекты являются результатом креативной созидательной деятельности, синтезирующей пространственные решения для конкретной территории. Градостроительные проекты представляют собой: территориальные планы (карты), документы градостроительного зонирования и планировки территории, генеральные планы участков застройки, решения в области архитектуры, транспорта, инженерной инфраструктуры, озеленения и ландшафта, городского дизайна и благоустройства. Градостроительная документация лежит в основе инвестиционной, архитектурной, строительной, административной, управленческой деятельности в отношении объектов недвижимости.

Градостроительные исследования – включают фундаментальные закономерности развития территорий (на основе экономико-географических, социально-географических, физико-географических, социологических, экологических, геологических, правоведческих и др. знаний), оформляемые в виде градостроительных теорий, методы и средства прогнозирования и программирования развития территории, прикладные исследования для формирования рекомендаций, планов и программ градостроительной политики, обоснований, прогнозов и оценки последствий градостроительной деятельности.

Градостроительное управление – включает организационные, регулирующие, информационные отношения между государством, муниципальными структурами, местным сообществом, застройщиками и другими участниками градостроительной деятельности (в форме административной работы в федеральных, субфедеральных, муниципальных органах территориального планирования; в виде создания и ведения (поддержания) информационных систем градостроительной документации; в виде планирования и контроля процессов, влияющих на реализацию проектных решений и градостроительной политики).

Виды градостроительной деятельности

Градостроительная деятельность в широком понимании включает в себя: научные исследования; изыскания; планирование и проектирование; управленческую деятельность органов государственной власти и местного самоуправления, регулирование архитектурно-строительной и инженерно-строительной деятельности; организационную, инвестиционную и кредитно-финансовую деятельность; деятельность по формированию и функционированию систем информационного обеспечения всех перечисленных выше видов деятельности.

Перечисленные виды деятельности достаточно независимы, однако вклад каждого из них в подготовку, принятие и реализацию градостроительных решений настолько важен, что эффективная градостроительная деятельность без их участия практически неосуществима (НП Гильдия градостроителей // http://ggrad.ru/, 2008 г.).

«Градостроительная деятельность – комплекс взаимоувязанных научных и практических действий в области планирования, программирования и проектирования развития планировки и застройки городов, учитывающих совокупность социально-экономических, строительно-технологических, архитектурно-художественных, а также санитарно-технических задач и методов их решения в данной области»

(Смоляр И.М. Терминологический словарь по градостроительству. – РААСН, 2004. – С. 44).

Согласно Градостроительному кодексу РФ градостроительная деятельность – «**деятельность по развитию территорий, в том числе городов и иных поселений, осуществляемая в виде территориального планирования, градостроительного зонирования, планировки территорий, архитектурно-строительного проектирования, строительства, капитального ремонта, реконструкции объектов капитального строительства**».

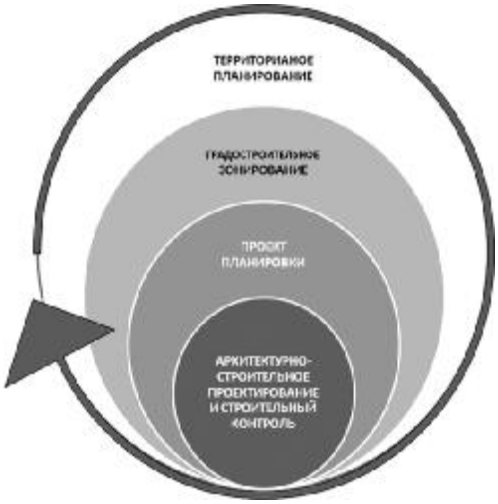


Рис. 2. Виды градостроительной деятельности

В профессиональных кругах принадлежность **строительства, капитального ремонта, реконструкции объектов капитального строительства** к видам градостроительной деятельности неоднократно оспаривалась и, по-видимому, нуждается в другой редакции, например: «**контроль за строительством, реконструкцией и эксплуатацией объектов капитального строительства».**

Территориальное планирование – включает развитие инженерной, транспортной и социальной инфраструктур, учет интересов граждан и их объединений, Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований. Результатом территориального планирования становятся документы территориального планирования (в том числе генеральные планы поселений, городских округов) и планы их реализации.

Градостроительное зонирование – включает определение территориальных зон и установление градостроительных регламентов на основе документов территориального планирования и проектов планировки и застройки, с учетом локальных особенностей территории, качества окружающей среды и сохранением объектов культурного наследия. Результатом градостроительного зонирования становятся Правила землепользования и застройки (ПЗЗ), определяющие *градостроительные регламенты*, создающие условия для: планировки территории, обеспечения прав и законных интересов физических и юридических лиц; привлечения инвестиций и выбора наиболее эффективных видов разрешенного использования земельных участков и объектов капитального строительства.

Планировка территории – включает выделение элементов планировочной структуры (кварталов, микрорайонов, иных элементов), установление границ земельных участков, на которых расположены объекты капитального строительства, границ земельных участков, предназначенных для строительства и размещения линейных объектов. Результатом планировки территории становятся градостроительные решения (проекты) элементов планировочной структуры, установления параметров планируемого развития элементов планировочной структуры.

Архитектурно-строительное проектирование, строительство и реконструкция – включает архитектурные, функционально-технологические, конструктивные и инженерно-технические решения для обеспечения надежности и безопасности объектов капитального строительства. Результатом архитектурно-строительного проектирования становятся изыскания, проектная документация; разрешение на строительство, возможность осуществления контроля в процессе строительства, ввод объекта в эксплуатацию.

Для построения системы компетенций профессионального цикла существенными являются следующие основные виды деятельности градостроителей:

- территориальное планирование (ТП);
- градостроительное зонирование (ГЗ);
- планировка территорий (ПТ);
- архитектурно-строительное проектирование (АСП);
- контроль строительства и эксплуатации (КСЭ).

Конкретные виды профессиональной деятельности, к которым в основном готовится магистр градостроительства, определяются высшим учебным заведением совместно с заинтересованными участниками образовательного процесса. В целом, архитектурно-строительное проектирование и контроль за строительством и эксплуатацией зданий и сооружений объектов городского хозяйства изучаются в рамках других профессий, входят в курс подготовки бакалавров архитектуры, градостроительства, экономистов городского хозяйства.

Модули профессиональных компетенций

Формирование нового поколения образовательных стандартов для градостроителей началось с разработки стандарта не для степени бакалавра, а сразу для магистра, что позволило взглянуть на проблему подготовки градостроителей стратегически: от конечной цели.

Предлагается систематизировать базовую часть профессионального цикла на основе матрицы, образованной типами объектов и видами градостроительной деятельности. Четыре вида профессиональной деятельности в отношении четырех

Таблица

Учебные блоки базовой части профессионального цикла подготовки градостроителей

Объекты профессиональной деятельности	Виды градостроительной деятельности			
	ТП	ГЗ	ПТ	АСП
Градостроительная политика	**1**	**2**	**3**	**4**
Теория градостроительства	**5**	**6**	**7**	**8**
Градостроительные проекты	**9**	**10**	**11**	**12**
Градостроительное управление	**13**	**14**	**15**	**16**

типов объектов дают 16 учебных модулей, для которых были определены базовые профессиональные компетенции градостроителей.

Компетенция – способность применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в определенной области. Содержание базовых профессиональных компетенций не вошло в проект ФГОС по градостроительству и публикуется впервые в качестве авторского предложения.

Профессиональные компетенции включают **три уровня освоения: *«знания», «умения», «навыки»***.

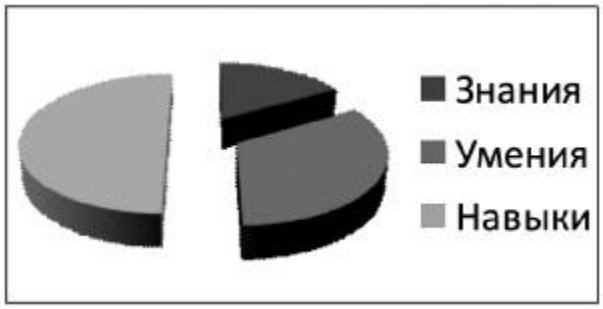


Рис. 3. Объем учебной нагрузки, необходимой для освоения профессиональных компетенций

1. Градостроительная политика в сфере территориального планирования.

Знания: Основы государственного и муниципального управления территорией.

Умения: Методы и технологии стратегического планирования.

Навыки: Обоснование и защита целей и задач территориального планирования.

2. Градостроительная политика в сфере градостроительного зонирования.

Знания: Основы градостроительного зонирования.

Умения: Методы и технологии социальной и коммерческой адаптации ПЗЗ.

Навыки: Проведение публичных слушаний по проекту правил землепользования и застройки и внесение в них изменений.

3. Градостроительная политика в сфере планировки территории.

Знания: Основы планировки, межевания и административного деления территории.

Умения: Методы и технологии разработки задания для локальной градостроительной программы.

Навыки: Обоснование и защита градостроительной программы для проекта планировки территории (включая экономическое обоснование и общественную экспертизу).

4. Градостроительная политика в сфере архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции.

Знания: Градостроительный регламент участка застройки.

Умения: Методы и средства формирования условий (задания) на подготовку архитектурно-строительного проекта.

Навыки: Публичное обсуждение проекта строительства или других изменений недвижимости.

5. Исследования в территориальном планировании.

Знания: Проблемы и задачи комплексного развития территории.

Умения: Методы и технологии градостроительного анализа и прогнозирования.

Навыки: Формирование и оценка альтернативных вариантов территориального развития.

6. Исследования в градостроительном зонировании.

Знания: Проблемы и задачи градостроительного зонирования.

Умения: Методы анализа и оценки градостроительного зонирования территории.

Навыки: Формирование рекомендаций и оценка предложений по градостроительному зонированию территории.

7. Исследования по планировке территории.

Знания: Проблемы и задачи планировки и застройки урбанизированной территории.

Умения: Методы анализа и оценки градостроительного регламента.

Навыки: Формирование рекомендаций и оценка эффективности градостроительного регламента территории.

8. Исследования в области архитектурного строительного проектирования.

Знания: Типология градостроительных объектов.

Умения: Методы анализа и оценки архитектурных решений.

Навыки: Прогноз и оценка последствий реализации архитектурного проекта.

9. Проект территориального планирования.

Знания: Основы территориального планирования (проектирование градостроительных систем).

Умения: Методы и приемы территориального планирования (разработка схем территориального планирования, генерального плана города и муниципального образования).

Навыки: Разработка и защита проекта генерального плана города или муниципального образования.

10. Проект градостроительного зонирования территории.

Знания: Основы градостроительного зонирования.

Умения: Методы и приемы градостроительного зонирования (для города или муниципального образования).

Навыки: Разработка и защита градостроительного регламента (в составе Правил землепользования и застройки).

Градостроительный регламент – устанавливаемые в пределах границ соответствующей территориальной зоны виды разрешенного использования земельных участков, равно как всего, что находится над и под поверхностью земельных участков и используется в процессе их застройки и последующей эксплуатации объектов капитального строительства, предельные (минимальные и (или) максимальные) размеры земельных участков и предельные параметры разрешенного строительства, реконструкции объектов капитального строительства, а также ограничения использования земельных участков и объектов капитального строительства (Градостроительный кодекс РФ).

11. Проект планировки территории.

Знания: Основы градостроительного проектирования.

Умения: Методы и приемы планировки территории (для фрагмента города или группы кварталов).

Навыки: Разработка и защита проекта планировки градостроительного комплекса (участка городской территории единовременного освоения).

12. Проект архитектурно-строительного решения.

Знания: Основы архитектурного проектирования.

Умения: Приемы разработки архитектурного проекта (включая решения по генеральному плану участка и прилегающей территории).

Навыки: Разработка и защита архитектурного проекта, включая генеральный план участка (решения по вертикальной планировке, благоустройству, озеленению, дизайну городской среды).

13. Управление территориальным развитием.

Знания: Информационное и правовое обеспечение градостроительного управления.

Умения: Порядок и процедуры подготовки и реализации схемы территориального планирования (генерального плана города).

Навыки: Разработка плана мероприятий по реализации схемы территориального планирования (генерального плана поселения, городского округа).

14. Подготовка и реализация Правил землепользования и застройки.

Знания: Основы муниципального управления градостроительной деятельностью.

Умения: Порядок и процедуры градорегулирования, строительного контроля, надзора за строительством.

Навыки: Разработка плана мероприятий по подготовке, согласованию и внедрению ПЗЗ.

15. Подготовка и реализация проекта планировки территории.

Знания: Основы управления градостроительным проектом (девелопмент).

Умения: Порядок и процедуры реализации градостроительной программы.

Навыки: Разработка плана мероприятий по подготовке, согласованию и реализации градостроительной программы.

16. Управление подготовкой и реализацией АСП.

Знания: Управление проектом в архитектурной мастерской.

Умения: Порядок координации работ по разработке, согласованию и утверждению архитектурно-строительного проекта (АСП).

Навыки: Разработка плана мероприятий по подготовке, согласованию и строительству архитектурно-строительного проекта.

Образовательный стандарт подготовки магистров

Новый стандарт* отличает ряд новшеств, сближающих образование в России с другими странами в соответствии с положениями Болонской конвенции:

- двухуровневая структура подготовки (бакалавры и магистры);
- оценка трудоёмкости обучения в зачётных единицах (кредитах);
- модульное построение профессионального цикла;
- выделение базовой и вариативной части в учебном плане;
- построение учебного процесса на основе **комплекса компетенций**, которыми должен владеть выпускник.

Переход от системы компетенций к структуре образовательной программы осуществляется в следующей последовательности: комплексные виды деятельности – компетенции – модули профессионального цикла ООП – дисциплины – структурные элементы дисциплин (теоретический и практический; вводный, основной и продвинутый). Такой подход позволит взаимообусловить компетенции и учебные модули образовательных программ.

В ходе обучения магистр градостроительства должен освоить цикл **Общенаучных дисциплин** и **Профессиональный цикл**, поделенные на *модули*.

*Проект Федерального государственного образовательного стандарт высшего профессионального образования (ФГОС ВПО третьего поколения) по направлению Градостроительство, степень магистра.

Учебный модуль – совокупность частей учебной дисциплины (курса) или учебных дисциплин, имеющая определенную логическую завершенность по отношению к установленным целям и результатам воспитания, обучения.

Очевидно, что существуют основные и сопутствующие виды деятельности. Основные виды профессиональной деятельности направлены на развитие территориальных форм расселения, сопутствующие – на обеспечение градостроительной деятельности. К сопутствующим, но обязательным для изучения, относятся: теория и история градостроительства; педагогика; методы прикладных исследований; информационно-правовое обеспечение градостроительной деятельности; профессиональные коммуникации.

1. Базовая часть общенаучного цикла включает следующие модули дисциплин:

- Теория и история градостроительства;
- Общенаучные методы прикладных исследований;
- Информационно-правовое обеспечение градостроительной деятельности;
- Профессиональные коммуникации (язык профессионального общения).

2. Базовая часть профессионального цикла охватывает минимальный набор профессиональных знаний, которыми должен владеть выпускник вуза.

Базовая часть профессионального цикла подготовки градостроителей включает, таким образом, 16 учебных модулей, из которых большая часть должна быть получена на уровне бакалавриата, а остальные – на уровне магистратуры и в системе дополнительного профессионального образования (повышения квалификации).

Учебные модули базовой части составляют не более трети профессионального цикла подготовки магистра. Большая часть учебного времени отводится на специализацию в рамках магистерских программ.** Магистерские программы дают возможность расширения и углубления знаний, умений, навыков и компетенций, определяемых содержанием базовых учебных модулей.

Современная политика в области образования поддерживает использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (семинаров в диалоговом режиме, дискуссий, компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбор конкретных ситуаций, психологических и иных тренингов, групповых дискуссий, вузовских и межвузовских телеконференций) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Одной из основных активных форм обучения профессиональным компетенциям для магистратуры станет семинар (проектный семинар), продолжающийся на регулярной основе не менее семестра, к работе которого привлекаются ведущие исследователи и специалисты-практики, и являющийся основой корректировки индивидуальных учебных планов магистранта. В рамках учебных курсов должны быть предусмотрены встречи с представителями российских и зарубежных компаний, государственных и общественных организаций, мастер-классы экспертов и специалистов.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием конкретных дисциплин, и в целом в учебном процессе они должны составлять не менее 30 % аудиторных занятий *(определяется с учетом специфики ООП)*. Занятия лекционного типа для соответствующих групп студентов не могут составлять более 40 % аудиторных занятий *(Макет ФГОС, 2008)*.

Профили подготовки градостроителей

Предполагается, что вузы будут самостоятельно разрабатывать основные образовательные программы с учетом как собственных традиций и возможностей, так и потребности регионального рынка труда. Это позволит со временем получить градостроительные школы с индивидуальным, неповторимым творческим обликом, избавиться от унифицированности и занять собственные ниши в профессиональном спектре образовательных услуг, а студенту – получить **углубленные знания, навыки и компетенции** для успешной профессиональной деятельности и дальнейшего обучения, проведения исследований.

Магистр градостроительства рассматривается авторами проекта как вторая профессиональная академическая степень. В ходе разработки проекта стандарта обозначилась необходимость «профилизации магистров» по видам профессиональной деятельности, например, по направлениям «Планирование и проектирование», «Научные исследования и педагогика», «Градостроительная политика», «Организация, управление и информатизация».

Специализация вызвана сжатыми сроками обучения и различной базовой подготовкой студентов для решения задач повышенной сложности:

- в области градостроительного планирования и проектирования – специализированные, междисциплинарные и концептуально инновационные проекты;

- в области научных исследований – фундаментальные и прикладные исследования, позволяющие анализировать, прогнозировать, обосновывать и оценивать градостроительные решения;

**«Стандарт» предусматривает широкие возможности для формирования индивидуальных учебных программ в каждом вузе. Суммарная трудоемкость базовых составляющих (которые прописаны как обязательные для всех вузов) должна составлять не более 30 % от общей трудоемкости указанных учебных циклов основной образовательной программы (ООП).

- в области градостроительной политики – стратегическое и оперативное планирование, составляющее основу градостроительных программ, заданий для проектирования и исследований, построения организационно-правовых условий развития территории;

- в области управления и информационного сопровождения градостроительной деятельности – планирование, реализация и контроль мероприятий в сфере недвижимости (в том числе инвестирование, строительство, смены владельца и назначения, эксплуатация объектов капитального строительства и реконструкция).

Обладатели профессиональной академической степени магистра градостроительства должны составить основу педагогического корпуса градостроительных школ в программах бакалавриата.

Состав и наполнение учебных программ магистра градостроительства определяются вузом совместно с саморегулируемыми организациями (гильдиями градостроителей, проектировщиков, строителей и др.).

Продолжить обучение по квалификации магистра градостроительства смогут бакалавры различных профилей, прежде всего получившие квалификацию бакалавра Градостроительства, Архитектуры, Строительства, Дизайна архитектурной среды, Реставрации и реконструкции архитектурного наследия, Ландшафтной архитектуры, Городского строительства и других проектных специальностей.

Учитывая различный характер предварительной подготовки, **было бы целесообразным на первом этапе выделить в квалификации МАГИСТР ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА хотя бы два профиля «Градостроитель проектировщик» и «Градостроитель управленец»**.

При поступлении студента на обучение квалификационная приемная комиссия должна определять возможность получения выбранного профиля в рамках квалификации. При определении индивидуальной траектории обучения магистра следует предусмотреть возможность получить недостающие компетенции из цикла бакалавра градостроительства за счет увеличения срока обучения в магистратуре.

Послевузовское образование и повышение квалификации.

Как отмечалось в решениях «круглого стола» на тему «Формирование законодательной базы системы непрерывного образования взрослых» (18 декабря 2008 года // http://council.gov.ru/inf_ps/announces/2008/12/item8776.html), концепция образования в мире за последние годы претерпела весьма существенные изменения. Если раньше обновление знаний на планете происходило каждые 20-30 лет, и общество в лице одного поколения не так остро чувствовало недостаток современных знаний, то сегодня знания обновляются на 20 % в год, т.е. полностью за каждые 5 лет. Необходимость постоянного совершенствования профессиональных знаний и умений привела к разработке в ведущих странах мира новой образовательной стратегии, получившей название «Live Long Learning (обучение в течение всей жизни)».

Участники градостроительной деятельности

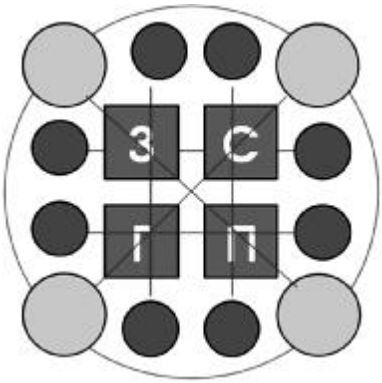


Рис. 4. Учебные программы ЦПК УРБАНИСТИКА МАРХИ рассматривают градостроительную деятельность с позиций застройщика, города, проектировщика и строительных (эксплуатирующих) организаций. Специалисты различного профиля должны учитывать баланс интересов всех участников использования территории // www:ud-marhi.ucoz.ru

В Градостроительном кодексе РФ содержится требование повышать квалификацию специалистов, работающих в сфере градостроительства. Одним из центров дополнительного образования для градостроителей является Московский архитектурный институт. Факультет повышения квалификации градостроителей (ФПК градостроителей) МАРХИ действует уже более 40 лет. С 2007 года преемником ФПК стал Центр повышения квалификации УРБАНИСТИКА (ЦПК УРБАНИСТИКА) МАРХИ. Учебные программы ЦПК Урбанистика предназначены для повышения квалификации специалистов, работающих в сфере градостроительства, муниципального управления, архитектуры (http://www.marhi.ru/kvalif/special).

Литература

1. Градостроительный кодекс РФ. Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ.
2. Бархин Б.Г. Методика архитектурного проектирования. – М.: Стройиздат, 1982.
3. Яргина З.И., Косицкий Я.В., Владимиров В.В. и др. Основы теории градостроительства. – М.: Стройиздат, 1986.
4. Приложение к приказу Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 23.04.2008 г. № 188 «Единый квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих».

УДК 721.25

З.Н. Мухамедзянова – ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЖИЛОЙ СРЕДЫ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СОВРЕМЕННОГО МЕГАПОЛИСА

АННОТАЦИЯ

Центральные части крупных городов, занятые торговой и деловой застройкой, в вечернее время и в выходные дни становятся малолюдны. Но, несмотря на высокий уровень шума, загрязненность и высокую цену земли, значительное количество горожан стремится жить именно в центральных районах города. Уровень организации жилой среды в центральных частях мегаполисов имеет большое значение, так как является частью бренда и облика города, от ее качеств зависит конкурентоспособность города в условиях борьбы за потенциальных жителей. Особенности формирования жилой среды в центральной части современного мегаполиса рассматриваются на примере крупных жилых комплексов: Барбикан (Лондон), Пари Рив-Гош (Париж), Лейк Шор Драйв (Чикаго), жилой комплекс на ул. Шаболовка (Москва).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Включение жилой среды в центральную часть современного крупного города.

Z.N. Mukhamedzyanova – assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

PARTICULARITIES OF THE LIVING ENVIRONMENT FORMATION IN CENTRAL PART OF MODERN MEGAPOLIS

ABSTRACT

The central part of cities, occupied by commercial and business buildings, in the evening and on holidays become empty. But, in spite of the high level of noise, smog and land rent, significant number of city-dwellers wants to live in the central part of a city. The level of organization of the living environment in central part of big cities is important, because it is a part of a brand name of a city. The competitive advantage of a city for potential inhabitants depends on living environment' qualities. Particularities of the living environment formation in central part of a modern megapolis are discussed by using the examples of large housing estates: Barbican (London), Paris Rive Gauche (Paris), Lake Shore Drive (Chicago), housing estate on Shabolovka Street (Moscow).

KEYWORDS: Inclusion of living environment in central part of megapolis.

Застройка центров современных крупных российских городов в последнее время приобретает все большее значение. В настоящее время эти столь привлекательные для освоения территории застроены тремя основными видами зданий. Во-первых, это ветхие здания жилого и общественного назначения, зачастую с неполными удобствами, построенные в конце XIX-первой половине XX века. Если эти здания не имеют исторической ценности, то вполне пригодны к сносу, а если имеют – к реконструкции, возможно с изменением своего функционального назначения. Второй тип зданий – в основном жилого назначения – «сталинки» и «хрущевки», построенные с начала 60-х годов XX века. Дома сталинского периода, хоть по своей архитектуре и функционированию в большинстве и подходят для размещения в центральной части современного города, но амортизационный период таких домов истекает. «Хрущевки» же в принципе не предназначены для строительства на территориях подобного значения и морально устарели. Третий тип домов – современные многоэтажные офисные, торговые и жилые здания, точечно построенные на любых появлявшихся свободных участках.

Вообще, последние пятнадцать лет строительство жилья в городах в основном имело стихийный характер, в том числе и в центрах. Стремление подороже продать коммерческое жилье даже привело к появлению на престижных участках в центре городов множества крупных жилых зданий, по своим архитектурным характеристикам предназначенных для районов массового жилищного строительства. Впрочем, массовое строительство типового жилья в центрах городов случалось и в советское время. Взять хотя бы исторический центр Калининграда, бывшего

«Кенигсберга», почти полностью застроенного микрорайонами «хрущевок». Хотя там эта ситуация была создана умышленно. Подобным образом Советское руководство пыталось стереть память об истории столицы Пруссии, древнем Кенигсберге, и именно с этой целью намеренно уничтожалась историческая застройка.

А еще несколько лет назад в центрах больших российских городов повсеместно существовали и индустриальные зоны. Впрочем, сейчас они также повсеместно вытесняются многоэтажной жилой застройкой. Фактически жилье заполняет все доступные свободные территории, включая зеленые зоны, и тому есть определенные причины.

Современное российское общество претерпевает определенные изменения. В городах меняется социальный состав населения, все нагляднее проявляется сегрегация жилой среды, пригороды застраиваются комфортабельными поселками, микрорайоны советского периода ветшают, а в то же время жилье в центральной части города все еще строится по законам советского градостроительства. Улучшаются жилищные условия жителей многоэтажных домов, то есть растет обеспеченность жилым фондом. Фактически, за последние несколько десятилетий она выросла в 2,5 раза. В семидесятых годах прошлого века на одного жителя приходилось только 9-12 квадратных метров жилой площади. В конце восьмидесятых эта цифра уже составляла 12-14 квадратных метров на человека, сейчас это где-то 20-21 квадратный метр. Среднеевропейский показатель, к которому сейчас стремятся и в России, составляет около 33 квадратных метров на человека. Именно за счет этого и существует постоянная востребованность в строительстве жилья, притом что численность населения уменьшается или сохраняется на прежнем уровне.

К тому же, сегодня пришло время конкуренции городов между собой за привлечение инвестиций, интеллектуального потенциала, квалифицированных рабочих рук. И если такие аспекты подобной конкуренции, как борьба за инвестиции и государственные субсидии, понятны и очевидны, то в условиях современной российской демографической ситуации предметом конкуренции будет являться население, то есть борьба будет идти за увеличение численности трудоспособных жителей городов. Именно поэтому уровень организации жилой среды в центральных частях мегаполисов имеет большое значение, так как она является частью бренда и облика города, и от ее архитектурных качеств зависит конкурентоспособность того или иного города в условиях подобной борьбы за потенциальных горожан. В обозримом будущем – это мигранты. Они подразделяются на профессионально подготовленных специалистов рабочих профессий и на интеллектуальную элиту. От принадлежности зависит и место проживания.

Может возникнуть вопрос, а необходимо ли вообще строить жилье в центральных частях города. Не лучше ли будет строить жилье в спальных районах, а в центре обойтись зданиями торгового и офисного назначения, которые, во-первых, значимы для общественной жизни города и, во-вторых, имеют большую коммерческую рентабельность, необходимую на таких дорогих землях? Однако градостроительная практика показывает, что территории, застроенные только общественными объектами, довольно оживленные в рабочие часы, в вечернее, ночное время и в выходные дни становятся пустынны и малолюдны. К тому же, несмотря на высокий уровень шума, загрязненность и высокую цену земли, значительное количество горожан стремится жить именно в центральных районах города.

Итак, органично включать жилую застройку в центры современных крупных российских городов необходимо. И по своим архитектурным качествам жилая среда центров городов должна отличаться от жилой среды спальных районов. Жилье на столь значимых территориях должно к тому же работать на улучшение бренда города, то есть его привлекательности для потенциальных жителей. Так какими же качествами должна обладать жилая среда, чтобы удовлетворять этим запросам?

Для примера, можно взглянуть на центры европейских городов – мелкого масштаба, уютные, с магазинчиками и кафе на каждом углу – в такой среде действительно хочется остаться жить. Это не значит, что нужно центр Казани застроить малоэтажными фахверковыми домами, это значит, что один из вариантов включения жилья в центр – выработать специальные приемы, позволяющие комфортно «уживаться» в центре и общественно-деловым и жилым функциям, при этом по возможности сохраняя историческую масштабность среды. Другой вариант – не привязанная к контексту ни масштабом, ни своими эстетическими качествами жилая среда, построенная, однако, на определенных социальных предпосылках – концепции жизни людей в центре города и их взаимодействия с различными общественными объектами.

Если рассматривать второй вариант, то можно заметить, что подобное жилье центров крупных западных городов вообще имеет определенную специфику. Это либо комплексы с четко разделенными частными и общественными пространствами, в которых люди, имея все преимущества жизни в центре, получают приватность спальных районов. Либо в противовес этому активное взаимопроникновение жилых и общественных пространств, обитатели которых, как правило, ведут активную общественную жизнь и принадлежат к богеме. В то же время общей чертой подобного жилья является его высокая плотность и компактность, зачастую ведущая к уменьшению до минимума, а то и полного исчезновения дворовых пространств.

Рис. 1. Общественная зона в жилом комплексе Барбикан

Рассмотрим специфические особенности формирования жилой среды в центральной части современного мегаполиса на примере крупных жилых комплексов, расположенных в четырех мировых мегаполисах: Барбикан (Лондон), Лейк Шор Драйв (Чикаго), Пари Рив-Гош (Париж), жилой комплекс на ул. Шаболовка (Москва).

Жилой комплекс Барбикан находится в центре лондонского Сити – финансового центра столицы – и занимает значительную для таких комплексов площадь – 14 га. Такие масштабы нетипичны для комплексов, расположенных в центральной части городов, где свободные участки редко достигают подобных размеров, и явились результатом того, что район, в котором был построен комплекс, сильно пострадал от бомбардировок в 1940 году. Несмотря на то, что гораздо выгоднее было распродать этот свободный участок торговым фирмам и банкам, Корпорация Лондонского Сити решила построить на этом месте современный жилой район. Было предложено несколько вариантов застройки, однако в конечном итоге был выбран жилой комплекс, спроектированный архитекторами Чемберленом, Пауэллом и Боном и воплощающий модную в то время идею мегаструктур.

Являя собой яркое воплощение этой идеи и по сей день, Барбикан представляет из себя единый и сложно функционирующий объект, «район-здание» с множеством уровней и переходов, объединяющий в себе пространства различных функциональных назначений. В комплекс были включены крупные общественные объекты, работающие не только на прилегающие районы, но и на город в целом – центр искусств Барбикан, музыкально-драматическая школа, Лондонская школа для девочек. При этом частные и общественные пространства комплекса четко разделены. Жители имеют недоступные для сторонних посетителей и хорошо благоустроенные дворы, площадки для отдыха, спортивные площадки. Люди, приезжающие, к примеру, в центр искусств, могут пройти по системе продуманных пешеходных маршрутов внутри комплекса, зайти в кафе или посидеть на скамейке у воды, но в то же время, благодаря пространственному строению комплекса, они не будут видеть, что происходит на частной территории.

Одна из особенностей комплекса заключается в том, что, несмотря на то, что столь обширный участок оказался свободным в центре Лондона, на этой территории сохранился довольно крупный исторический объект – церковь святого Гайлза. При проектировании Барбикана этот объект был сохранен, а при строительстве отреставрирован и стал органичной частью комплекса.

Другой пример, на который хотелось бы обратить внимание – высотный комплекс домов на Лейк Шор Драйв в Чикаго, построенных в середине прошлого века по проекту архитектора Людвига Мис Ван дер Роэ. В основу планировки этого комплекса легла идея жизни на колесах, полной автомобилизации. Предполагалось,

Рис. 2. Застройка вдоль Лейк Шор Драйв.
Выделены рассматриваемый жилой комплекс и муниципальный сад

что жилье будет необходимо людям фактически только для вечернего и ночного пребывания, а остальная их жизнь будет проходить в пространстве города, в автомобиле, поэтому дворы были практически сведены к минимуму, под комплексом предусмотрена многоэтажная парковка, а плотность жителей в этих зданиях достигает больших величин.

Если взглянуть на этот район Чикаго сверху, то можно увидеть плотную сетку «зданий-кварталов», разделенных только широкими автодорогами. В качестве альтернативы отсутствующим дворовым пространствам предусмотрен общерайонный сад, в который жители прилегающих жилых небоскребов могут пойти, к примеру, на прогулку со своими детьми, с собакой или на утреннюю пробежку. Как правило, общерайонный сад открыт для всех посетителей, но включает в себя различные спортивные площадки, доступ к которым имеют не все, а только люди, проживающие в этом районе.

Комплекс домов на Лейк Шор Драйв – это «каталожные ящики для людей», как сказал о них американский историк архитектуры Л. Мумфорд [4]. Хотя, на мой взгляд, это высказывание чересчур категорично, но сам вид этих зданий, лишенных балконов, эркеров и других дополнительных элементов, не походит на традиционное представление о жилом здании, а сплошные стеклянные стены не отвечают интимности частной жизни. Проектируя эти здания, Мисс Ван дер Роэ стремился выявить скорее их конструктивную структуру, чем внутреннее содержание.

Жилой комплекс Барбикан и комплекс домов на Лейк Шор Драйв были созданы примерно в одно время – в 50-60-х годах прошлого века. Они являются продуктом своего времени и ответом на сложившийся сценарий урбанизированной жизни. Концепции, положенные в их основу, берут свое начало из рационалистских идей, смело отвергающих сложившийся исторический подход к проектированию жилых домов и рассматривающий их как определенный механизм, машину для жизни. Дома на Лейк Шор Драйв даже своим внешним видом напоминают такие машины. Сложно представить, что за жесткой ритмической сеткой, расчленяющей их фасады на одинаковые прямоугольники, проходит обычная человеческая жизнь.

Подобные идеи существовали еще в Советском Союзе в 1920-е годы, когда велись разработки и строительство домов-коммун, этих «конденсаторов общественной жизни» [5]. Однако особенно яркое воплощение они нашли в творчестве Ле Корбюзье, в частности, в его «Марсельской единице», жилые ячейки которой с одной стороны обеспечивали индивидуальную приватность для каждого жильца, а с другой – возможность в любой момент включиться в деятельность коллектива. В случае домов на Лейк Шор Драйв общественная жизнь и дух коллективизма не ограничивались только соседями по дому, под коллективом понималось все городское сообщество, с которым жильцы дома должны находиться в постоянном взаимодействии.

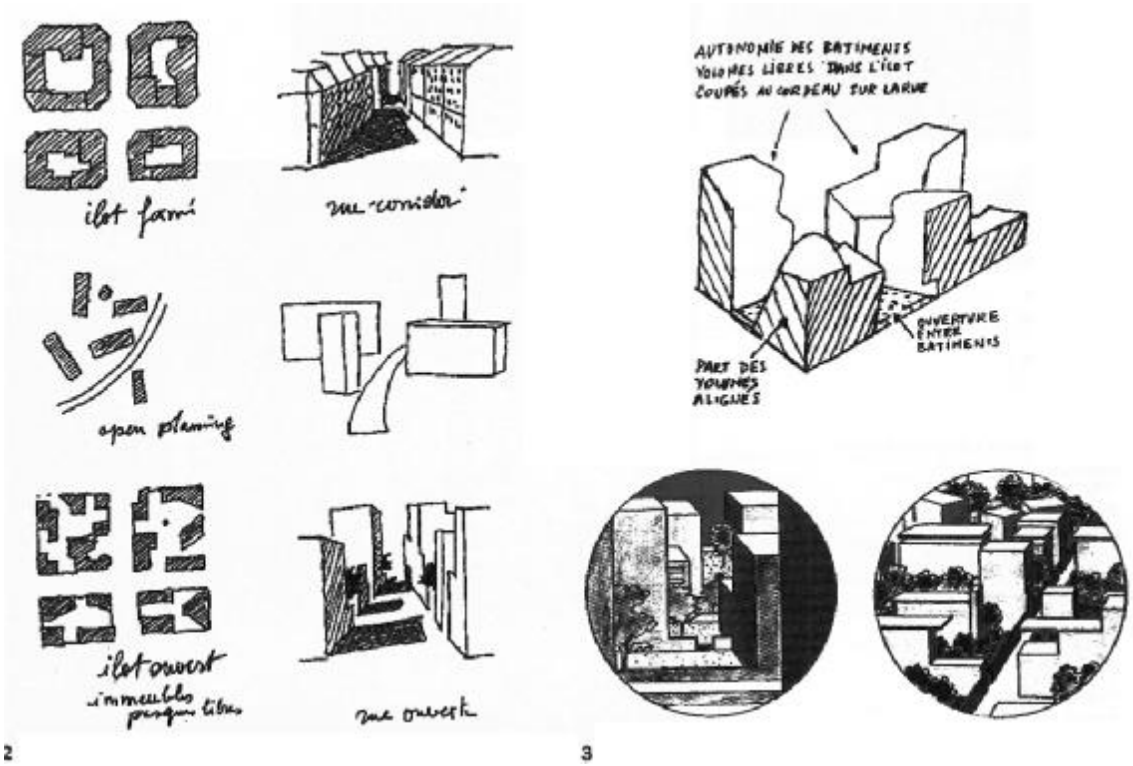


Рис. 3. Теория «открытого участка» в рисунках К. де Портзампарка

Похожей была и идея мегаструктур, на основании которой проектировался жилой комплекс Барбикан. В данном случае комплекс расценивался как более сложный механизм, однако идеи взаимного проникновения общественной и частной жизни нашли свое отражение и в этом комплексе. Жители Барбикана тоже могут в любой момент включиться в общественную жизнь, однако их квартиры в данном случае не являются только жилыми ячейками, они комфортабельны и просторны.

Следующий пример, который хотелось бы рассмотреть, был задуман гораздо позже, в 90-е годы XX века, а его осуществление продолжается по сей день. Парижский район Рив-Гош является продуктом идеологии «Нового урбанизма», идеи означающей среды, которая в противовес рационализму возвращается к проектированию разнородной среды, контекстуализму и учету исторического опыта в этой области. Жилье здесь уже не воспринимается как механизм, большее внимание уделено обеспечению комфортной частной жизни его обитателей. Впрочем, подобные идеи возникали и во времена главенства рационализма. Еще в 1953 году архитекторы Элисон и Питер Смитсоны писали: «Короткая улица трущоб имеет успех там, где широкий проспект терпит поражение», призывая к тому, что жилье должно рождать чувство добрососедства, избегая при этом чрезмерной открытости в сторону общественной жизни.

В Париже для освоения был выбран довольно крупный район, который был разбит на участки, для каждого из них выбран архитектор-координатор, определяющий основную концепцию для всего участка и привлекающий архитекторов для создания отдельных объектов и фрагментов участка. Особого внимания заслуживает район Массена-Норд, куратором которого был выбран один из крупнейших архитекторов Франции Кристиан де Портзампарк. Он разработал объемную модель застройки участка, по которой уже отдельные архитекторы разработали совершенно разные проекты.

«Конечно, не все архитекторы талантливы, – говорит Портзампарк, – и это тревожит любого урбаниста. Но задача урбанизма завтрашнего дня как раз и состоит в том, чтобы создавать такую разнообразную среду, которая бы поглощала и посредственное, и обыденное, и даже урод-ливое» [6].

На мой взгляд, подобное утверждение должно распространяться не только на эстетические качества среды. Жилая среда центров городов должна обладать такими качествами, как многообразие и избирательность, то есть гармонично совмещать в себе различные типы жилья и общественные объекты.

Особое внимание Портзампарк уделил наличию и количеству в жилой среде дворовых пространств, разработав теорию «открытого участка» – такой урбанистической ткани, которая была бы сформирована путем частого чередования объемов и

Рис. 4. Жилой комплекс на ул. Шаболовка

пустот. Городская среда при этом подходе приобретает высокую плотность, не теряя освещенность большинства помещений.

Говоря о районе Пари Рив-Гош, хочется обратить внимание на социальное жилье с яслями на улице Эмиля Дюркгейма. Архитектор Френсис Солер использует сплошное остекление, однако, в отличие от комплекса домов по Лейк Шор Драйв, похожих на большие аквариумы, для того чтобы обеспечить приватность и одновременно сохранить «чистоту» фасадов, нередко нарушаемую разнородными занавесками, архитектор покрывает стекла шелкографическими рисунками, которые пропускают свет, являясь при этом непрозрачными. Таким образом, обеспечивается приватность пространства, жизнь людей больше не переносится на улицы города, а скрывается за стенами здания.

Еще один жилой комплекс расположен в центральной части города Москвы, на улице Шаболовка. Опыт строительства жилых комплексов в центральной части российских городов несколько отличен от приведенных выше западных примеров. Там, на западе, архитектурному решению предшествовала «программность», т.е. опора на некую социальную концепцию организации жизни в комплексе, тесно связанную с предпочтительным для своего времени направлением в общем развитии городов. В России это не вышло за пределы эстетических предпочтений в выборе архитектурной стилистики и элементарной коммерческой борьбы за «выдавливание» лишних квадратных метров жилой площади с отведенного участка территории.

Несмотря на сходность жилого комплекса на Шаболовке с тем же самым комплексом домов на Лейк Шор Драйв, отсутствие двора тут явилось не следствием социальной концепции жизни на колесах, а просто нехваткой места. Композиция комплекса обусловлена ландшафтом местности, конфигурацией участка, инсоляционными показателями и близким расположением церкви Св. Троицы. Размещение офисов в верхних этажах и их консольное расположение определено не в соответствии с модернистскими идеями Ле Корбюзье, а возникающим выгодным эстетическим обликом, опять же коммерческой целесообразностью.

Таким образом, существует несколько вариантов включения жилой среды в центры современных крупных российских городов. Каждый из рассмотренных примеров является отражением социального и экономического строя, существовавшего в то время, когда они были построены. Даже жилой комплекс на улице Шаболовка в Москве, хотя и не несет никакой социальной программы, но вполне отражает архитектурные тенденции, существующие в современной России. Это не хорошо и не плохо, это факт. Суть в том, что, какой бы из вариантов включения жилья в центральные части современных российских городов не был избран, необходимо стремиться к тому,

чтобы устройство этой среды было продуманным, имело под собой определенную теоретическую базу и логику, и было уместным именно в контексте определенной уже сложившейся ситуации. Сегодня подобной теоретической базы не существует и перед архитектурным сообществом стоит задача создать такую базу, разработать модель жилой среды в центральной части крупных городов, отвечающую социально-экономическим и эстетическим запросам общества в обозримом будущем.

Литература

1. Визгалов Д.В. Города – лучший бренд России // Городской альманах. Вып. 3. – М.: Фонд «Институт экономики города», 2008.
2. Heathcote D. «Barbican. Penthouse over the city». – London: Wiley-Academy, 2004.
3. French H. Key Urban Housing of the Twentieth Century. Plans, sections and elevations. – London: Laurence King Publishing, 2008.
4. «Интернациональный стиль» в США. URL: http://pda.cih.ru/ae/b73.html (дата обращения: 12.02.2009).
5. Иконников А.В. Архитектура XX века. Утопии и реальность. Издание в двух томах. Том I / Под ред. Кудрявцевой А.Д. – М.: Прогресс-Традиция, 2002.
6. Портзампарк К. Открытый участок // ПРОЕКТINTERNATIONAL, июнь 2008.

УДК 711.01/09

Ю.Д. Старостенко – аспирант
Московский архитектурный институт (Государственная академия) – МАРХИ

НОВЫЙ ЦЕНТР МОСКВЫ В 1920-1930-е гг.

АННОТАЦИЯ

Исследование посвящено проблемам реконструкции Москвы 1920-1930-х гг. Освещаемые в данной работе основные этапы разработки проекта перепланировки города от планов «Новая Москва» и «Большая Москва» до Генерального плана 1935 года, предложения по перепланировке города времени градостроительной дискуссии 1929-1930 гг. рассматриваются в связи с концепцией реконструкции центра Москвы, формирование которой началось в начале 1920-х гг. и продолжалось вплоть до утверждения Генерального плана 1935 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Генеральный план, реконструкция, перепланировка.

Yu.D. Starostenko – post-graduate student
Moscow Architectural Institute (State Academy)

THE NEW CENTRE OF MOSCOW IN 1920-1930s

ABSTRACT

The research covers the problems of reconstruction of Moscow of 1920 – 1930s. The main stages of elaboration of redevelopment project, from "New Moscow" and "Big Moscow" plans to General plan of 1935; and proposals of city redevelopment in the light of urban planning discourse of 1929-1930 years, are considered in connection with the concept of the reconstruction of the centre of Moscow, which had begun in early 1920s and had continued to the General plan approval in 1935.

KEYWORDS: Master plan, reconstruction, redevelopment.

1920-е гг. вошли в историю Москвы исключительно как годы, когда появились наиболее радикальные проекты преобразования города, в то время как 1930-е гг. чаще всего ассоциируются с реализацией Генерального плана 1935 года и кардинальным преобразованием облика города. Однако в истории Москвы первых десятилетий советской власти далеко не все так просто и однозначно. Все «революционные» проекты преобразования города появились лишь в самом конце 1920-х гг., когда на волне провозглашенных индустриализации и коллективизации начался поиск новых путей социалистического расселения, отвечающего установке об уничтожении различий между городом и деревней, мечте о создании нового советского человека, а реальная реконструкция центра Москвы началась задолго до принятия Генерального плана и в ее основе лежала концепция, формирование которой началось еще в 1920-е годы. Более того, вся история преобразований Москвы первых десятилетий советской власти, даже идеологемы тех лет, в большинстве своем имеют очень глубокие корни в дореволюционной истории двух крупнейших городов Империи, двух столиц – Москвы и Петербурга.

Строительство железных дорог изменило пространственную структуру городов. Из-за боязни «адского шума» вокзалы строились на окраинах. Вокруг них начинали формироваться локальные городские центры, усиливалось значение улиц, ведущих от вокзалов в центр города. Здесь начинала развиваться торговля, появлялись многочисленные конторы. Моноцентричный город становился полицентричным, а прежде компактный исторический центр начинал разрастаться вдоль главных радиальных улиц. Проблема заторов на улицах, ведущих к вокзалам, становилась все актуальнее. Самым проблемным в Москве стало направление центр – Каланчевская площадь, поскольку на этой площади были сосредоточены вокзалы сразу трех железных дорог. Мясницкая улица не справлялась с все нарастающим транспортным потоком, что стало причиной появления целого ряда проектов, предусматривавших прокладку широкого прямого проспекта, напрямую соединяющего Каланчевскую и Лубянскую площади. Самый грандиозный вариант такого проспекта был предложен инженерами П.И. Балинским и Е.К. Кнорре в их знаменитом проекте метрополитена для Москвы (1902 г.). По замыслу

инженеров, центральная часть будущего проспекта Николая II отводилась под эстакады метрополитена, а по сторонам магистрали инженеры-предприниматели намеревались возвести доходные дома и конторские здания для последующей продажи и сдачи в аренду. Фактически городу передавалась лишь проезжая часть новой магистрали шириной около 60 метров, хотя под ее проложение инженеры просили выделить полосу шириной около 200 метров. Такие чрезмерные притязания стали одной из причин, по которым городские власти отклонили предложенный проект *. Другой причиной был намечавшийся снос памятников московской старины – церквей и гражданских построек – против чего возражало уже Московское археологическое общество, созданное в 1864 г. и ревностно оберегавшее облик Москвы «сорока сороков».

Интерес к исторической Москве во второй половине XIX в. был обусловлен многими факторами. На протяжении полутора веков, после переноса столицы в Санкт-Петербург, Москва, далекая от идеалов регулярного градостроительства, воспринималась как столица российской провинции. Попытки придания городу более классицистического облика, соответствующего идеалам эпохи абсолютизма, успехом не увенчались. План регулирования, составленный в 1775 г. Комиссией о каменном строении Санкт-Петербурга и Москвы, предусматривавший создание регулярных ансамблей вокруг Кремля, осуществлялся крайне медленно. Владельцы участков, на месте которых в соответствии с планом должны были появиться новые площади и улицы, не стремились продавать их казне. Лишь после пожара 1812 года, когда центр города выгорел практически дотла, в соответствии с переработанным к 1817 г. планом началось создание классицистической Москвы.

Однако, пожар города, победа над Наполеоном положили начало и совсем иным тенденциям. Интерес к собственной истории, осознание самобытности стали неотъемлемой частью культуры тех лет. Первым зримым воплощением этих тенденций в Москве стал храм Христа Спасителя в формах «византийской архитектуры» (по определению того времени), заложенный в 1832 г. недалеко от Кремля. Пока шло строительство храма, завершилось формирование ансамбля самой регулярной площади Москвы – Театральной. В 1858 г. с храма были сняты леса, что ознаменовало переломный момент в истории Москвы. Отмена обязательного на протяжении многих лет строительства по образцовым фасадам привела к появлению многообразия форм и стилей, которых не знала предшествующая эпоха.

В это же время начался бум железнодорожного строительства, превративший город в торгово-промышленную столицу Империи. Облик города теперь определяли не государственные заказы, а заказы московского купечества, нового поколения предпринимателей и промышленников, которые хотели подчеркнуть исключительность Москвы, ее отличие от «казенного» Петербурга. После Политехнической выставки 1872 года в Москве прочно утвердился «русский стиль». За последние несколько десятилетий XIX века в этом стиле был перестроен практически весь ансамбль Красной площади. Однако, уже в 1904 г. стараниями архитектора И.А. Фомина классицистическая Москва была «открыта» вновь, а с конца 1900-х гг. в Москву начинает проникать неоклассицизм, зародившийся в Петербурге в ответ на попытки придать столице облик «русского» города путем строительства храмов в «русском стиле». При этом нерегулярная планировочная структура Москвы с неширокими извилистыми улицами оставалась прежней. Попытки ее регулирования на основании высочайше утвержденных планов встречали сопротивление домовладельцев, которые не стремились безвозмездно передавать городу под расширение улиц участки собственных владений, освобождавшихся после перестройки зданий в соответствии с новыми красными линиями. Москва продолжала развиваться как средневековый город путем повышения этажности, уплотнения застройки и застройки пустырей. Зелени становилось все меньше, что вызывало беспокойство гигиенистов и теоретиков городского благоустройства, появившегося в России в качестве самостоятельной науки в начале XX века.

В это время осознание сложности функционирования больших городов, взаимосвязи их жилищных, транспортных, планировочных проблем и проблем эстетического характера привело к тому, что в Петербурге архитекторы и инженеры заговорили о необходимости составления единого проекта преобразования города, включавшего как проект перепланировки города, планировки пригородов, так и проект метрополитена. Такой проект был разработан в 1909-1912 гг. по инициативе инженера путей сообщения Ф.Е. Енакиева совместно с архитекторами Л.Н. Бенуа и М.М. Перетятковича, но дальше проекта дело не пошло. Лишь в 1916 г. Л.Н. Бенуа удалось привлечь внимание властей к этой проблеме, но события 1917 г. прервали как сбор материалов, так и подготовку к конкурсу на проект перепланировки Петрограда**.

---

*Проект Балинского и Кнорре не был единственным проектом метрополитена для Москвы. Проекты внеуличных железных дорог, призванных связать между собой московские вокзалы и разгрузить центр города от транзитного движения, начали появляться еще в конце XIX в., и вплоть до самой революции такого рода предложения не переставали разрабатываться (проекты Антоновича, Руина и т.д). Однако в большинстве своем они не предполагали коренных изменений планировочной структуры города, как в проекте Балинского и Кнорре.

**Петербург был переименован в Петроград с началом Первой мировой войны в 1914 году.

После февральской революции казалось, что смена политического режима дает возможность осуществить самые грандиозные проекты и начинания, целью которых является улучшение жизни людей. Однако, октябрь 1917 г. и последовавшие за ним события перевернули жизнь страны еще раз. Мечта теоретиков городского благоустройства и неоклассицистов Петрограда об отмене частной собственности, которая, по их мнению, стесняла любую инициативу в деле преобразования городов, осуществилась, но в создавшихся условиях на кардинальные преобразования города в обозримом будущем рассчитывать не приходилось, а в 1918 году столица и вовсе была перенесена в Москву.

Сотрудников партийно-правительственного аппарата, перебравшихся в Москву весной 1918 года, после Петербурга город поразил своей провинциальностью и грязью. В новой столице не хватало административных зданий, и переехавшие в Москву сотрудники различных ведомств размещались в гостиницах и доходных домах в центре города, преимущественно на площадях вокруг Кремля и Китай-города и на Тверской улице [1]. Облик Москвы пытались на скорую руку преобразовать установкой отдельных монументов по Плану монументальной пропаганды, украшением города к различным революционным праздникам, но многочисленные купола храмов, все еще возвышавшихся над городом, не соответствовали облику столицы мировой революции. Однако проблемы городского хозяйства, пришедшего за время войн и революций в упадок, затмевали проблемы эстетического характера.

Рис. 1. Схематическое изображение плана «Новая Москва». 1918-1923 гг. На схеме означены: I – Исторический центр, II – Правительственный центр, III – Общественный центр, IV – Транспортный центр. А – Золотой город, Б – Белый город, В – Земляной город, Г – Красный город, Д – пояс «городов-садов»

Провозглашенный отказ от всей предшествующей истории и всего предшествующего искусства был лишь декларацией. Безусловно, были и те, кто воспринял революцию как возможность заявить о себе и своем творчестве, но многие мастера не могли, да и не стремились в одночасье отказаться от прежних убеждений. Опыт и знания этих мастеров, несмотря на их «неправильные» убеждения были востребованы новой властью. Именно мастера старой школы – А.В. Щусев и И.В. Жолтовский – возглавили разработку проекта перепланировки Москвы, которая началась в архитектурной мастерской Моссовета уже в 1918 году.

Скорее всего, сама идея скорейшего создания плана преобразования города была позаимствована из предреволюционного Петрограда. В качестве одного из консультантов к разработке проекта был привлечен Дубелир – известный теоретик городского благоустройства, который занимался вместе с Л.Н. Бенуа подготовкой материалов для разработки подобного плана для Петрограда в 1917 году. В основу плана «Новой Москвы», как впоследствии был назван проект, легло утвердившееся в трудах теоретиков городского благоустройства начала XX в. представление о том, что радиальная или паутинная планировочная структура Москвы является идеальной для большого города. Главным и едва ли не единственным недостатком московского варианта этой планировочной системы были признаны стихийно сложившиеся кривые и узкие улицы города, которые в соответствии с новым планом предлагалось исправить путем расширения и спрямления. На словах такого рода преобразования не предвещали радикальных перемен, но на деле подразумевался снос практически всей старой застройки, за исключением памятников московской старины и московского классицизма, которые предполагалось сохранять и окружать зеленью.

В плане «Новая Москва», который был окончательно доработан уже в 1923-1924 гг., было много противоречий. В основу плана была положена идея моноцентричной планировочной структуры, что не помешало авторам проекта выделить несколько главных центров города: исторический – в Кремле, торговый – в Китай-городе, правительственный – на Ходынском поле, общественный – в Сокольниках и транспортный – на Каланчевской площади. Расширяемые радиальные улицы, главными из которых оставались Тверская и Мясницкая, должны были связать правительственный и общественный центры с историческим. В то же самое время авторы проекта постоянно стремились к максимальному исправлению планировочной структуры города, к ее идеализации путем замыкания Бульварного кольца в Замоскворечье

и проектирования нового бульварного кольца В, которое лишь частично «использовало трассу Камер-Коллежских валов, исправляя их эксцентрическое отклонение от правильной окружности» [2].

Предложения авторов плана «Новая Москва» о выделении отдельного правительственного центра не отвечали реальному положению вещей. После того, как в 1918 году все крупные общественные здания в Китай-городе и на прилегающих площадях были заняты конторами и ведомствами, именно здесь сформировался политический центр города. Поэтому не случайным было решение построить главное административное здание Москвы – Дворец Труда – именно в этом новом центре на месте Охотного ряда. Конкурс на проект Дворца Труда, прошедший в 1922-1923 гг., стал поводом для первой крупной дискуссии различных политических доктрин, но он еще не был чрезмерно политизирован. Процесс идеологизации мероприятий по реконструкции города лишь начинался.

С проведением конкурса на проект Дворца Труда совпало оформление нового государства Союза Советских Социалистических Республик на Первом съезде Советов СССР в декабре 1922 года. На этом съезде С.М. Киров произнес речь, в которой предложил увековечить достижения новой власти строительством в Москве грандиозного здания-памятника – Дворца СССР. Почти сразу же этот предполагаемый дворец и проектировавшийся Дворец Труда слились в единое сооружение, и в 1924 г. в статье «Москва будущего» Щусев говорил уже о Дворце СССР, возвышающемся на месте Охотного ряда [3].

Конкурс на проект Дворца Труда был признан не вполне удачным. Было принято решение провести повторный, уже международный конкурс, но в 1923 г. эта идея так и осталась не реализована. В январе 1924 г. умер Ленин. На Красной площади появился первый деревянный Мавзолей, и практически сразу же комиссией по увековечиванию памяти вождя, которую возглавлял Л.Б. Красин, была разработана программа увековечивания, предусматривавшая реконструкцию центра города. Согласно этой программе на месте временного Мавзолея должен был появиться постоянный, при этом Красин отвергал идею совмещения гробницы и памятника вождю. В связи с предполагавшейся постройкой Дворца Труда в Охотном ряду Красин предлагал устроить от Дворца вплоть до храма Христа Спасителя сквер или авеню «25 Октября», как и намечалось по плану «Новая Москва». Однако Красин предлагал продолжить этот сквер дальше, как широкий проспект имени Ленина вдоль левого берега реки Москвы. Проспект должен был пересечь Москву-реку и достичь Воробьевых гор, которые предлагалось переименовать в Ленинские. Они должны были превратиться в памятник Ленину, в его музей. Здесь должны были располагаться Дворец имени Ленина, с музеем, библиотекой, залы для лекций, открытые площадки для всех видов спорта и т.п. [4].

Через месяц свое развитие идей комиссии по увековечиванию памяти Ленина предложил один из самых ярых архитекторов-рационалистов – Балихин. Он, как и Красин, предлагал проложить широкую магистраль от Красной площади до Воробьевых гор, выступал против идеи совмещения гробницы и памятника и предлагал возвести грандиозное здание-памятник Ленину на месте храма Христа Спасителя [5]. В 1924 г. это предложение Балихина, показавшееся чрезмерно нереальным и абсурдным, так и не было опубликовано. В начале весны 1924 г. был построен второй деревянный Мавзолей, который простоял до 1929 г. Идея сооружения некоего главного здания Москвы и всей страны, которое стало бы новым центром столицы, на протяжении всех 1920-х гг. продолжала разрабатываться в студенческих проектах ВХУТЕМАСа-ВХУТЕИНа. В студенческих проектах 1927 г. развитием идеи монументального проспекта имени Ленина стало проектирование здания грандиозной библиотеки имени вождя на трассе предполагаемого проспекта. Через год был проведен громкий конкурс уже среди практикующих архитекторов, по результатам которого лучшим был признан проект ленинградского архитектора-академиста В.А. Щуко. В рамках той же концепции Л.Б. Красина в конце 1920-х гг. намечалось развитие Центрального парка культуры и отдыха на месте Всесоюзной сельскохозяйственной и кустарно-промышленной выставки 1923 г. Первые проекты перепланировки парка, территория которого должна была расширяться за счет Ленинских гор, Лужников и Хамовников, были выполнены студентами в 1929 г.

Таким образом, в конце 1920-х гг. в соответствии с некогда озвученной Красиным концепцией

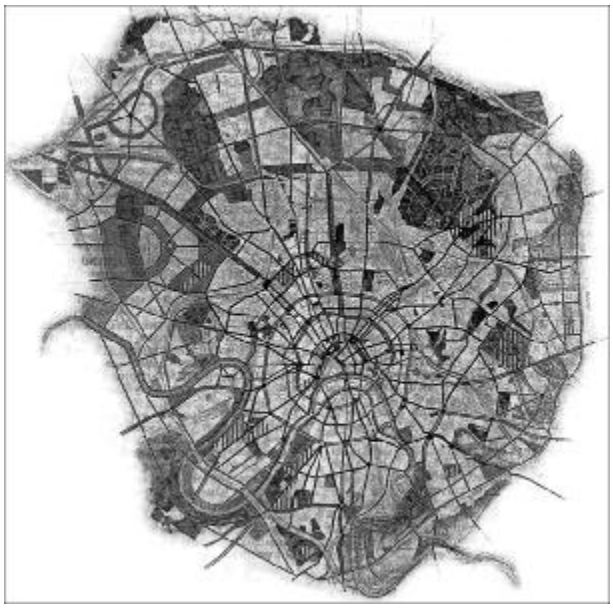


Рис. 2. Схема перепланировки Москвы, разработанная МКХ. 1927-1929 гг.

реконструкцией центра проектировались и даже строились здания. Между тем, сама идея сохранения планировочной структуры, лежавшая в основе всех ранних проектов по перепланировке города, начала подвергаться сомнению. В 1921-1925 гг., практически одновременно с планом «Новой Москвы» инженером Шестаковым был разработан план «Большой Москвы», который предполагал существенное расширение территории города и распространение на новые территории радиально-кольцевой планировочной структуры Москвы. В 1927-1929 гг. уже в структурах Московского коммунального хозяйства (МКХ) был составлен еще один проект перепланировки столицы. Как и в предыдущих проектах, его основополагающими положениями были: сохранение планировочной структуры города, расширение и спрямление улиц, озеленение города и, кроме того, проложение улиц-дублеров для наиболее перегруженных главных улиц города – Мясницкой, Тверской и Арбатской. Кремль и Китай-город рассматривались уже исключительно как политический и административный центр города. В отличие от плана «Новая Москва», план МКХ предусматривал снос гораздо большего числа зданий не только в «русском стиле», но и церквей XVII в., предполагаемый снос которых в проекте метрополитена Балинского и Кнорре наделал столько шума в 1902 г.

Скорее всего, реакцией именно на этот проект стало предложение по реконструкции города, вошедшее в историю Москвы как «парабола Ладовского» и разработанное в 1928 г. Ладовский предлагал, сохранив в неприкосновенности старую Москву в пределах Бульварного кольца (впоследствии эта часть города должна была стать музеем), разорвать остальные кольца города и дать ему свободно расти на северо-запад по оси Тверская – Ленинградское шоссе, которая мыслилась новым динамическим центром Москвы. На самом деле, и по плану «Новой Москвы», и по плану МКХ от исторического города, понимаемого как совокупность исторической застройки, должен был остаться лишь Кремль и отдельные выдающиеся сооружения, хотя они и провозглашали сохранение планировочной структуры города. Примерно те же фрагменты должны были остаться от Москвы и по проекту Гинзбурга, который предлагал превратить старый город в гигантский парк. Отказ от прежней планировочной структуры или ее коренное преобразование стали основой многих проектов времени градостроительной дискуссии, развернувшейся на рубеже 1929-1930 гг. Однако, на реальную жизнь города эти проекты не оказывали никакого влияния. О необходимости проведения скорейшего конкурса на проект перепланировки столицы говорилось не раз, но Москва продолжала перестраиваться в соответствии с красными линиями, установленными планом МКХ.

1931 год стал во многом поворотным в истории перепланировки Москвы, прежде всего потому, что с этого момента все мероприятия по реконструкции города, даже исключительно утилитарные, начнут получать мощное идеологическое звучание. Решение о строительстве Дворца Советов и решение июньского Пленума ЦК ВКП(б) о городском хозяйстве Москвы, будучи частью большой политической игры, целью которой было укрепление власти Сталина, долго и тщательно подготавливались. Еще до Пленума по заказу городских властей было разработано несколько вариантов перепланировки города, известные архитекторы были привлечены к поискам места под Дворец Советов и разработке его предварительного проекта. Дворец Советов, который был фактически воплощением идеи, озвученной в 1922 г. Кировым, предлагалось возвести на площади Охотного ряда, напротив того места, где некогда проектировался Дворец Труда, но идеологические аспекты взяли верх, и памятник новой эпохи было решено построить на месте храма Христа Спасителя, как и предлагал некогда Балихин [6].

Все прежние проекты перепланировки города были официально раскритикованы, но при этим многие предшествовавшие наработки легли в основу того плана реконструкции Москвы, разработка которого началась после июньского пленума. В конце концов проведенный в 1931-1932 гг. конкурс на проект перепланировки Москвы не оказал на основной проект какого-либо заметного влияния. Вне зависимости от того, выступали авторы проектов за сохранение старой планировочной структуры Москвы или за ее преобразование, все конкурсные проекты предусматривали фактически полное изничтожение

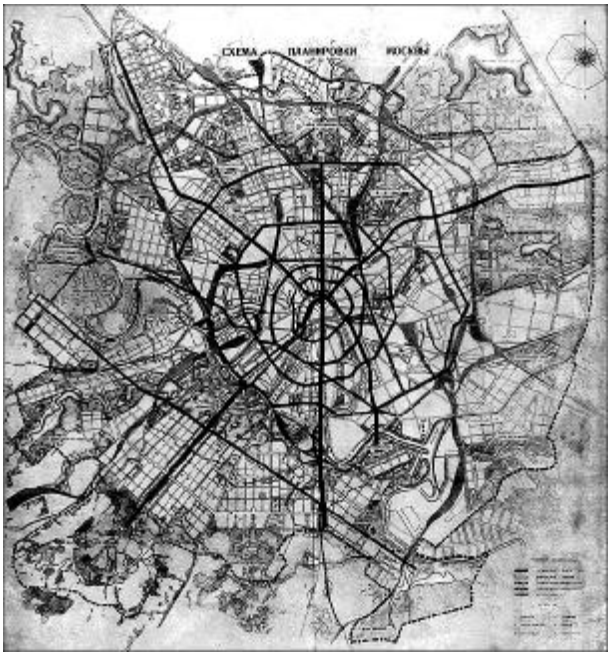


Рис. 3. Схема Генерального плана реконструкции Москвы. 1935 г.

старой застройки Москвы. Кроме того, большая часть этих проектов вступала в противоречие с уже фактически оформившейся концепцией реконструкции центра города, ведь идея создания монументального проспекта – Аллеи Ильича – в связи с началом проектирования Дворца Советов приобрела еще большую актуальность. Лишь в проекте бригады ВОПРА магистраль Мясницкая – Аллея Ильича рассматривалась как главный диаметр всего города, его административный и просветительский центр.

К моменту завершения конкурса в Архитектурно-планировочном управлении Моссовета уже практически был готов «официальный» проект реконструкции города. Именно этот план, предусматривавший прокладку новых колец, в том числе и дублирующего полукольца через Кузнецкий мост, замыкание Бульварного кольца в Замоскворечье, прокладку улиц-дублеров для все также перегруженных основных магистралей, дорабатывался на протяжении последующих трех лет, вплоть до пафосного утверждения в июле 1935 года уже в качестве Генерального плана реконструкции Москвы. За время его доработки основополагающей идеей плана стала идея магистральной застройки, т.е. парадная застройка магистралей монументальными зданиями в целях создания облика, достойного столицы СССР. Реконструированная в связи со строительством канала Москва-Волга Москва-река трактовалась как главная магистраль столицы, что не было случайным: образцом реконструкции Москвы стал имперский Петербург. На набережных должны были вырасти самые монументальные здания города, в т.ч. и Дворец Советов.

Дворец Советов также проектировался не столь быстро, как это предполагалось изначально. Дворец намечалось открыть в 1934 году, однако после открытого конкурса 1931 г. понадобилось еще два тура закрытого конкурса и год доработки, чтобы в феврале 1934 года был утвержден лишь архитектурный проект здания-памятника в 415 м, увенчанного фигурой Ленина высотой 80 м. Все то время, пока шло проектирование Дворца Советов, разработчики проекта перепланировки города пытались решить задачу совмещения исторической планировочной структуры и нового центра, каким мыслился Дворец Советов. Аллея Ильича, или Проспект Ильича, рассматривались в рамках плана как одна из главных магистралей столицы, как расширенный центр города, который должны были украсить прекрасные и монументальные здания. Как и в замысле Красина, проспект вел на Ленинские горы, но уже не по берегу Москвы-реки, а прямо по оси Дворца Советов, прорезая существующую застройку.

В реальности город прекрасного завтра, созданный в архитектурных проектах, образ которого активно пропагандировался в газетах, журналах и фильмах, так и остался городом-мифом. Идея скорейшей реконструкции одной-двух магистралей для демонстрации будущего облика Москвы, возникшая в 1932 г., воплотилась в сносе стены Китай-города (1934 г.); в реконструкции Охотного ряда, где в 1931-1938 гг. была построена гостиница «Москва» (и то лишь корпуса по улице Горького, Охотному ряду и частично по площади Революции) и здание Комитетов Совета Труда и Обороны (1933-1936 гг.); в расчистке Манежной площади и в реконструкции улицы Горького, которую можно назвать самым последовательным воплощением идей Генерального плана 1935 г. Вся реальная строительная деятельность сосредотачивалась в том центре города, который сформировался еще в 1918 г. Именно поближе к этому центру стремились возвести свои здания различные наркоматы и ведомства, поэтому не случайным был конкурс на проект здания Наркомата тяжелой промышленности.

Таким образом, есть все основания говорить о том, что реконструкция Москвы не началась с принятием Генплана 1935 г. Строительство многих как выдающихся, так и рядовых зданий началось еще во второй половине 1920-х или в самом начале 1930-х гг. Если строительство 1920-х гг. решало в первую очередь такие насущные проблемы города, как нехватка жилья, конторских помещений, то строительство 1930-х гг. было ориентировано на создание монументального облика города и в большей степени выделялось прежде всего за счет застройки магистралей. Что же касается планировки города, то такие известные и радикальные проекты, как проект Ладовского или Ле Корбюзье, фактически не оказали влияния на разработку плана перепланировки, которая велась в соответствии с традициями еще старой, дореволюционной теории благоустройства городов.

Литература

1. Броновицкая Н.Н., Бочаров Ю.П. Москва – столица советской России // В кн.: «Москва 850 лет» – юбилейное издание в двух томах (под общ. ред. В.А. Виноградова). Том 2. – М.: Издательство АО «Московские учебники», 1996. – С. 61.
2. Сиренко Э.А. План «Новая Москва» – структура и концепция // Архитектура в истории русской культуры. Вып. 3. Желаемое и действительное. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – С. 265.
3. Щусев А.В. Москва будущего // Красная Нива, 1924, № 17. – С. 418.
4. Красин Л.Б. Архитектурное увековечивание Ленина // Известия, 1924, № 31 (2066).
5. Хан-Магомедов С.О. К истории выбора места для Дворца Советов // Архитектура и строительство Москвы, 1988, № 1. – С. 21.
6. Эйгель И. К истории построения и сноса храма Христа Спасителя // Архитектура и строительство Москвы, 1988, № 7. – С. 66.

УДК 624.014: 624.074.4

Л.Р. Гимранов – аспирант
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ УЗЛА ОПИРАНИЯ ПРОФИЛИРОВАННОГО НАСТИЛА НА ВЕРХНИЙ ПОЯС ФЕРМ ИЗ ГСП

АННОТАЦИЯ

В статье исследуется жесткость узла опирания профилированного настила на верхний пояс ферм, выполненных из гнутосварных профилей. Рассматривается напряженно деформированное состояние данного узла, рассчитанного в геометрически нелинейной постановке с учетом образования зон контакта и зазоров. Численными способами определяется значение жесткости опирания, а также ее зависимости от различных геометрических параметров элементов, таких как ширина верхнего пояса, толщина элемента верхнего пояса, высота самой фермы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Жесткость, узел, ферма, опирание, настил.

L.R. Gimranov – post-graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

INVESTIGATION OF CONNECTION STIFFNESS BETWEEN STEEL DECK AND TRUSS TOP GIRTH

ABSTRACT

The stiffness of resting connection of steel deck on truss top girth is researched. The stressed strain condition of this type of connection is solved in nonlinear geometric setting with consideration for gaps and contact areas formation. The value of resting stiffness is determined by numerical approaches. The dependence between resting connection stiffness and different parameters, such us top girth width and thickness, and truss height are determined also by numerical approaches.

KEYWORDS: Stiffness, connection, truss, resting, deck.

В настоящее время широкое распространение получили здания из легких металлических конструкций, в покрытиях которых применяется профилированный настил Н153-840 [1], опертый на фермы из гнутосварных профилей (ГСП). Характерной особенностью покрытий данных зданий является то, что стропильные и подстропильные фермы оперты шарнирно в зоне верхнего пояса, т.е данные фермы являются «висячими». Пространственная жесткость покрытия обеспечивается в горизонтальной плоскости диском из профилированного настила, а в вертикальной плоскости – системой распорок и вертикальных связей, по существующей аналогии с серией «Молодечно». Однако в строительной практике существуют примеры, когда система вертикальных связей и распорок в зданиях с конструкцией покрытия, описанной выше, отсутствует. Данное исследование и посвящено рассмотрению проблемы пространственной жесткости покрытий зданий с отсутствием распорок и вертикальных связей.

Определяющим фактором, влияющим на пространственную жесткость покрытия без системы вертикальных связей и распорок, является опирание профилированного настила на верхний пояс фермы из ГСП. Исследование работы данного узла производилось на программных расчетных комплексах, использующих метод конечных элементов и позволяющих решать контактные задачи. Моделируемый узел состоял из участка профилированного настила Н153-840-1,5 длиной 1 м и участка верхнего пояса 180х180х6 со стойкой аналогичного сечения. Участок профилированного настила 1 моделировался с отверстиями, равными диаметру самонарезающего винта. Верхний пояс фермы включал в себя профиль верхнего пояса 2, в который были вкручены самонарезающие винты 3 в каждой гофре профилированного листа, а также элемент стойки фермы 4, к которому прикладывалось определенное усилие. Расчетная схема данного узла приведена на рис. 1. Граничные условия данной расчетной схемы включают в себя крепление опорных полок по торцам профилированного настила, а пояс связан с профилированным листом посредством контактной зоны.

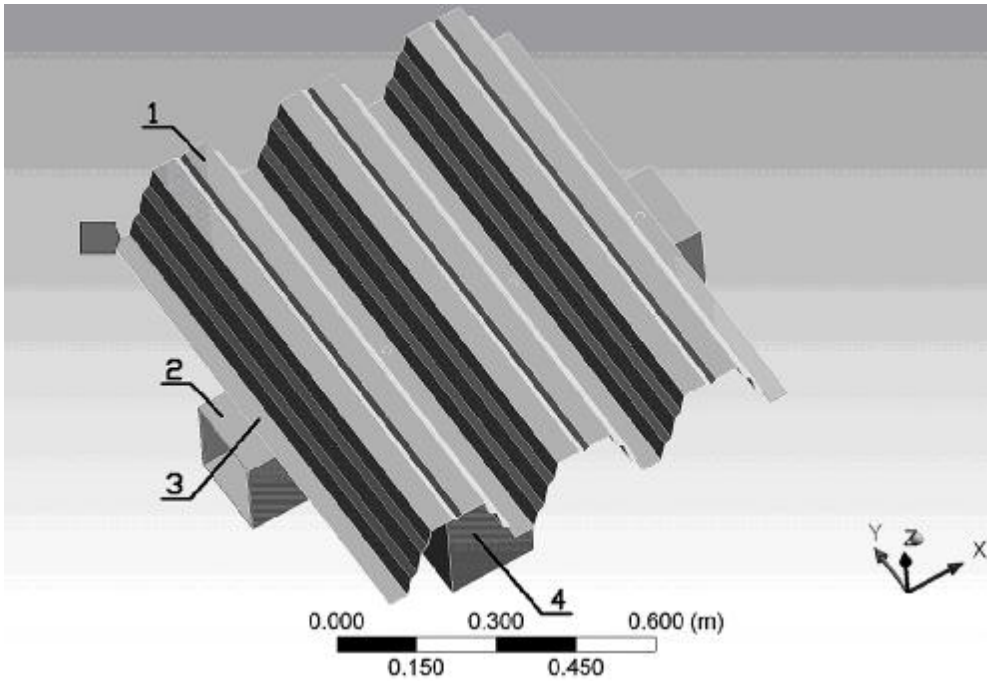


Рис. 1. Расчетная схема узла опирания профилированного настила на верхний пояс фермы из ГСП

Контактная зона включает в себя:

– контакт между нижней кромкой полки профилированного листа и полкой пояса;

– контакт между верхней кромкой полки профилированного листа и шляпкой самонарезающего винта.

Расчет данного узла производился в геометрически нелинейной постановке, которая учитывала образование зазоров и передачу усилий посредством контактной поверхности. По результатам нелинейного расчета, были получены следующие результаты, приведенные на рис. 2-7. На рис. 2 приведена деформированная схема узла, из которой видно образование зазора и контактной зоны. На рис. 3 показано распределение эквивалентных напряжений в профилированном листе, с зонами концентрации их вокруг отверстий. На рис. 4 приводится характер распределения контактного давления на поверхность профилированного листа, образующегося в результате образования зазоров и зон контакта. Рис. 5 характерно показывает распределение эквивалентных напряжений в самонарезающем винте.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что данный узел обладает определенной жесткостью, которую можно выразить через отношение усилия на элемент стойки фермы к его перемещению, т.е.

$$C=F/\delta,$$

где C – жесткость узла опирания профилированного настила на верхний пояс фермы, характеризующаяся усилием, которое нужно приложить на стойку, чтобы она сместилась на единицу длины, F – усилие, прикладываемое к нижней кромке стойки, δ – перемещение нижнего конца стойки от действующего усилия.

Величина жесткости заделки верхнего пояса изменяется в зависимости от длины стойки (величины плеча), толщины полки верхнего пояса, а также ширины верхнего пояса. Зависимости жесткости заделки верхнего пояса фермы в профилированном листе шириной 0,84 м и длиной 1 м от параметров, описанных выше, были проанализированы путем составления и решения расчетных схем с различными исходными данными. В ходе анализа полученных результатов выяснилось, что зависимость жесткости заделки от ширины профилированного листа линейна, т.е. пропорциональна увеличению количества гофр, а также не зависит от длины листа. Отсутствие зависимости жесткости заделки от длины листа может объясняться преобладанием локальных деформаций в зоне контакта, а линейность зависимости жесткости заделки от количества гофр, пропорциональным увеличением количества самонарезающих винтов.

Графики взаимосвязи жесткости заделки от геометрических параметров узла приведены на рис. 6-8.

Зависимость жесткости заделки верхнего пояса от длины стойки (величины плеча) с аппроксимацией приведена на рис. 6.

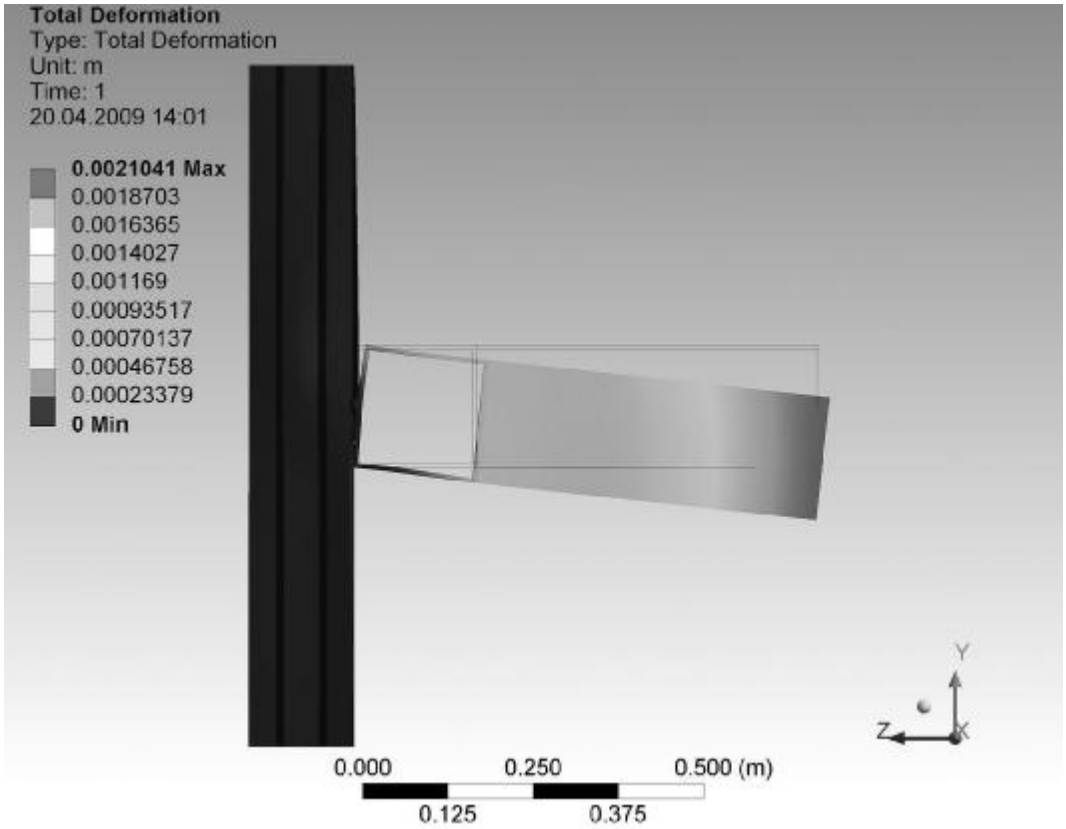


Рис. 2. Деформированная схема узла

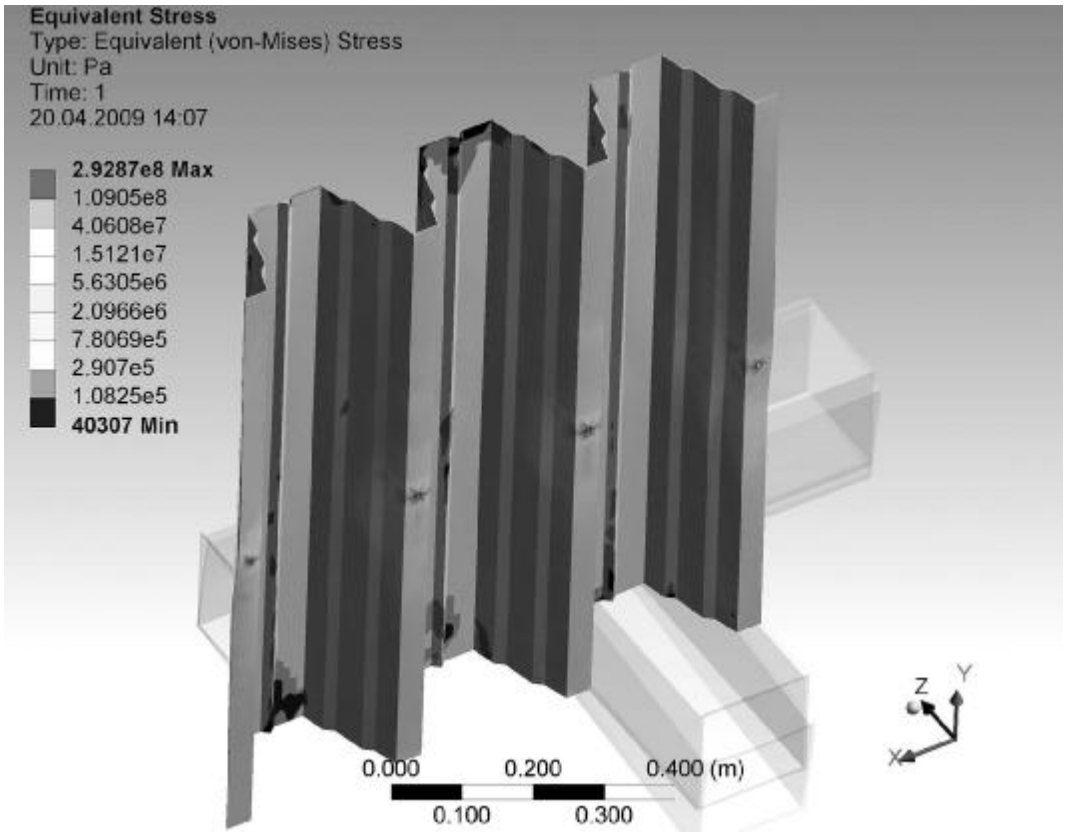


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений в профилированном листе

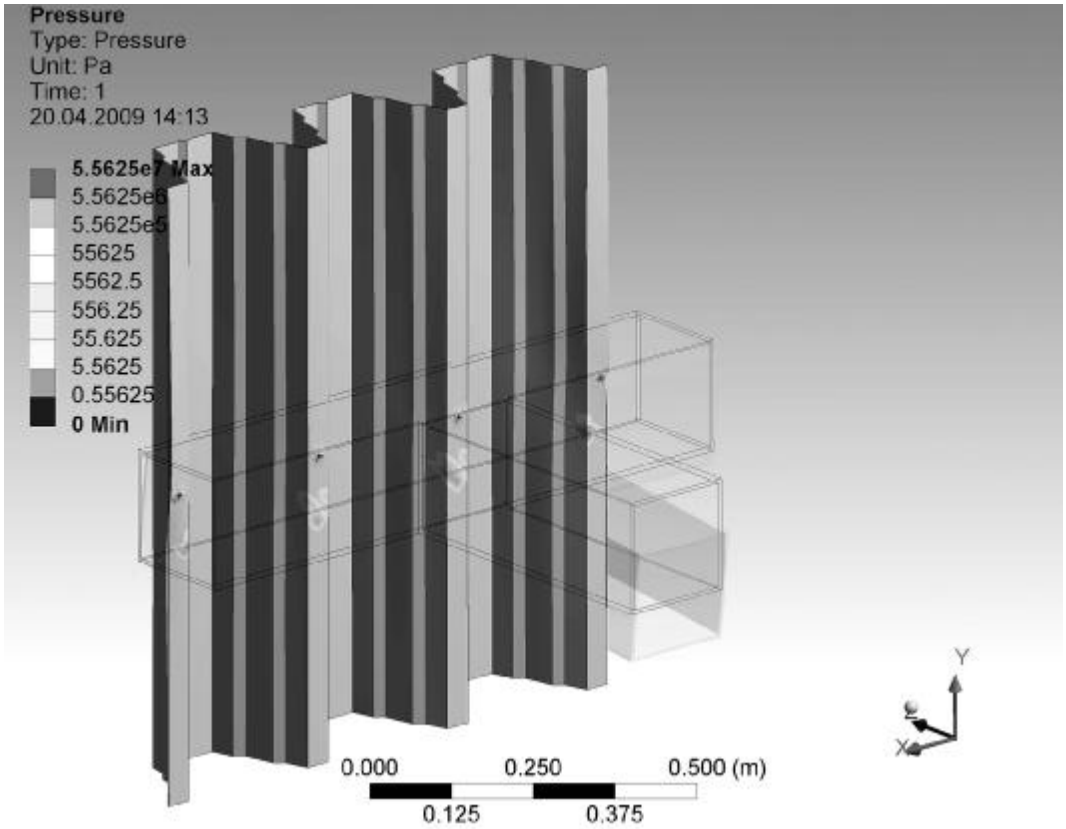


Рис. 4. Характер распределения контактного давления

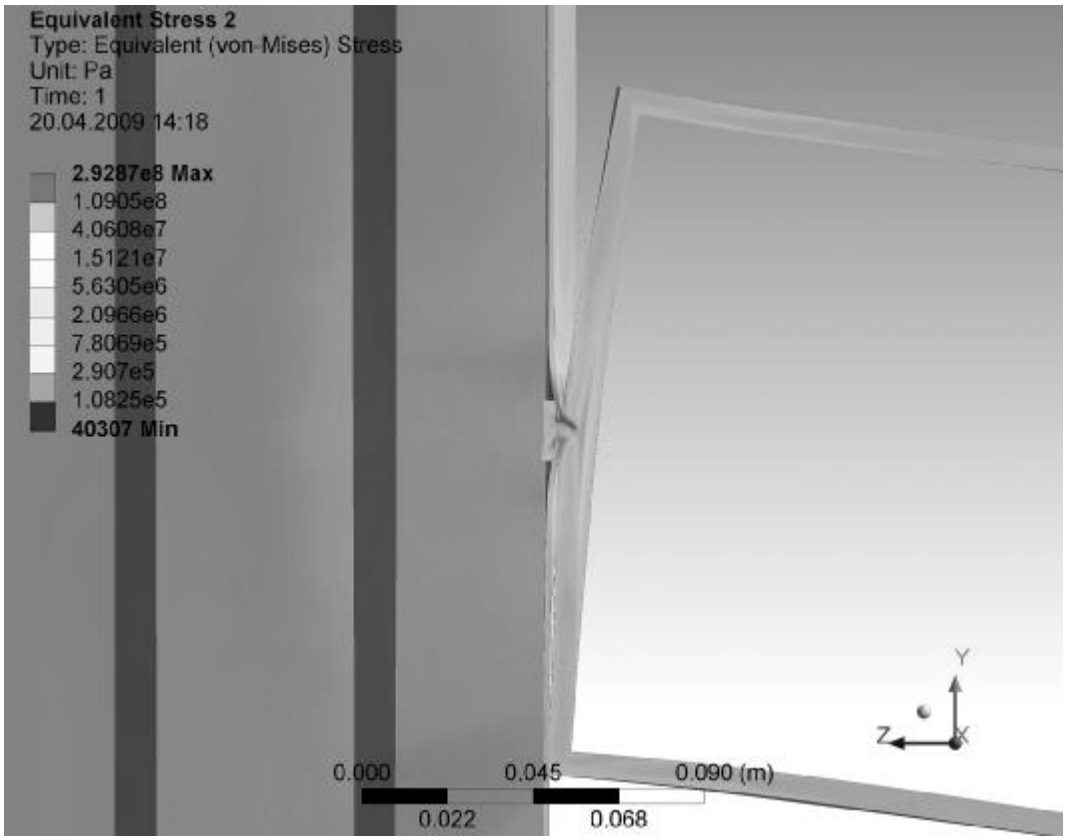


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений в самонарезающем винте

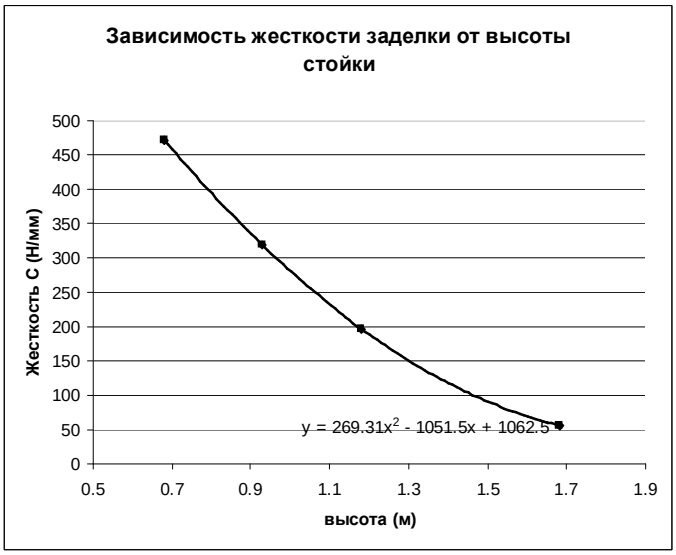


Рис. 6. Зависимость жесткости заделки верхнего пояса от длины стойки

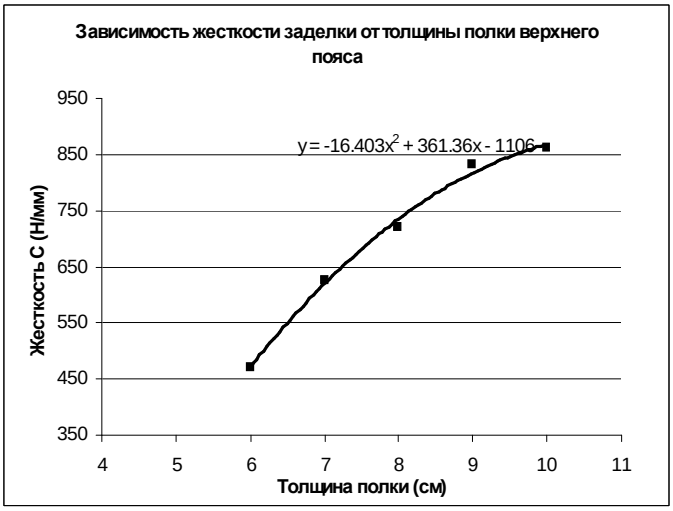


Рис. 7. Зависимость жесткости заделки от толщины полки верхнего пояса фермы

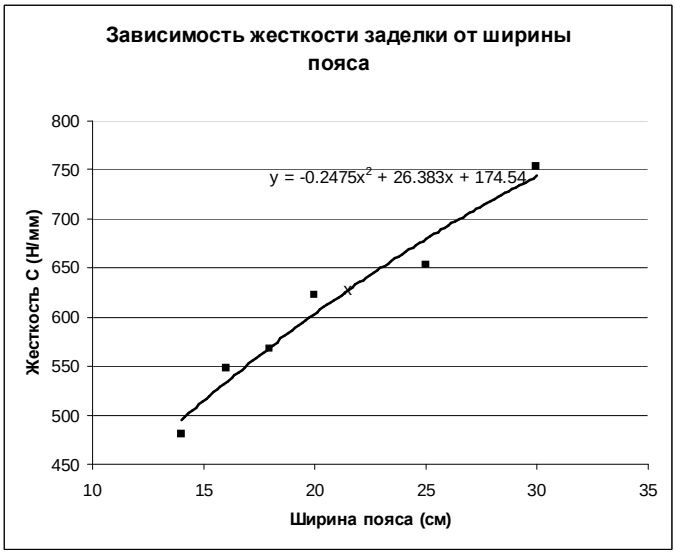


Рис. 8. Зависимость жесткости заделки от ширины полки верхнего пояса фермы

Зависимость жесткости заделки от толщины полки верхнего пояса фермы и ее ширины приведена на рис. 7 и 8.

Проведенные численные исследования позволяют с определенной точностью вычислить жесткость заделки верхнего пояса фермы в профилированном листе для любого типа профиля и для любой высоты фермы. Зная величину этой жесткости, а также допустимые отклонения нижнего пояса фермы из плоскости, можно обосновать необходимость установки или возможность отказа от вертикальных связей и распорок с учетом соответствующего расчета фермы.

Литература

1. Кузнецов И.Л., Гимранов Л.Р. Исследование несущей способности профилированного настила с высотой гофры 153 мм // Эффективные строительные конструкции: Теория и практика, – Пенза, 2008. – С. 42-44.

УДК 624.012.45

В.А. Ерышев – доктор технических наук, профессор
Д.С. Тошин – старший преподаватель
Д.И. Латышев – аспирант
Тольяттинский государственный университет (ТГУ)

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РАЗГРУЗКЕ

АННОТАЦИЯ

Представлен алгоритм расчета нормального сечения изгибаемого железобетонного элемента при разгрузке. Методика разработана на основе деформационной модели с применением нелинейных диаграмм деформирования материалов при нагрузке и разгрузке. Установлены физические соотношения, связывающие деформации элемента с усилиями при разгрузке через нелинейную матрицу жесткости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Бетон, железобетон, нагрузка, разгрузка, напряжение, деформации, нормальное сечение, диаграмма.

V.A. Eryshev – doctor of technical science, professor
D.S. Toshin – senior lecturer
D.I. Latishev – post-graduate student
Togliatti State University (TSU)

MODEL OF CALCULATION OF REMAINING DEFORMATION OF FERROCONCRET ROD AT UNLOADING

ABSTRACT

The algorithm of calculation of normal section of ferroconcrete rod at unloading is presented. The method is developed on the basis of deformation model with using of non-linear diagrams of materials deformation under loading and at unloading. The physical correlations, which connect the deformation of elements and interior force, by the usage of non-linear stiffness matrix at unloading are determined.

KEYWORDS: Concrete, ferroconcrete, loading, unloading, pressure, deformations, normal section, diagram.

Большинство строительных конструкций в процессе эксплуатации подвергаются повторным воздействиям, при которых временная нагрузка периодически снимается и прикладывается вновь через определенный промежуток времени. Опытные данные отечественных и зарубежных авторов свидетельствуют, что при полном снятии нагрузки (разгрузке) часть деформаций конструкции не восстанавливается. В нормальном сечении с трещиной возникают остаточные деформации (напряжения) растяжения в рабочей арматуре даже в том случае, если она работает в упругой области, и деформации от зажатия бетона на участке с трещинами. Усилия в расчетном сечении самоуравновешиваются. Современные нормативные документы позволяют выполнять расчет железобетонных элементов вплоть до разрушения с использованием инженерных методов и по деформационной модели (СП 52-101-2003) с использованием диаграмм деформирования материалов (арматуры и бетона), что позволяет при линейном законе распределения деформаций в каждой полоске по высоте сечения элемента определять реальные напряжения бетона или арматуры. Фактически расчет по деформационной модели сводится к подбору таких значений средних деформаций бетона сжатой зоны и растянутой арматуры, при которых в сечении с трещиной удовлетворяются условия равновесия. Итерационный процесс выполняется по специальным программам с применением компьютерной техники.

Вопрос деформирования железобетонных элементов при разгрузке недостаточно изучен, хотя накоплен определенный опыт: установлены аналитические связи между деформациями и напряжениями в исходных диаграммах деформирования арматуры и бетона при растяжении

и сжатии [1], а также при немногократных повторных нагружениях, включая разгрузку до y_b=0 [2] и смену знака напряжений, например, «сжатие-растяжение» [3]. Деформации зажатия берегов трещины были зафиксированы опытным путем по показаниям малобазных тензодатчиков, наклеенных по берегам трещин в начале разгрузки изгибаемого элемента [4]. По результатам специальных испытаний армированных образцов призм при знакопеременных нагрузках «растяжение-сжатие», выполненных в НИИЖБ под руководством академика Н.И. Карпенко, получены аналитические зависимости для описания диаграмм зажатия y_{b3}-e_{b3}, принято за начало учета напряжений зажатия в сечении с трещиной считать величину деформаций $e_н$=30·10^{-5}[3].

В основу расчета нормальных сечений железобетонных элементов при разгрузке положены следующие предпосылки и допущения:

- средние деформации бетона и арматуры на участках между трещинами по высоте сечения элемента распределяются по линейному закону; справедлива гипотеза плоских сечений;

- связи между осевыми напряжениями и относительными деформациями арматуры и бетона в выделенных полосках по высоте сечения в вершине цикла принимаются в виде исходных диаграмм арматуры и бетона для кратковременного нагружения с постоянными скоростями роста деформаций;

- строятся отдельные диаграммы до полной разгрузки с напряжений сжатия или растяжения; при смене знака напряжений к указанным добавляются диаграммы другого знака со своими деформационными и предельными параметрами; диаграмма сжатия участка бетона с трещинами в растянутой зоне, которая включает в себя диаграмму блока между трещинами и диаграмму зажатия связей берегов трещин;

- расчет деформаций и напряжений производится в конечных приращениях, при уменьшении момента на величину ΔM за начало координат принимается вершина цикла, соответствующая максимальному уровню нагружения моментом $M = \tilde{M}$; полные значения деформаций $\overset{s}{\varepsilon}_b$ и $\overset{s}{\varepsilon}_s$, напряжений $\overset{s}{\sigma}_b$ и $\overset{s}{\sigma}_s$ в элементарных полосках бетона и арматуры получаются суммированием одноименных величин в вершине цикла $\tilde{\varepsilon}_b$, $\tilde{\varepsilon}_s$ и $\tilde{\sigma}_b$, $\tilde{\sigma}_s$ и их приращений $\Delta\overset{s}{\varepsilon}_b$, $\Delta\overset{s}{\varepsilon}_s$ и $\Delta\overset{s}{\sigma}_b$, $\Delta\overset{s}{\sigma}_s$ с учетом знаков: $\overset{s}{\varepsilon}_b = \tilde{\varepsilon}_b + \Delta\overset{s}{\varepsilon}_b$, $\overset{s}{\varepsilon}_s = \tilde{\varepsilon}_s + \Delta\overset{s}{\varepsilon}_s$, $\overset{s}{\sigma}_b = \tilde{\sigma}_b + \Delta\overset{s}{\sigma}_b$, $\overset{s}{\sigma}_s = \tilde{\sigma}_s + \Delta\overset{s}{\sigma}_s$;

- переход от напряжений в полосках к обобщенным внутренним усилиям выполняется с помощью процедуры численного интегрирования напряжений по толщине элемента.

В вершине цикла на начало разгрузки при $M = \tilde{M}$ выделим линию распределения средних деформаций (рис. 1а, линия 1) и соответствующую схему распределения напряжений и усилий в сечении с трещиной (рис. 1б). Предположим, условия равновесия внешних и внутренних усилий выполняются. В матричной форме физические соотношения представляются в виде

$$\{M\}=[D]\cdot\{e\},\ \text{или}\ \begin{Bmatrix}\tilde{M}\\ 0\end{Bmatrix}=\begin{vmatrix}D_{11} & D_{12}\\ D_{12} & D_{22}\end{vmatrix}\begin{Bmatrix}\tilde{1}/r\\ \tilde{\varepsilon}_0\end{Bmatrix}, \quad (1)$$

где D_{ij} (i, j=1, 2) – коэффициенты жесткости, определяемые при нагрузке по известным формулам [3];

$\tilde{1}/r$ и $\tilde{\varepsilon}_0$ – кривизна и деформация выбранной оси Z на начало разгрузки.

Выделим на схемах две зоны I и II. В зоне I двухзначная эпюра напряжений в бетоне: на участке x_c – напряжения сжатия (высота сжатой зоны не вычисляется по отдельной формуле, а определяется из условия равновесия), на участке x_{bt} – напряжения растяжения (диаграммный метод позволяет учесть напряжения растяжения в вершине трещины). Зона II равна высоте трещины $h_т$, в которой напряжения в

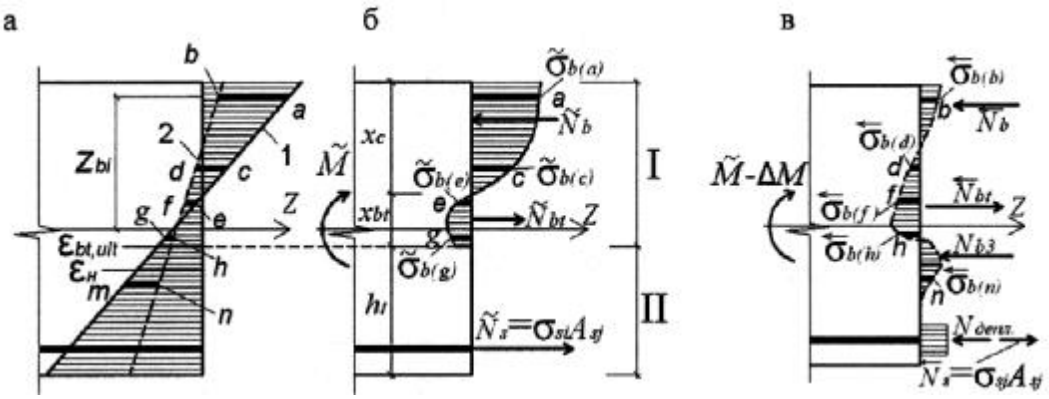


Рис. 1. Схема распределения деформаций (а) и напряжений по высоте сечения в вершине цикла (б) и при разгрузке (в)

бетоне равны нулю. Условной границей двух зон являются некоторые предельные деформации на растяжение $\varepsilon_{bt,ult}$.

При разгрузке линия средних деформаций изменяет свое положение: уменьшаются средние деформации бетона и арматуры (рис. 1а, линия 2), угол наклона. Эпюра напряжений в сечении с трещиной трансформируется и при моменте $M = \tilde{M} - \Delta M$ в сечении можно выделить напряжения на четырех участках (рис. 1в). Рассмотрим на схеме распределения средних деформаций некоторые элементарные полоски, на которых отрезками покажем изменения деформации при разгрузке в зоне I (*ab, cd, ef, gh*) и в зоне II (*mn*). Деформациям в зоне I соответствуют напряжения $\tilde{\sigma}_{b(a)}$, $\tilde{\sigma}_{b(c)}$, $\tilde{\sigma}_{b(e)}$, $\tilde{\sigma}_{b(g)}$ на начало разгрузки и $\overset{\S}{\sigma}_{b(b)}$, $\overset{\S}{\sigma}_{b(d)}$, $\overset{\S}{\sigma}_{b(f)}$, $\overset{\S}{\sigma}_{b(h)}$ при снятии нагрузки на величину ΔM. В зоне II по высоте трещины на начало разгрузки напряжения равны нулю. Напряжения от зажатия σ_{b3} при разгрузке начинают возникать от вершины трещины в полосках, где деформации от зажатия берегов трещин $\varepsilon_{b3} \le \varepsilon_н$ и уменьшаются к растянутой грани элемента. В области бетона, прилегающего к арматуре, за счет депланации сечения возможны дополнительные напряжения сжатия при разгрузке и результирующее усилие $N_{депл.}$, приложенное в уровне растянутой арматуры. Поясним характер изменения деформаций в элементарных полосках при разгрузке на диаграммах деформирования бетона (рис. 2). Связи между напряжениями и деформациями в исходной диаграмме и диаграммах разгрузки принимают единообразно по аналогии с описанием диаграммы на сжатие

$$\varepsilon_b = \sigma_b \big/ E_b^0 \nu_b, \qquad (2)$$

где ε_b, σ_b, E_b^0 – соответственно относительные деформации, напряжения, начальный модуль упругости бетона;

ν_b – коэффициент изменения секущего модуля, который равен отношению линейной части деформаций к общим деформациям.

Единообразие заключается в том, что формула (2) остается справедливой и для диаграмм растяжения, диаграмм обжатия блоков и диаграмм зажатия берегов трещин, где индекс «*b*» заменяется на «*bt*», «*b3*» и «*3*» соответственно и вводятся новые значения параметров для вычисления коэффициентов ν_{bt}, ν_{b3}, ν_3 [1, 3].

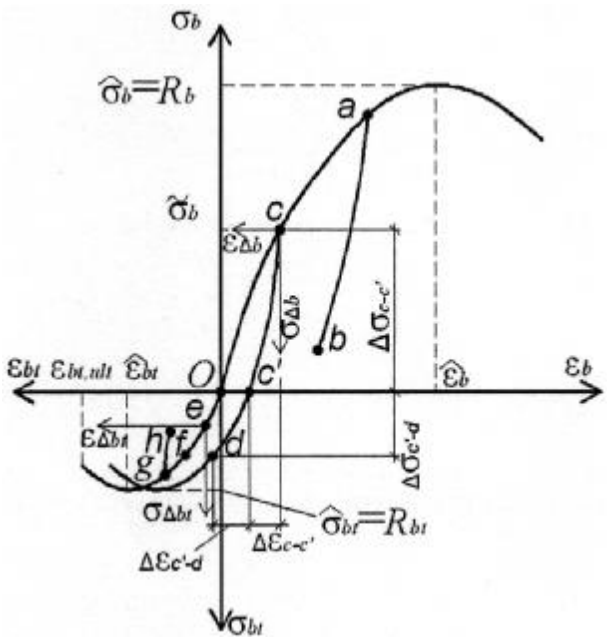


Рис. 2. Диаграммы деформирования бетона

Перенесем со своими значениями деформации $\tilde{\varepsilon}_{b(bt)}$ и напряжения $\tilde{\sigma}_{b(bt)}$ в полосках на исходную диаграмму бетона, сохраняя буквенные обозначения *a, c, e* и *g*. Соответственно, точки *a* и *c* расположатся на диаграмме сжатия, точки *e* и *g* на диаграмме растяжения. Каждая точка на исходной диаграмме определяет начало координат для ветвей разгрузок в осях $\sigma_{\Delta b} - \varepsilon_{\Delta b}$ и $\sigma_{\Delta bt} - \varepsilon_{\Delta bt}$ с направлением, противоположным исходным (индекс «Д» указывает, что расчет ведется в приращениях). При снятии нагрузки в полоске *a* по линии *ab* деформации и напряжения по модулю уменьшаются, сохраняя свой знак (на диаграмме кривая *ab*); в полоске *c* по линии *cd* деформации и напряжения изменяют свой знак «сжатие-растяжение» (на диаграмме кривая *cd*); в полоске по линии *ef* деформации и напряжения растяжения увеличиваются (на диаграмме растяжения участок кривой *ef*); в полоске *gh* растягивающие деформации и напряжения уменьшаются без изменения знака (на диаграмме кривая *gh*).

Криволинейный характер диаграммы разгрузки учитывает необратимость части нелинейных деформаций, накопленных при нагружении как на сжатие, так и на растяжение. В момент образования трещин в растянутой зоне II железобетонных элементов под нагрузкой бетон между трещинами удлиняется, а между берегов трещин сохраняются некоторые бетонные связи. При снятии нагрузки происходит закрытие трещин, а при некоторых деформациях $\varepsilon_н$ (деформациях начала зажатия) берега трещин приходят в соприкосновение и через связи начинается обжатие

бетона напряжениями σ_{b3} (рис. 1в). Связь между напряжениями σ_{b3} и приращениями деформаций от начала зажатия $\varepsilon_{\Delta b3} = \varepsilon_{b3} - \varepsilon_н$ осуществляется через переменный модуль обжатия E_{b3}:

$$E_{b3} = \frac{\sigma_{b3}}{\varepsilon_{b3} - \varepsilon_н} = \frac{\sigma_{b3}}{\varepsilon_{\Delta b3}}. \qquad (3)$$

Деформации $\varepsilon_{\Delta b3}$ на участке с трещинами включают в себя деформации блока между трещинами $\varepsilon_{\Delta b}$ и деформации зажатия связей берегов трещин $\varepsilon_{\Delta 3}$:

$$\varepsilon_{\Delta b3} = \varepsilon_{\Delta 3} + \varepsilon_{\Delta b} = \frac{\sigma_{b3}}{E_b^0}\left(\frac{1}{\nu_3} + \frac{1}{\nu_b}\right) = \frac{\sigma_{b3}}{E_{b3}};$$

$$E_{b3} = E_b^0 \frac{\nu_3 \nu_b}{\nu_3 + \nu_b}; \ \varepsilon_{\Delta b3} = \varepsilon_{b3} - \varepsilon_н, \qquad (4)$$

где $н_з$ – коэффициент изменения секущего модуля деформаций бетона вследствие зажатия берегов трещины. По структуре формула для определения коэффициента $н_з$ аналогична формуле для определения коэффициента $н_b$, изменяются лишь входящие параметры [3].

Уравнение равновесия внешних сил и внутренних усилий при разгрузке может быть записано в виде конечных приращений:

$$\Delta M = \sum_i \Delta\overset{s}{\sigma}_{bi} A_{bi} z_{bi} + \sum_i \sigma_{b3i} A_{bi} z_{bi} + \sum_j \Delta\overset{s}{\sigma}_{sj} A_{sj} z_{sj};$$

$$0 = \sum_i \Delta\overset{s}{\sigma}_{bi} A_{bi} + \sum_i \sigma_{b3i} A_{bi} + \sum_j \Delta\overset{s}{\sigma}_{sj} A_{sj}, \qquad (5)$$

где i – номер бетонного участка; j – номер стержня арматуры; A_{bi} и A_{sj} – площадь i-ого участка бетона и j-ого стержня арматуры; z_{bi} и z_{sj} – координата центра тяжести i-ого участка бетона и j-ого стержня арматуры относительно выбранной оси Z.

Слагаемые $\sum_j \Delta\overset{s}{\sigma}_{sj} A_{sj} z_{sj}$ и $\sum_j \Delta\overset{s}{\sigma}_{sj} A_{sj}$ включают в себя усилия в растянутой арматуре и усилия от депланации при разгрузке в радиусе величины защитного слоя.

Определяющее физическое соотношение (1) записывается в форме приращений с заменой $\{M\}$ на $\{ДM\}$, $[D]$ на $[D_д]$ и $\{e\}$ на $\{Де\}$. Коэффициенты матрицы жесткости могут быть записаны в виде

$$D_{11}^{\Delta} = \sum_i A_{bi} z_{bi}^2 \overset{s}{E}{}^0_{\Delta bi} \overset{s}{\nu}_{\Delta bi} + \sum_i A_{bi} z_{bi}^2 E_{b3i} + \sum_j A_{sj} z_{sj}^2 E_s \overset{s}{\nu}_{\Delta sj};$$

$$D_{12}^{\Delta} = D_{21}^{\Delta} = \sum_i A_{bi} z_{bi} \overset{s}{E}{}^0_{\Delta bi} \overset{s}{\nu}_{\Delta bi} + \sum_i A_{bi} z_{bi} E_{b3i} + \sum_j A_{sj} z_{sj} E_s \overset{s}{\nu}_{\Delta sj}$$

$$D_{22}^{\Delta} = \sum_i A_{bi} \overset{s}{E}{}^0_{\Delta bi} \overset{s}{\nu}_{\Delta bi} + \sum_i A_{bi} E_{b3i} + \sum_j A_{sj} E_s \overset{s}{\nu}_{\Delta sj} \qquad (6)$$

В системе уравнений (6) $\overset{s}{E}{}^0_{\Delta bi} \overset{s}{\nu}_{\Delta bi} = \overset{s}{E}_{\Delta bi}$ – секущий модуль деформаций бетона на ветвях разгрузки (для напряжений растяжения индекс «*b*» заменяется на «*bt*»). Начальные модули деформаций $\overset{s}{E}{}^0_{\Delta bi}$ принимают свои значения: при уменьшении по модулю напряжений до смены их знака (*ab*, *cc*', *gh*) в виде $\overset{s}{E}{}^0_{\Delta bi} = E_b^0 / \tilde{\nu}_{bi}$; при увеличении по модулю напряжений (*c'd*, *ef*) в системе координат $\sigma_{\Delta bt}$ - $\varepsilon_{\Delta bt}$ определяется как касательный $\overset{s}{E}{}^{\kappa 0}_{\Delta bti}$ в начальной точке.

Связь напряжений в растянутой арматуре в трещине со средними деформациями при разгрузке определяется через коэффициент $\overset{s}{\psi}_{\Delta s}$, учитывающий работу растянутого бетона на участке между трещинами (по аналогии с коэффициентом ψ_s при нагрузке), величина которого принимается постоянной и равной значению на начало разгрузки $\overset{s}{\psi}_{\Delta s} = \tilde{\psi}_s$.

Расчетная схема распределения напряжений при разгрузке может видоизменяться в зависимости от максимальных уровней нагружения и насыщения сечения арматурой, в том числе с увеличением участка растягивающих напряжений в зоне I и возможным образованием трещин в сжатой зоне бетона.

Схема расчета деформаций включает четыре блока *A*, *B*, *C*, *D* (рис. 3). В блоке *A* вводятся исходные данные по геометрическим характеристикам нормального сечения, армированию и режиму нагружения. В блоках *B* и *C* выполняется расчет нормального сечения

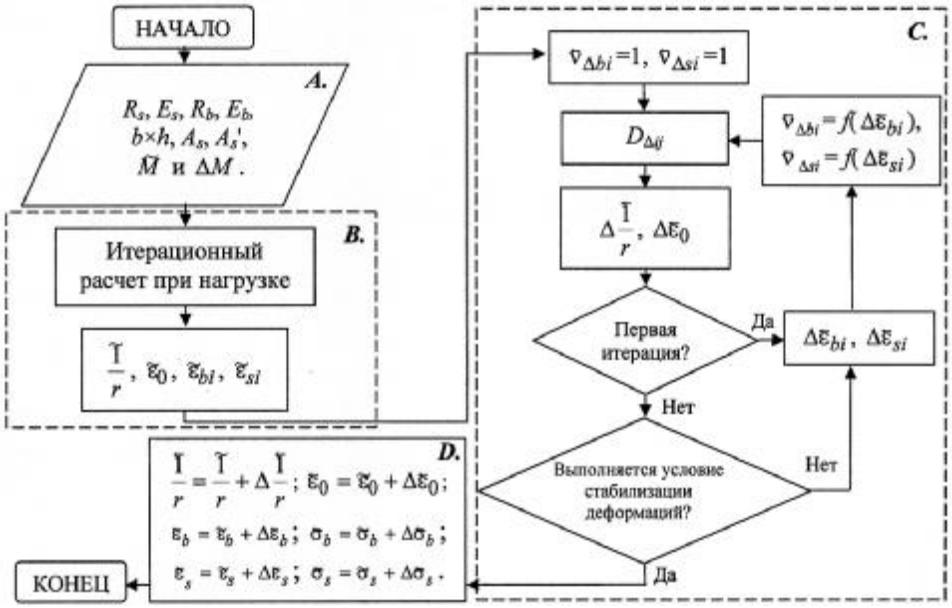


Рис. 3. Блок-схема расчета кривизны изгибаемого железобетонного элемента при нагрузке и разгрузке
A – ввод исходных данных, B – расчет при нагрузке, C – расчет при разгрузке в приращениях,
D – определение полных деформаций и напряжений

при нагрузке на момент $\tilde{M}$ и при разгрузке на момент ΔM в приращениях соответственно. В блоке *D* путем алгебраического суммирования значений из расчетных блоков *B* и *C* определяются полные значения деформаций и напряжений.

Для проверки изложенных теоретических положений были проведены специальные экспериментальные исследования. Исследования проводились на балочных образцах сечением *b*x*h*=12x20 см и пролетом *l*=240 см, изготовленных по технологии завода ЖБИ из тяжелого бетона класса В30. Нагружение осуществлялось двумя равными силами, приложенными в третях пролета. Всего было изготовлено и испытано 12 балок.

Для проведения экспериментальных исследований была запроектирована и изготовлена рычажная установка (рис. 4). Нагрузка создается наполнением водой грузовых емкостей и передается на испытываемую балку через два силовых рычага. В установке предусмотрена дозированная подача воды в емкости, определение величины силы непосредственно в точках ее приложения на образец и страховочные домкраты.

Испытаниям подвергались образцы двух серий, различающиеся степенью насыщения арматурой: в первой серии в качестве рабочей арматуры использовали стержни периодического профиля диаметром 8 мм (μ=0,48 %), из стали класса А400

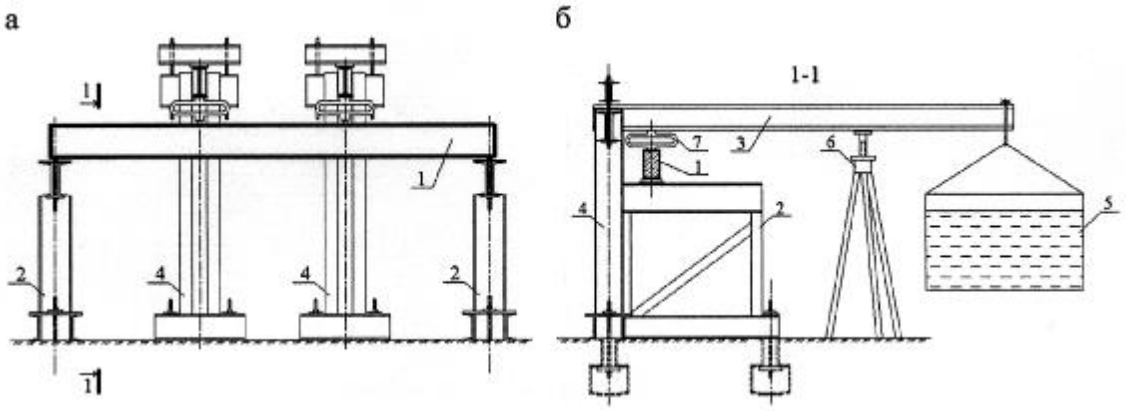


Рис. 4. Схема установки
а – общий вид; б – разрез; 1 – испытываемый образец; 2 – опорная стойка балки; 3 – грузовой рычаг;
4 – опорная стойка рычага; 5 – грузовая емкость; 6 – страховочный домкрат; 7 – динамометр ДОС-5

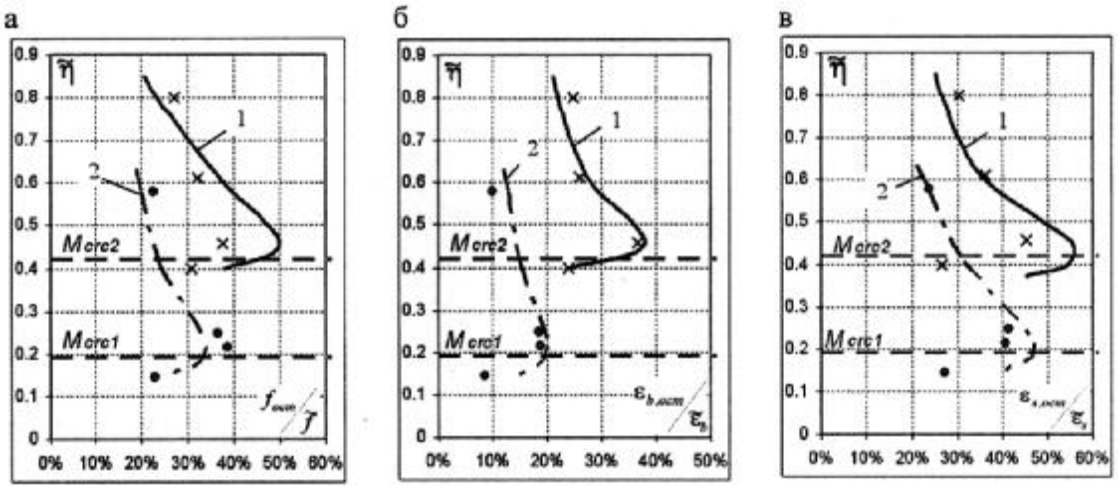


Рис. 5. Относительные деформации от величины изгибающего момента $\tilde{\eta}$ на начало разгрузки
1 – расчет, × – опытные данные для балок серии 1; 2 – расчет, ● – опытные данные для балок серии 2;
M_{crc1} и M_{crc2} – опытный момент трещинообразования для балок серии 1 и 2, соответственно

(марки 35ГС), во второй серии диаметром 12 мм (μ =1,08 %) из стали того же класса. В верхней и нижней зонах сечения образцов устанавливали по два стержня, причем в верхней зоне диаметр арматуры для обеих серий был равен 8 мм ($\mu^{/}$ =0,48 %).

Прочностные и деформационные характеристики бетона и арматуры устанавливали по данным испытаний на сжатие стандартных образцов-кубов 15х15х15 см, призм 15х15х60 см и арматурных стержней на растяжение.

В процессе испытаний балок фиксировались средние деформации крайнего волокна бетона сжатой зоны, арматуры в растянутой и сжатой зонах на базе 500 мм, максимальные прогибы в пролете, распределение деформаций по высоте сечения в трещине и между трещинами с помощью тензодатчиков на базе 50 мм.

Испытания балок производились в режиме кратковременных нагружений, время цикла 60 мин. Часть балок каждой серии испытывалась до разрушения, и определялась величина предельного момента (M_{p1}= 7,28 кН·м – для балок серии 1 и M_{p2}= 17,3 кН·м – для балок серии 2). Уровни максимальных моментов в циклах $\tilde{M}$ назначались из условия работы рабочей арматуры в упругой области, включая разгрузку балок без трещин $\tilde{M} < M_{crc}$ и с трещинами $\tilde{M} > M_{crc}$. Для единства и удобства сравнительного анализа опытных и расчетных величин деформаций балок с разным процентом армирования, результаты представлены в относительных координатах $\tilde{\eta} = \tilde{M} / M_p$ и $f_{ост} / \tilde{f}$, $\varepsilon_{b,ост} / \tilde{\varepsilon}_b$ и $\varepsilon_{s,ост} / \tilde{\varepsilon}_s$, где в числителе – остаточные деформации при полном снятии активной нагрузки, в знаменателе – максимальные в вершине цикла (рис. 5, а-в).

При разгрузке часть деформаций в балках не восстанавливается: в балках без трещин за счет нелинейных свойств бетона, в балках с трещинами включается механизм зажатия берегов трещин. Наибольшая доля остаточных деформаций составляет при снятии нагрузок близких к моменту трещинообразования. С ростом максимальных моментов в цикле относительные величины деформаций уменьшаются, хотя по абсолютной величине увеличиваются. С ростом процента армирования балок доля остаточных деформаций уменьшается, хотя характер изменения относительных деформаций в рассматриваемом диапазоне нагрузок сохраняется (смещение экстремумов объясняется существенной разницей в величинах разрушающих нагрузок и соответственно $\tilde{\eta}_{crc1} > \tilde{\eta}_{crc2}$). Результаты расчета удовлетворительно соответствуют опытным данным, что свидетельствует об обоснованности принятых расчетных предпосылок. По показаниям тензодатчиков и приборов на бетоне и арматуре построены линии распределения деформаций по высоте сечения, которые согласуются с расчетными.

Для каждой величины Д*М* в сечении с трещиной формируются усилия со своими значениями. При полной разгрузке Д*М*= $\tilde{M}$ расчетным путем получены величины усилий и построены их графики в зависимости от уровня максимальных моментов $\tilde{M}$ (рис. 6). В каждом уровне нагружения $\tilde{\eta}_i$ сумма усилий равна нулю, что подтверждает равновесие усилий в сечении с трещиной.

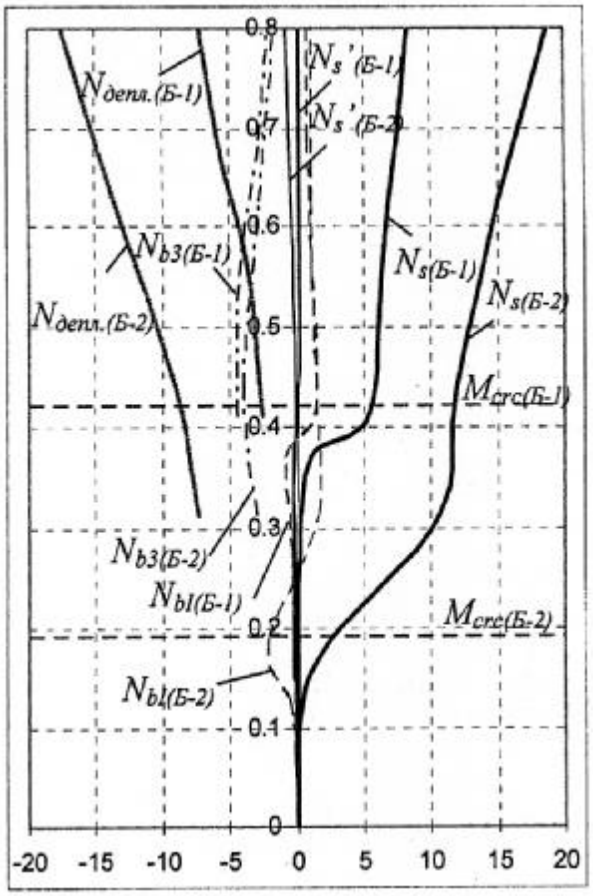


Рис. 6. Расчетные остаточные усилия в сечении с трещиной

Предложенная в работе методика позволяет оценивать эксплуатационные параметры изгибаемых железобетонных элементов после полной или частичной разгрузки. Дальнейшее развитие деформационной модели с учетом диаграмм деформирования материалов при повторных нагрузках открывает возможность проведения количественной оценки снижения жесткости железобетонного элемента после однократного или немногократного нагружения, а также прогнозировать работу конструкций и изменение напряженно-деформированного состояния нормальных сечений при последующей эксплуатации.

Литература

1. Карпенко Н.И. Общие модели механики железобетона. – М.: Стройиздат, 1996. – 412 с.
2. Ерышев В.А., Тошин Д.С. Диаграмма деформирования бетона при немногократных повторных нагружениях // Известия вузов. Строительство, 2005, №10. – С. 109-114.
3. Карпенко Н.И., Ерышев В.А., Мухамедиев Т.А., Кузнецов А.В. Расчет железобетонных стержневых конструкций при немногократных повторных и знакопеременных нагрузках. – Тольятти: ТПИ, 1989. – 112 с.
4. Ерышев В.А. Метод расчета деформаций железобетонных стержневых и плитных конструкций при повторных, знакопеременных и других видах сложного нагружения // Дис. … д-ра техн. наук. – М., НИИЖБ, 1997. – 353 с.

УДК 624.014

А.В. Исаев – кандидат технических наук, ассистент
И.Л. Кузнецов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой металлических конструкций и испытания сооружений
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ВАРИАНТНОСТЬ КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ СИНТЕЗЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОНСТРУКТИВНОГО РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СТАЛЬНЫХ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ

АННОТАЦИЯ
В статье рассматривается обзор и влияние критериев оптимальности на выбор рационального конструктивного решения на примере стальных стропильных ферм покрытия. Указывается на многообразие критериев, в числе которых могут быть не только нормативные технико-экономические показатели, но и частные интересы участников инвестиционной системы, существенно влияющих на выработку компромиссного решения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Конструкции, надежность, критерии оптимальности, технико-экономические показатели.

A.V. Isaev – candidate of technical sciences, assistant
I.L. Kuznesov – doctor of technical sciences, professor, chief of the Metal Designs and Test of Constructions department
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

VARIANCE OF OPTIMALITY CRITERIA AT SYNTHESIS OF RATIONAL CONSTRUCTIVE SOLUTION BASED ON STEEL ROOF TRUSSES EXAMPLE

ABSTRACT
This article reviews the survey and influence of optimality criteria on the choice of rational constructive solution based on example of cover system consisted of steel roof trusses. The variety of criteria, among which may be not only normative technical-economic indicators, but also the private interests of investment system parties, significantly influencing on the compromise decision making, is described.

KEYWORDS: Building constructions, reliability, optimality criteria, technical-economic indicators.

На современном этапе развития строительного производства разработано достаточно большое количество вариантов металлических конструкций (МК). При реализации инвестиционного проекта возникает проблема выбора оптимального конструктивного решения, разрешаемая на сегодняшний день посредством использования нормативных ТЭП, а также известных методов оптимального и вариантного проектирования, реализующих традиционные критерии выбора: материалоемкость конструкций, трудоемкость их изготовления, технологические возможности изготовления и монтажа, возможность членения конструкций, стоимость и эксплуатационные затраты и т.п. На основании подобных критериев определяются требования к геометрии и очертанию конструкции; требования завода-изготовителя, связанные с технологичностью и трудоемкостью изготовления; требования транспортных и монтажных организаций и т.п. При этом, существующие ТЭП и методы оптимального проектирования приводят к формированию области эффективных решений, высоко оцениваемых по определенным показателям. Сделать же правильный выбор варианта конструктивного решения, отвечающий требованиям всех участников инвестиционного проекта при использовании традиционных критериев, является достаточно сложной задачей. Критерии эффективности (оптимальности), выражающиеся в интересах участников инвестиционного проекта, требуют их классификации, а также рассмотрения схем взаимодействия участников инвестиционного проекта. Очевидно, что стремление наиболее полного удовлетворения одного или нескольких критериев при

разработке проекта неизбежно должны приводить к угнетению или невыполнению других показателей [1]. Это приводит к необходимости правильного назначения совокупности критериев выбора, а также оценки их весовых показателей при решении задач. Однако, при всей развитости методов математического программирования и вычислительных средств, следует отметить сложность задач оптимизации в многокритериальной постановке, разработанных для наиболее простых конструкций на основе цикличного процесса решения большого числа задач с использованием частных критериев. Это обусловлено существованием неформализуемых критериев и усредненного характера коэффициентов, входящих в функциональную зависимость описания конструктивных форм. Кроме того, формализация по какому-либо синтезированному критерию, например, по приведенным затратам, может привести к ошибочному результату, поскольку, включая в себя частные критерии, требует правильного их согласования [3], а также прогнозирования их изменчивости в процессе функционирования системы.

Особенно сложным в применении даже частных критериев является решение проектных задач уникальных зданий и сооружений, в силу проявления конфликтных ситуаций между участниками инвестиционного проекта и отсутствием опыта их проектирования. Сказанное проиллюстрируем на примере разработки конструктивного решения большепролетных ферм покрытия пролетом 42 и 50 м, используемых для перекрытия пространств одинакового функционального назначения. Рассматривая в качестве исходных данных разницу в отметках установки опорных узлов, принадлежащих одной ферме h=6,0 м, а также создание криволинейной поверхности покрытия, исходя из требований архитектурного замысла (рис. 1), оптимальная высота стропильной фермы может быть назначена по экономическим соображениям из условия наименьшего веса. Исходя из решения рассматриваемой задачи, оптимальная высота фермы, характеризуемая минимальным расходом стали, составляет h_{opt}=8,0 м. Однако рассматриваемое покрытие потребовало образования одностороннего уклона для обеспечения организованного отвода атмосферных осадков. Исходя из данных условий, через две опорные точки можно определить необходимые кривые очертания, которые будут ограничены кривой покрытия, например, уравнением окружности или параболы (с учетом требований трудоемкости изготовления) и линией нижнего пояса, отвечающей предельной высоте и членения конструкций из условий транспортировки, а также из функциональных условий обеспечения внутреннего пространства с превышением нижнего пояса в середине пролета фермы относительно опорного узла $H_{ср}$=2,0 м (отметка 14,00 м). При указанных ограничениях наиболее рациональная конструкция будет определяться из условия постоянства распределения усилий в поясах при высоте поперечного сечения фермы, удовлетворяющей условиям транспортного габарита: $h_ф=h_{тр}$=3,85 м, образования шарнирных соединений опорных узлов и обеспечения деформативного критерия, при котором минимальная высота фермы составляет $h_{ф\,min}$= 3,70 м.

Однако описанные функциональные ограничения приводят к уменьшению сечения ферм в середине пролета до $h_ф$= 2,80 м, а увеличение высоты фермы за счет очертания верхнего пояса приводит к образованию обратного уклона (очертание нижнего пояса на стадии формирования конструктивного решения ограничено превышением $H_{ср}$). При удовлетворении требований внутреннего пространства возникает необходимость повышения отметок опирания ферм на колонны, но данное решение не приемлемо для конструкторов смежных разделов, а также с позиции повышения энергозатрат на эксплуатацию дополнительно-образуемого объема. Исходя из данных ограничений, которые, как видно, находятся в противоречии, определены варианты стропильных ферм с криволинейным верхним поясом

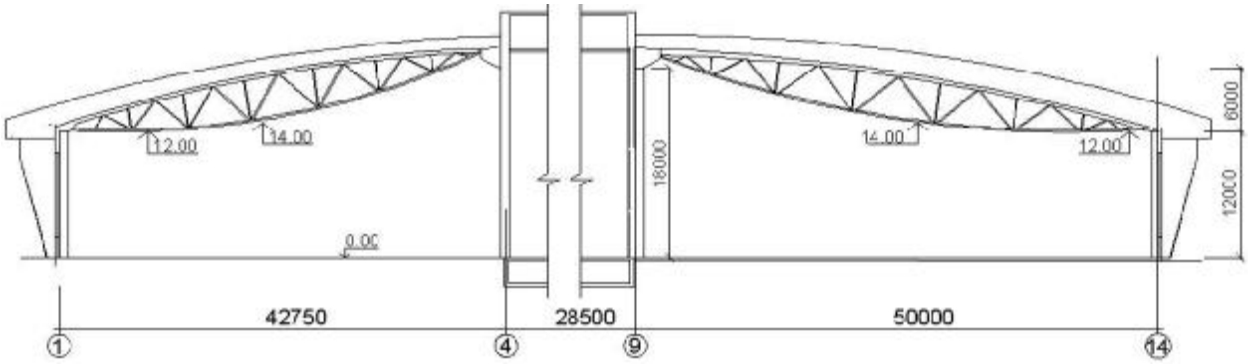


Рис. 1. Общая схема покрытия в соответствии с требованиями архитектурной выразительности и функциональных требований обеспечения внутреннего пространства

Рис. 2. Варианты конструктивных решений стропильных ферм пролетом 50 м

по радиусу окружности (рис. 2):

I-й вариант: с ломаным нижним поясом и равным шагом панелей раскосов;

II-й вариант: с ломаным нижним поясом и шагом панелей, определенным из оптимального угла наклона раскосов;

III-й вариант: с криволинейным нижним поясом и шагом панелей, определенным из оптимального угла наклона раскосов.

Очертание верхнего пояса по радиусу окружности принято в соответствии с интересами завода-изготовителя, поскольку при рассматриваемых пролетах радиус кривизны верхнего пояса соответствует предельному прогибу замкнутых элементов [2]: $R=l^2/(400D)$, где l-длина элемента верхнего пояса, D-характерный размер замкнутого профиля.

Учитывая шаг установки ферм b=7,8 м, необходимо определить конструктивное решение прогонного покрытия с минимальным расходом стали, которое позволит откорректировать конструктивное решение стропильных конструкций. Исходя из решения данной задачи, наиболее рациональным оказалось решение прогонов по неразрезной равнопрогибной или равномоментной (рис. 3) схеме работы с расходом стали $g_{прог}$=11,0 кг/м^2. Вариант однопролетной схемы работы прогонов приводит к перерасходу стали 2,5 кг/м^2 (22 %).

Однако стоит отметить, что показатели расхода стали для профильных сечений в современных условиях ценообразования не несут объективной информации, поскольку стоимость металлопроката может существенно отличаться в зависимости от калибра сечения при неизменных классах стали, специализации поставщиков, территориального района строительства с определенной развитостью номенклатуры профилей. Это приводит к необходимости учета локальной стоимости (стоимости по прайс-листу) элементов конструкций, а также мониторинга динамики изменения цен по индивидуально-сформированному банку поставщиков. На рис. 4 приведена стоимость металла прогонов 1 м^2 покрытия, выполненных из прокатного швеллера в зависимости от калибра сечения (приведенная для наглядности к стоимости наименьшего из рассматриваемых сечений).

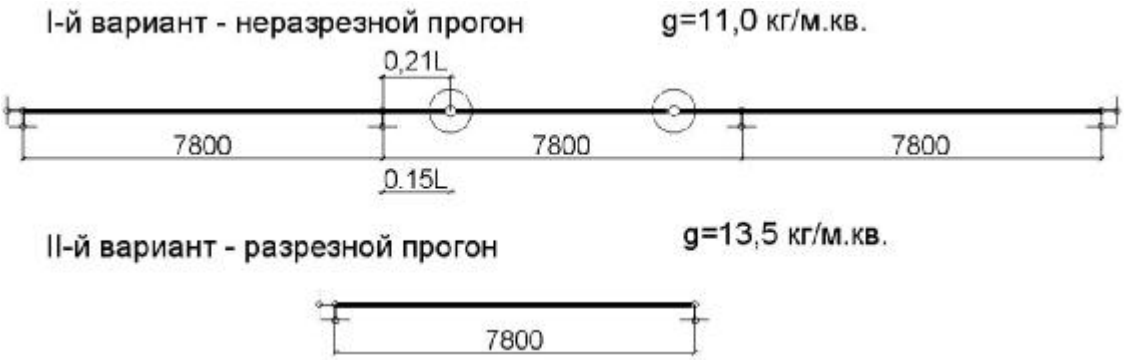


Рис. 3. Варианты конструктивных решений прогонов

Из диаграммы стоимости профилей по различным фирмам-поставщикам можно отметить, что при использовании стоимости сечений рассматриваемых профилей металлопроката на прогоны покрытия указанный перерасход металла может быть нивелирован стоимостью применяемых вариантов на 1 м^2 площади с учетом трудоемкости монтажа прогонов и технических возможностей монтажной организации. Действительно, использование в данном случае швеллера № 27 по неразрезной схеме может быть нерационально относительно использования более простой однопролетной схемы с применением швеллера № 30 при закупке металла в фирме № 2, поскольку разница в стоимости металлопроката составляет 4%. В таком случае процесс принятия наиболее эффективного варианта должен проводиться по согласованию требований остальных участников проекта. Кроме того, следует отметить общую динамику увеличения цены металлопроката с увеличением сечения, что требует учета при рассмотрении вариантов решений (например, учет развития пластических деформаций). К примеру, стоимость швеллера № 24 на 7-24 % меньше стоимости швеллера № 27.

Зачастую же проектная организация не рассматривает вопросы стоимостного обоснования (принимая в качестве критерия только расход материалов), полагаясь на наиболее отработанный вариант проектов-аналогов либо привязки типовых решений. Причина такого подхода, по мнению [3], заключается в интересах самой проектной организации, поскольку экономический эффект для нее может быть получен только за счет снижения себестоимости проектных работ, а, следовательно, в условиях существующего ценообразования в проектировании невыгодно заниматься поиском новых конструктивных решений.

Рассматриваемое конструктивное решение стропильной фермы в виде плоскостной конструкции требует обеспечения ее боковой устойчивости, а также разработки мероприятий по обеспечению пространственной жесткости каркаса. При этом расход стали на конструкции связей по покрытию (по верхнему поясу) составляет 10-11,5 кг/м^2 на связевый блок. Кроме того, рассматриваемое решение стропильных ферм требует дополнительных монтажных элементов, необходимых для раскрепления ферм в процессе монтажа (учитывая вес стропильных ферм G = 18-20,5 т.), что для монтажной организации при сложившейся материальной базе и технологии монтажа является ухудшающим фактором (отметим, что с позиции монтажной организации наиболее рациональной является конструкция, имеющая наименьшую массу, минимальное количество отправочных элементов и допускает использование сравнительно недорогих монтажных механизмов). Однако такая конструкция наиболее проста с позиции завода-изготовителя в сравнении с пространственной системой.

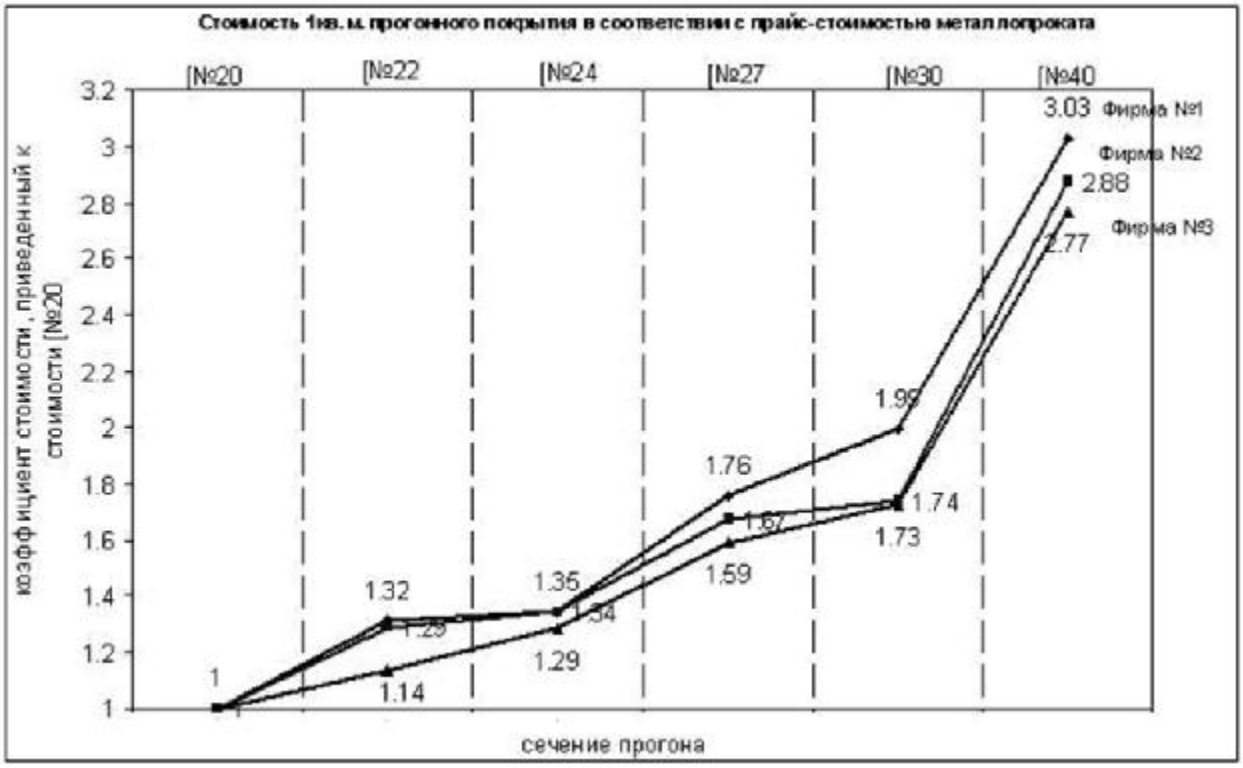


Рис. 4. Стоимость 1 м^2 прогонного покрытия по прайс-стоимости фирм-поставщиков в зависимости от калибра сечения прогонов

С другой стороны, учитывая уровень усилий в элементах фермы, для плоскостной конструкции возникает необходимость перехода на прокатные профили двутаврового сечения, поскольку применение в данном случае сечений из круглых или профильных труб нецелесообразно с позиции их стоимости, а также технологичности применения (в действительности, применение толстостенных труб больших диаметров, имеющихся в сортаментах, ограничено технологией их изготовления, что в итоге существенно отражается на их стоимости). Действительно, применение прокатных двутавровых профилей в указанных фермах приводит к сокращению их стоимости на 10-14% при увеличении веса ферм на 3-7%, а, учитывая требования конструирования узловых соединений ферм из труб, где сечения элементов решетки принимаются не только из условий прочности и устойчивости, но и из условия продавливания (по соотношению диаметров пояса и решетки), стоимость последних существенно вырастет при неоправданном расходе металла. К примеру, теоретическая масса ферм [4] из профильных и круглых труб соответственно, определенных по критерию прочности-устойчивости, составляет: $G_{ф.\,теор.}$ = 10,5-11,7 т. Окончательный вес ферм с учетом конструктивных требований составит: $G_{ф.\,факт.}$ = 13,8-16,7 т. В такой постановке рассматриваемый вариант фермы удовлетворяет требованиям завода-изготовителя. Однако существенный недостаток указанных конструктивных схем заключается в необходимости выполнения укрупнительных фланцевых стыков на высокопрочных болтах, устанавливаемых по периметру замкнутых профилей. Это приводит к необходимости применения листового проката толщиной до 60 мм при использовании стали повышенной прочности с гарантированными физико-механическими свойствами, что в свою очередь осложняет сварочные работы крепления фланцев к основному металлу поясов и влияет на надежность работы покрытия. Кроме того, данный стык неприемлем с позиции архитектурных требований.

Из сказанного видно, что рассматриваемые по рис. 2 конструктивные схемы ферм неприемлемы (варианты стропильных ферм с определением расхода стали приведены в табл.) для участников проекта по различным показателям, основными из которых являются:

- критерий надежности, характеризующий вероятность безотказной работы конструкции;
- критерий несущей способности, обеспечивающий необходимую прочность и устойчивость при соответствующем расходе материалов и затратах труда на изготовление и монтаж;
- технологические критерии трудоемкости изготовления и монтажа, сочетающие себестоимость конструкций в деле;
- критерии расхода материалов и приведенных затрат;
- критерий габаритных размеров;
- антропологический критерий, характеризующий эргономичность, архитектурную выразительность и т.п.

Кроме того, рассматривая предельные случаи перехода в пространственные конструкции в виде балки (рис. 5а) коробчатого сечения с оптимальной высотой h_{opt} = 5,80 м и минимальной высотой h_{min} = 3,73 м и пространственной рамы Г-образной рамы (рис. 5б), расход стали на конструкции получен соответственно $g_{бал}$ = 112,7 кг/м^2, $g_{рам}$ = 44,0 кг/м^2.

В результате же согласования интересов завода-изготовителя, монтажной организации, функциональных и архитектурных требований, а также интересов участников смежных разделов разработан компромиссный вариант стропильной фермы (рис. 6).

Стропильная ферма выполнена в виде пространственной конструкции с верхним поясом из двух труб на расстоянии 2 м друг от друга и

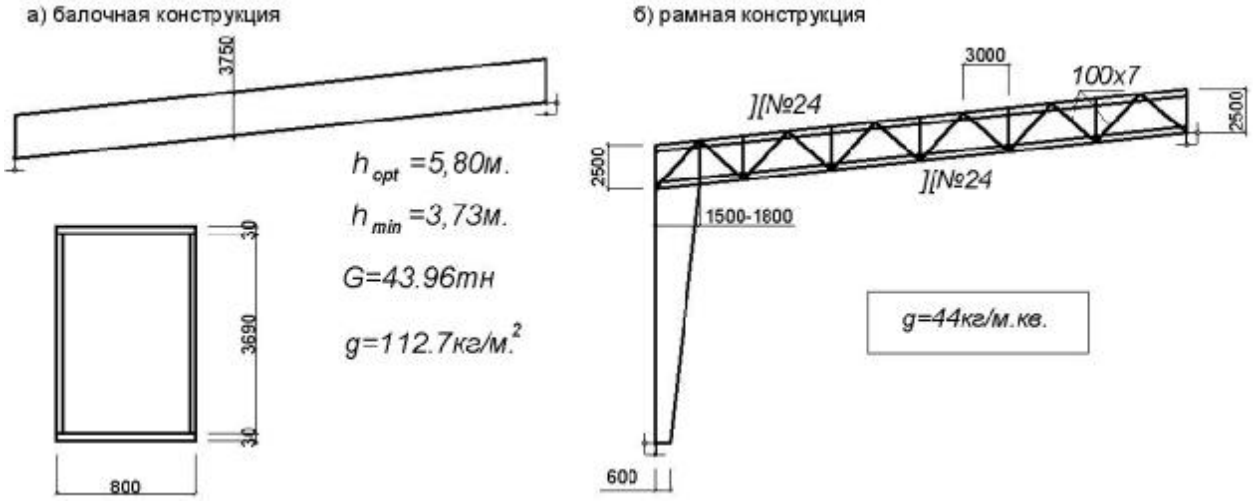
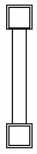


Рис. 5. Варианты конструктивных схем: а) балочная, б) рамная конструкция

Таблица

Сравнение вариантов стропильных ферм в виде плоскостных конструкций

Поперечное сечение фермы	Вес фермы, кг	Расход стали, кг/м^2	Прогиб фермы, мм	Примечание / сечение
1	**2**	**3**	**4**	**5**
Вариант I (по рис. 2)				
	17253,9	44,24	144,1	Пояса – труба D, решетка – труба d. d/D ≥ 0,3
	19266,1	49,4	127,1	Пояса – труба D, решетка – труба d. d/D ≥ 0,3, D/t = 30-35
	15800	40,5		Пояса – труба, решетка – прокатные уголки
	20250	51,92	160,6	Пояса – труба профильная, решетка – труба профильная
	16200	41,5		То же без учета конструктивных требований узловых соединений
Вариант II (по рис. 2)				
	16961,8	43,49	147,5	Пояса – труба D, решетка – труба d. d/D ≥ 0,3
	18800	48,2	125,24	Пояса – труба D, решетка – труба d. d/D ≥ 0,3, D/t=30-35
	15150	38,8		Пояса – труба, решетка – прокатные уголки
	20486	52,53	164,35	Пояса – труба профильная, решетка – труба профильная
	16500	42,3		То же без учета конструктивных требований узловых соединений
Вариант III (по рис. 2)				
	16700	46,2		Тр. 450x14 Тр. 325x12 Тр. 159x6 Тр. 127x5
	13800	35,4		Гн. 300x12 Гн. 250x12 Гн. 160x6 Гн. 100x5

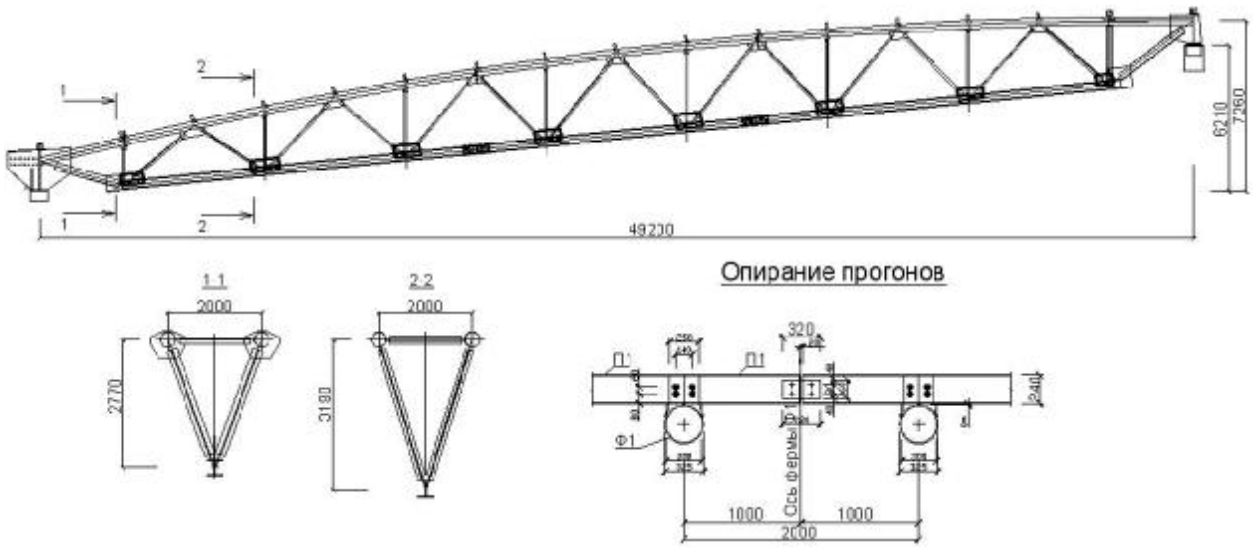


Рис. 6. Вариант стропильной фермы

прямолинейным нижним поясом из прокатного двутавра, образующих в сечении треугольную конструкцию.

Рассматривая требования завода-изготовителя, критерий надежности и несущей способности в сочетании с требованиями архитектурной выразительности и функциональных требований, нижний пояс фермы выполнен в виде прямого стержня из прокатного двутавра.

Это позволило снизить затраты на продольный гиб поясов, а также сократить поперечные габариты монтажных соединений, переориентировав фланцевые стыки (с работой болтов на растяжение) на постановку боковых накладок с работой болтов на срез, что в итоге повышает надежность работы фермы. Учитывая требования монтажной организации, верхний пояс выполнен в виде горизонтальной плоской фермы, обеспечивающей устойчивость всей конструкции в процессе монтажа, но увеличивает вес фермы и дополнительные затраты на изготовление. При этом, изменяя статическую схему работы прогонов покрытия расход стали на них составил $g_{прог} = 9{,}0$ кг/м^2, с снижением стоимости металлопроката на 22 %.

Из сказанного следует отметить, что большинство из показателей, выражающихся в требованиях сторон, находятся в противоречии, являясь при этом трудно формализуемыми в математической постановке задачи поиска оптимальной конструктивной формы. Очевидно, что получаемое конструктивное решение, удовлетворяющее традиционным критериям оптимальности, может быть неприемлемым в условиях конкретной задачи, отличающейся наличием определенных и многообразных связей между участниками, реализующими проект, а также наличием частных интересов участников. При этом традиционные показатели, действительно, оказывают существенное влияние на разработку конечного варианта, ограничивая область поиска оптимального решения. Следовательно, проблему выбора оптимального конструктивного решения необходимо рассматривать не только в классической постановке как задачи параметрического синтеза по заданному критерию, но и как процесс согласования интересов участников инвестиционной системы с выработкой критериев, позволяющих получить компромиссное решение.

Литература

1. Кузнецов И.Л. Выбор оптимального конструктивного решения в системе легких металлических конструкций: учебное пособие. – Казань: Каз. инж.-строит. институт, 1990. – 89 с.
2. СП 53-101-98. Изготовление и контроль качества стальных строительных конструкций / Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1999.
3. Коклюгина Л.А. Оценка и выбор конструктивного решения металлических конструкций для реализации инвестиционного проекта: автореф. дис... кандидата техн. наук. – Казань: КГАСА, 2000. – 21 с.
4. Лихтарников Я.М. Вариантное проектирование и оптимизация стальных конструкций. – М.: Стройиздат, 1979. – 319 с., ил.

УДК 624(075.8)+519.673(075.8)+51(075.8)

И.Ю. Майстренко – кандидат технических наук, ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ НА ОСНОВАНИИ ИМИТАЦИОННОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАГРУЖЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

В работе представлена концепция оценки остаточного ресурса металлических конструкций мостов, основанная на имитационном статистическом моделировании процесса нагружения. Показана технология оценки ресурсных параметров на примере комбинации нагрузка-прочность-износ-среда, которая позволяет учитывать случайный характер изменения во времени силовых воздействий на конструкцию, прочностных свойств материала, процессов деградации расчетных элементов и индивидуальных особенностей эксплуатируемых сооружений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Остаточный, ресурс, оценка, металлический, мост, имитация, статистический, моделирование.

I.Yu. Maystrenko – candidate of technical sciences, assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE PREDICTION OF RESIDUAL RESOURCE OF METAL CONSTRUCTIONS OF BRIDGES ON THE BASIS OF IMITATION STATISTICAL SIMULATION OF PROCESS OF THE FREIGHTING

ABSTRACT

The conception of estimation of the residual resource of metal constructions of bridges is presented. This conception is based on the imitational statistical simulation of freighting process. The technology of estimation of resource parameters on the example of the combination of stress-strength-damage-environment is shown; this allows considering the accidental character of changes over the time in relation to force impact on construction, to mechanical properties of material, to processes of rated elements degradation, and to individual features of used constructions.

KEYWORDS: Residual, resource, estimation, metal, bridge, imitation, statistical, simulation.

Остаточный ресурс металлических конструкций мостов следует оценивать на основе анализа развития у них за время эксплуатации определяющих параметров и параметров деградации.

Определяющие параметры характеризуются случайными процессами нагружения конструкции. Например, изменение за время эксплуатации значений нормативной нагрузки и интенсивности нагружения конструкции, изменение расчетной схемы моста вследствие появления дополнительных усилий из-за геологических, гидрологических, оползневых и сейсмических явлений.

Под процессом деградации будем понимать постепенное ухудшение параметров, характеризующих физическое и напряженно-деформированное состояние мостовых конструкций в процессе эксплуатации. К таким параметрам относятся: остаточные прогибы и деформации, скручивание, коррозионный износ и выпучивание стенки пролетных балок, явления старения и усталости металла, развитие трещиноподобных дефектов и т.п.

Учитывая, что остаточный ресурс представляет собой случайную величину, решение задачи его прогнозирования может дать содержательную оценку только в вероятностном аспекте.

Общий подход при оценке остаточного ресурса эксплуатируемой стальной конструкции состоит в разработке вероятностной модели оценки надежности элементов и доказательстве того, что в течение некоторого времени не будет достигнуто одно из

расчетных предельных состояний. Таким образом, остаточный ресурс длительно работающей стальной конструкции определяется отдельно для всех расчетных предельных состояний, а за остаточный ресурс металлоконструкции в целом принимается минимальное значение.

Выбор расчетных предельных состояний для оценки остаточного ресурса металлических конструкций должен производиться индивидуально для каждого моста. После некоторого срока эксплуатации техническое состояние элементов моста изменяется, соответственно изменяется и ресурс, но должна оставаться необходимая вероятность того, что остаточный ресурс будет выше требуемого уровня надёжности.

Запишем условие, при котором металлическая конструкция не исчерпала свой ресурс за время эксплуатации t:

$$Q_{\Omega}(t) \le [Q(t)], \qquad (1)$$

где: $Q_{\Omega}(t)$ – вероятность опасных отказов по предельному состоянию с условием Ω; $[Q_{\Omega}(t)]$ – допустимое значение вероятности рассматриваемого отказа.

Для определения $[Q_{\Omega}(t)]$ потребуется оценить величину индекса риска от возможных последствий при отказе конструкции по этому предельному состоянию, ремонтопригодности конструкции или возможности замены расчетных элементов, вероятного характера разрушения. В рамках данной работы процедуры определения $[Q_{\Omega}(t)]$ не рассматриваются, а приняты исходя из общих требований к анализу видов, последствий и критичности отказов технических объектов всех видов, установленных ГОСТ 27.310-95 [1] и ГОСТ Р 51901.12-2007 [2].

Рассмотрим основы подхода к оценке левой части неравенства (1). Очевидно, что при решении поставленной задачи мы имеем дело с ситуацией, когда интересующие нас характеристики не являются элементарными функциями внешних характеристик модели. В этом случае представляется наиболее удобным использование метода «имитации» или «Монте-Карло» [3, 4].

Для наглядности рассмотрим процедуру выполнения имитационного статистического моделирования на примере комбинации нагрузка-прочность-износ-среда. В качестве примера выбрана сварная двутавровая главная балка разрезного пролетного строения длиной 42 м, материал конструкции – сталь 09Г2С по ГОСТ 19281-89.

Будем считать, что внешние характеристики расчетной модели установлены: начальные – из проектных решений; фактические – в ходе обследования технического состояния моста через 25, 30 и 35 лет эксплуатации. То есть $t \in [t_1,...,t_i,...,t_j]$.

Вначале составим аналитическую модель, характеризующую изменение интенсивности нагружения конструкции во времени $w(t)$. Для этого следует использовать данные мониторинга по оценке интенсивности движения транспортных средств на данном участке автодороги, а затем выбрать наиболее подходящую прогнозную модель (графическим или расчетным путем, например, по коэффициенту детерминации [5]). Исходные данные об интенсивности движения транспортных средств за время эксплуатации моста следующие: на момент постройки – 25, через 25 лет – 45, через 30 лет – 55 и через 35 лет – 65 транспортных средств за 1 час. В нашем случае рассмотрены прогнозные модели в виде двух линейных функций (по сумме квадратов и по сумме модулей отклонений) и степенной функции. Окончательно принимаем аналитическую модель вида $w(t) = 24{,}967 + 0{,}031 \cdot t^{2{,}02}$.

Для определения количественных показателей коррозионных потерь расчетного сечения выполняется инструментальный контроль неразрушающими методами. Наиболее существенным является изменение толщины сечения элементов. При описании изменчивости начальных и фактических значений толщины поясов и стенки главной балки использован равномерный закон распределения случайной величины в пределах допусков на размеры проката и границ доверительных интервалов. Порядок квантиля для принятого уровня достоверности интервальной оценки составляет t_b =1,729. Полученные результаты сведены в таблицу.

Силовые воздействия на конструкцию за время эксплуатации характеризуются следующими данными: проектная подвижная нагрузка А11, НК-80 [6] сохранялась в течение 34 лет с момента постройки моста, спустя 35 лет внесено изменение требований по нагрузке до А14, НК-100 [7]; среднее значение изгибающего момента от расчетной постоянной нагрузки m_q = 8260,45 $кН \cdot м$, коэффициент вариации n_q = 2,5%.

Статистические исходные данные об удельной прочности стали 09Г2С, использованной для изготовления главных балок, принимаем из результатов экспериментальных исследований, полученных в период постройки моста и представленных в работе [8]: при толщине проката 10-20 мм среднее значение предела текучести m_T = 362,0 МПа, стандарт Δ_T = 22,5 МПа, коэффициент вариации n_T = 6,2 %.

Переходим к следующей ступени, где каждую группу случайных внешних характеристик модели j_k подвергаем регрессионному анализу [5] и выбираем

Таблица

Элемент расчетного сечения	Номинальное значение	Статистические исходные данные, мм							
		На момент ввода в эксплуатацию		Через 25 лет		Через 30 лет		Через 35 лет	
		a_i	b_i	m_i	Δ_i	m_i	Δ_i	m_i	Δ_i
Верхний пояс	14,00	13,20	14,20	12,80	0,20	12,70	0,25	12,70	0,28
Нижний пояс	20,00	19,20	20,20	19,80	0,17	19,70	0,22	19,70	0,28
Стенка	12,00	11,20	12,20	11,70	0,20	11,60	0,25	11,60	0,35

В таблице приняты обозначения: a_i и b_i – нижняя и верхняя граница равномерного распределения случайной величины; m_i и Δ_i – среднее значение и стандарт нормального распределения случайной величины.

наиболее подходящие функции регрессии, с учетом детерминированной $r_k(t)$ и случайной $e_k(t_i, b)$ составляющей:

$$f_{\pm}(j_k, t, b) = r_k(t) \pm e_k(t_i, b), \qquad (2)$$

где b – заданный уровень достоверности расчетной оценки.

При построении доверительных интервалов для параметров регрессии и всего уравнения (2) в целом нам потребуется определить законы распределения соответствующих величин. Учитывая, что в общем случае для каждой точки времени t_i реализации случайной составляющей $e_k(t_i, b)$ являются асимптотически нормальными и эффективными, то есть имеющими минимальную дисперсию, расчет будем вести с помощью распределения Стьюдента с $t_j - 2$ степенями свободы [5].

Для наглядности на рис. 1 приведены результаты регрессионного анализа выборочных данных толщины верхнего горизонтального пояса главной балки j_{d1} при уровне достоверности b = 0,90. Здесь сплошными линиями показаны линейные функции регрессии, полученные методом наименьших квадратов, а пунктирными – регрессия степенной функцией.

Выбираем регрессию степенной функцией, в которой детерминированные составляющие прогнозной модели выразим системой уравнений (соответственно для нижней и верхней границы значений расчетного параметра):

$$\begin{cases} r_{d1,\inf}(t) = 13{,}2 - 0{,}054 \cdot t^{0{,}693} \\ r_{d1,\sup}(t) = 14{,}2 - 0{,}818 \cdot t^{0{,}152} \end{cases}. \qquad (3)$$

Регрессионный анализ силовых воздействий ведем с учетом перспективного возрастания подвижной нагрузки со временем, при этом используем уравнения взаимодействия, предусмотренные для расчета изгибаемых элементов мостов [6]. Затем полученные выборочные данные о величине изгибающих моментов от трёх основных сочетаний: АК, АК+толпа, НК [6] подвергаем статистической обработке, например, с помощью распределения Стьюдента с $j-1$ степенями свободы [5]. На рис. 2 показаны прогнозные модели изменения силовых воздействий на пролетное строение по моменту в середине пролета от подвижной нагрузки $j_M(t)$.

На третьей ступени выбираем в качестве критерия оценки эксплуатационной надежности главной балки – вероятность разрушения растянутого нижнего пояса от действия нормальных напряжений при изгибе. В этом случае поставленная задача сводится к имитационному статистическому моделированию комбинации нагрузка-прочность-износ-среда, где факт отказа конструктивного элемента $Q(t)$ рассматривается как событие Ω, при котором имеет место превышение случайной реализации нормального напряжения в расчетном сечении $s_x|N(t)$ над случайной реализацией предела текучести стали $s_T|N(t)$ в растянутой зоне расчетного элемента:

$$\Omega \Rightarrow \left[s_x|N(t) > s_T|N(t) \right]. \qquad (4)$$

В процедуре (4) $N(t) \sim w(t) \cdot \Delta t$ – число реализаций, необходимое для проведения численного статистического моделирования процесса нагружения главной балки, определяемое эквивалентно прогнозной

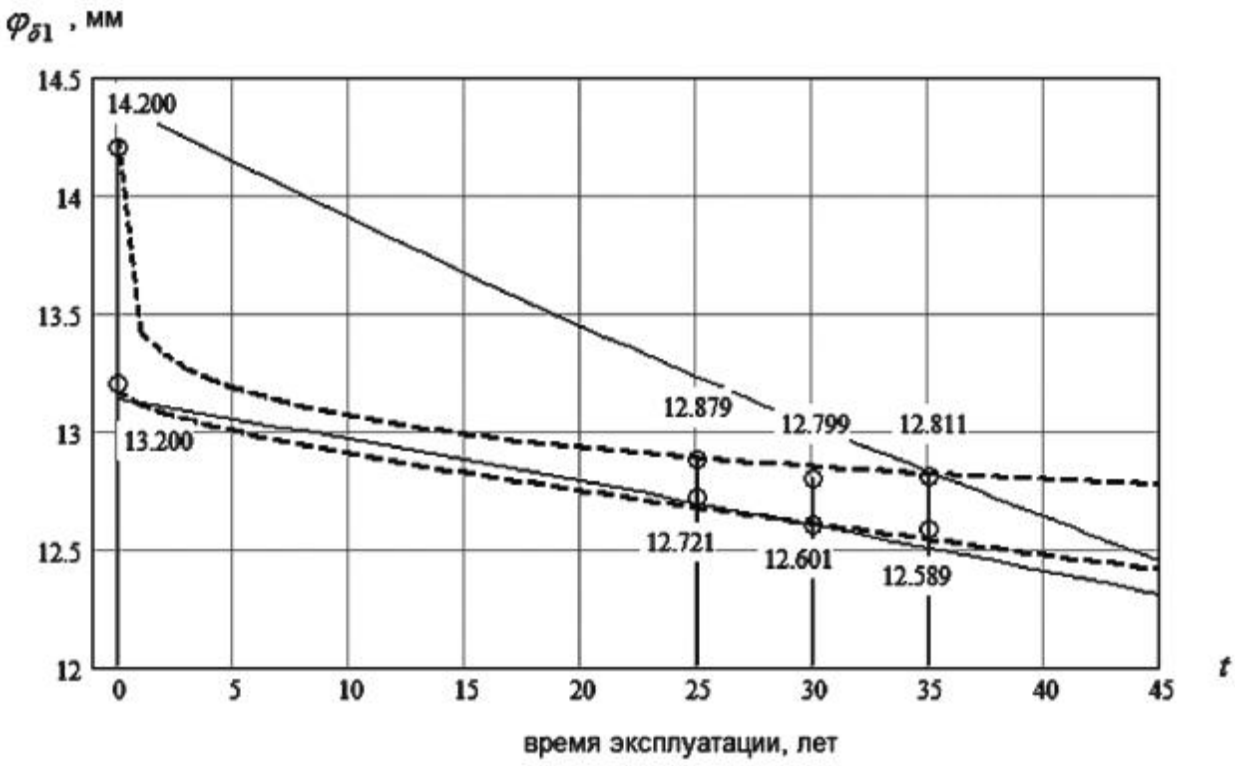


Рис. 1. Результаты регрессионного анализа и прогнозные области значений толщины верхнего горизонтального пояса главной балки

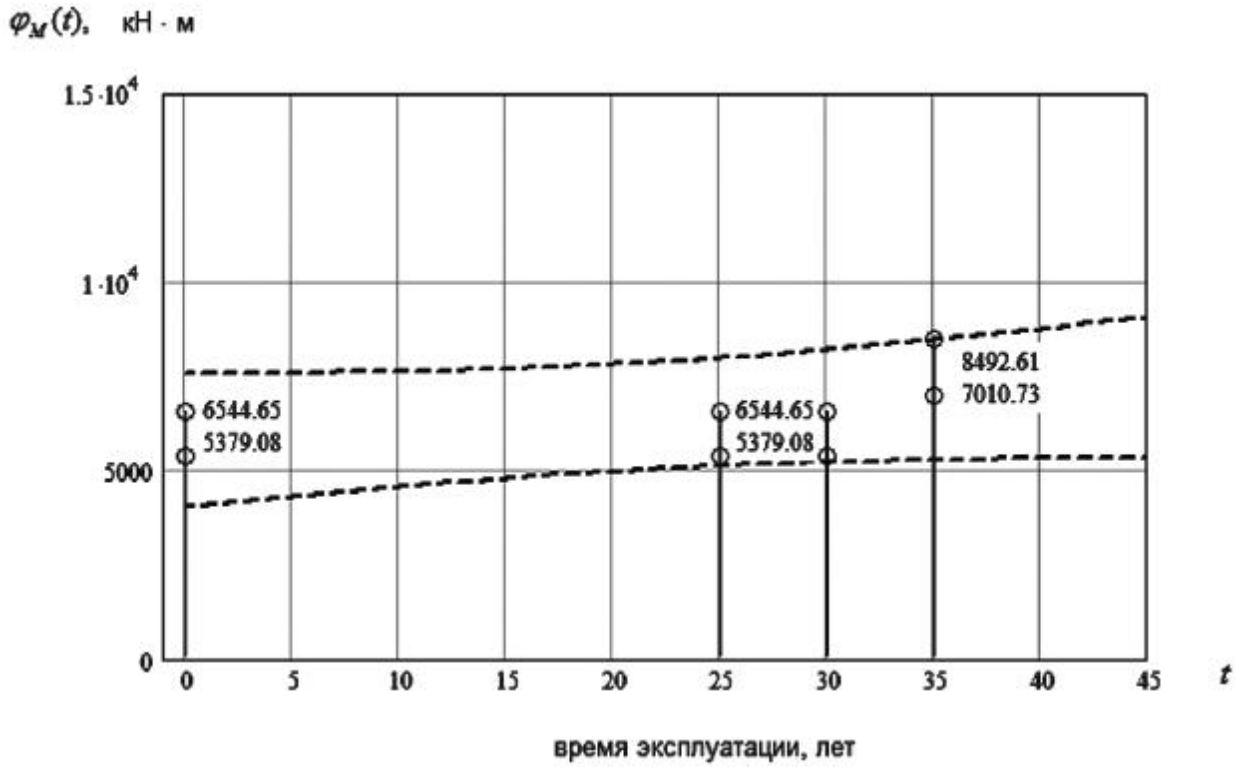


Рис. 2. Прогнозная модель изменения во времени силовых воздействий на пролетное строение (по моменту в середине пролета от подвижной нагрузки)

аналитической модели $w(t)$ и времени Δt, для которого эта процедура выполняется.

Выберем аналитические функции взаимодействия между расчетными параметрами на основе методов строительной механики с учетом требований, предъявляемых к расчету металлических конструкций мостов [6]:

$$s_x \big| N(t) \sim \frac{j_M(t) + j_q(t)}{j_c(t) \cdot j_W(t)} \big| N(t), \qquad (5)$$

$$s_T \big| N(t) \sim j_T(t) \big| N(t), \qquad (6)$$

где: $j_q(t) \sim f\left(m_q(t), \Delta_q(t)\right)$ – функция изменения во времени изгибающего момента от действия постоянной нагрузки; $j_W(t) \sim f(j_1(t), j_2(t), ..., j_k(t))$ – функция изменения во времени момента сопротивления сечения нетто, зависящая от прогнозных моделей соответствующих геометрических характеристик; $j_c(t)$ – функция изменения во времени параметра, учитывающего ограниченное развитие пластических деформаций в сечении; $j_T(t) \sim f\left(m_T(t), \Delta_T(t)\right)$ – функция изменения во времени предела текучести стали.

Оценим вероятность того, что на промежутке времени $t \in [0; t_j]$ произойдет определенное число $n_Q(t) \in \{n_{Q,1}, ..., n_{Q,i}, ..., n_{Q,j}\}$ наступлений события Ω. Будем рассматривать промежуток времени [0; 35] лет, который разобьем на малые интервалы длиной по dt = 1 году. На каждом интервале, используя генераторы случайных чисел программной оболочки MathCAD и разработанные автором логические и аналитические программные блоки, проводим имитационный эксперимент путем численного статистического моделирования процесса нагружения.

Для вычисления вероятности отказов $Q(t)$ воспользуемся зависимостью, представленной в работе [9], где доказано, что для непрерывных распределений, то есть при $N(t) \to \infty$, выражение для определения вероятности отказа конструктивного элемента имеет вид:

$$Q(t) = \frac{n_Q(t)}{N(t)}, \; N(t) \neq 0, \; Q(t_{i+1}) \geq Q(t_i). \qquad (7)$$

Итак, после выполнения процедуры (4) для каждого интервала dt и соответствующих вычислений по формуле (7), получим множество значений вероятности отказа $\{Q_1, ..., Q_i, ..., Q_j\}$, которое определяет значения внутренних характеристик изучаемой комбинации в дискретные моменты времени $\{t_1, ..., t_i, ..., t_j\}$ (столбчатая диаграмма на рис. 3).

Следующая ступень оценки остаточного ресурса предусматривает описание множества значений вероятности отказа с помощью аппроксимирующих функций $f(Q_1 \pm \Delta_{Q,1}, ..., Q_i \pm \Delta_{Q,i}, ..., Q_j \pm \Delta_{Q,j})$, которые учитывают вероятностные отклонения $\Delta_{Q,1}, ..., \Delta_{Q,i}, ..., \Delta_{Q,j}$ случайных точек $Q_1, ..., Q_i, ..., Q_j$:

$$f(Q_1 \pm \Delta_{Q,1}, ..., Q_i \pm \Delta_{Q,i}, ..., Q_j \pm \Delta_{Q,j}) \approx$$
$$\approx f_Q(t, b) = \overline{Q}(t) \pm e_Q(t, b), \qquad (8)$$

где: $\overline{Q}(t)$ и $e_Q(t, b)$ – соответственно детерминированная и случайная составляющие процесса отказов $Q(t)$.

Для рассматриваемого примера получены аппроксимирующие функции $f_Q(t, b)$, в которых детерминированная составляющая представлена степенной функцией $\overline{Q}(t) = 4{,}868 \cdot 10^{-6} + t^{7{,}006}$, а $e_Q(t, b)$ – характеризуется уровнем достоверности интервальной оценки b, равным 0,90 (сплошные линии на рис. 3).

Введем граничное условие для области значений вероятности отказа $[Q_\Omega(t)]$ применительно к комбинации нагрузка-прочность-износ-среда. Исходя из малой вероятности отказа, обусловленной только точностью расчета, согласно ГОСТ 27.310-95 [1] ожидаемая вероятность отказа конструктивного элемента должна находиться в пределах от 0,001 до 0,005. Тогда запишем наиболее невыгодное граничное условие $[Q_\Omega] = 0{,}001$, которое будет являться количественной оценкой правой части неравенства (1). Для упрощения задачи будем полагать, что $[Q_\Omega(t)] = const = [Q_\Omega]$.

С использованием полученных выше аппроксимирующих функций процесса отказов $f_Q(t, b)$ и граничного условия $[Q_\Omega]$ выполнена оценка ресурсных параметров главной балки пролетного строения моста: ресурс в целом Θ_Ω составляет 58 лет, а непосредственно остаточный ресурс $q_\Omega = \Theta_\Omega - t_j$ = 23 года (рис. 4).

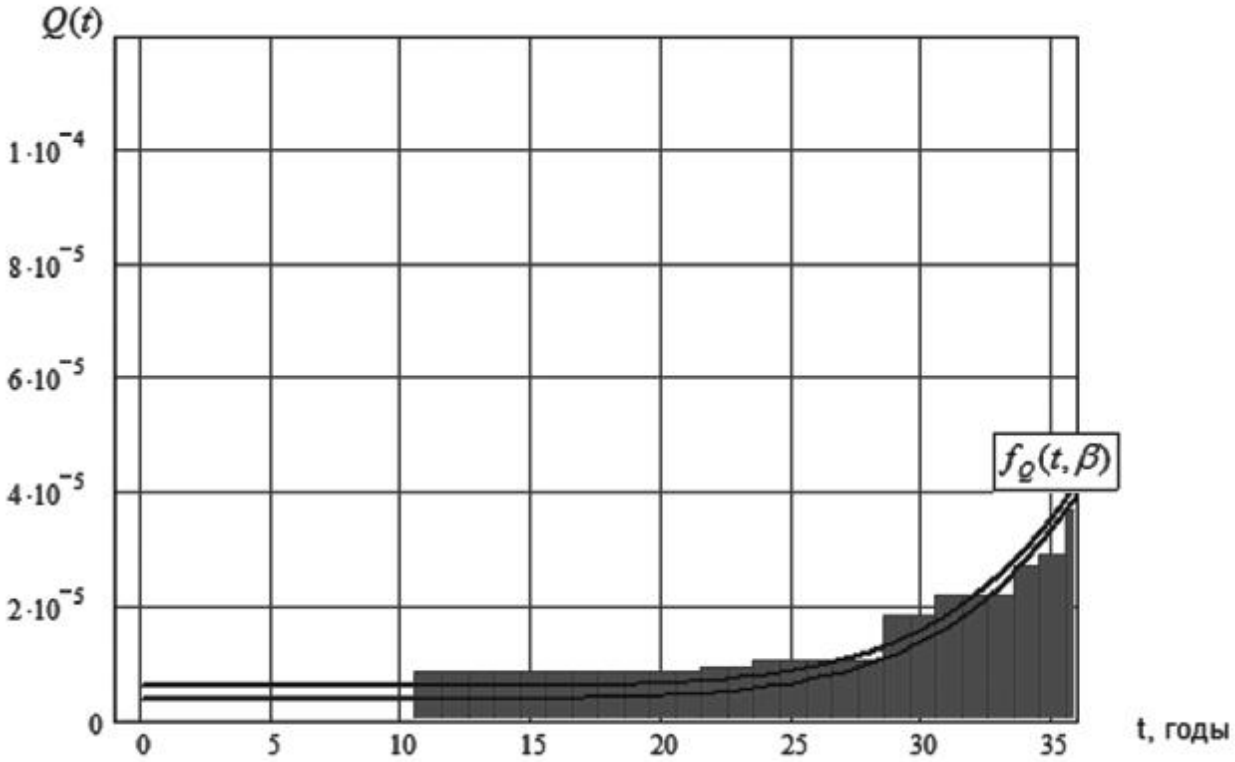


Рис. 3. Результаты численного статистического моделирования процесса нагружения главной балки

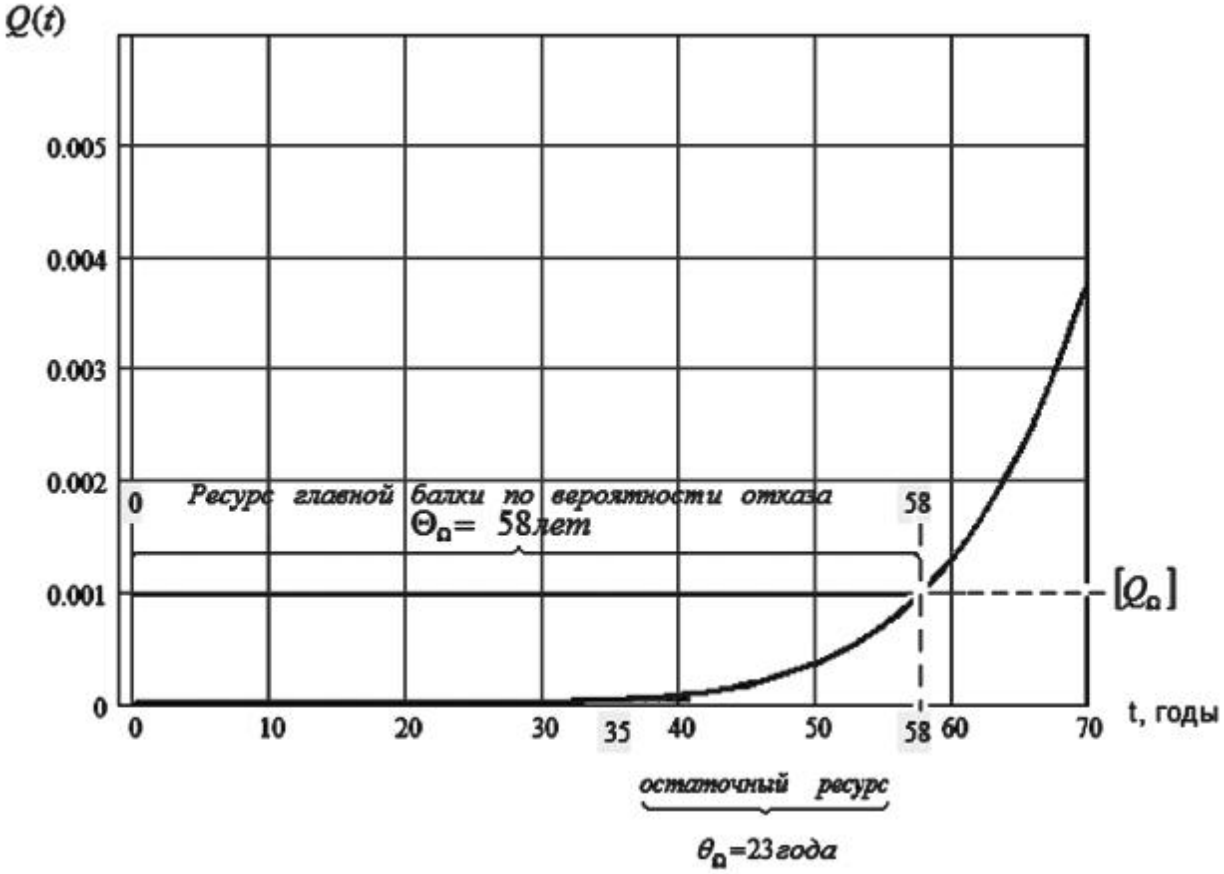


Рис. 4. Результаты оценки ресурсных параметров главной балки

Выводы:

1. Разботана концепция оценки остаточного ресурса металлических конструкций мостов, основанная на имитационном статистическом моделировании процесса нагружения.

2. Рассмотрен пример оценки ресурсных параметров элемента стальной конструкции для комбинации нагрузка-прочность-износ-среда. Проведенный имитационный эксперимент показал, что с вероятностью 0,90 в течение последующих 23 лет несущая способность растянутого нижнего пояса главной балки от действия нормальных напряжений при изгибе обеспечивается.

3. Представленная технология оценки остаточного ресурса, основанная на имитационном статистическом моделировании, позволяет учитывать случайный характер изменения во времени силовых воздействий на конструкцию, прочностных свойств, процессов деградации расчетных элементов и индивидуальных особенностей сооружения.

4. Допустимые вероятности опасных отказов должны быть установлены на основании комплекса расчетно-экспериментальных исследований. В общем случае для количественной оценки вероятности отказа следует использовать величину индекса риска от возможных последствий при отказе конструкции.

Литература

1. ГОСТ 27.310-95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения.
2. ГОСТ Р 51901.12-2007 (МЭК 60812:2006). Менеджмент риска. Метод анализа риска и последствий отказов.
3. Имитационное моделирование: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю.Н. Павловский, Н.В. Белотелов, Ю.И. Бродский. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 236 с.
4. Численное статистическое моделирование. Методы Монте-Карло: учеб. пособие для студ. вузов / Г.А. Михайлов, А.В. Войтишек. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. – 12-е изд., перераб. – М.: Высшее образование, 2006. – 479 с.
6. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы. Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1998. – 214 с.
7. ГОСТ Р 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. – М.: Стандартинформ, 2008. – 8 с.
8. Ишменева Л.Н. Экспериментально-статистическое исследование расчетных сопротивлений сталей повышенной и высокой прочности для строительных металлических конструкций. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. – М., 1978.
9. Майстренко И.Ю. Оценка остаточного ресурса эксплуатируемых стальных конструкций. Автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. – Казань, 2006.

УДК 624.014.072

А.З. Манапов – кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

АННОТАЦИЯ

На основе данных метеостанций, расположенных на территории Республики Татарстан, получены численные характеристики распределений годовых максимумов снеговой нагрузки и их изменений в зимнее время года, необходимые для статистического моделирования выборок значений снеговой нагрузки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Годовые максимумы снеговой нагрузки, высота и плотность снегового покрова.

A.Z. Manapov – candidate of technical science, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

STATISTICAL MODELING OF SNOW LOADING ON TERRITORY OF TATARSTAN REPUBLIC

ABSTRACT

On the basis of data from meteorological stations located on territory of Tatarstan Republic the numerical characteristics of distributions of annual maxima of snow loading and their changes over a winter season are received. Those characteristics are necessary for modeling of samples of snow loading values with the further statistical modeling.

KEYWORDS: Annual maxima of snow loading, height and density of a snow cover.

Наблюдения за осадками в зимнее время в России начали проводиться с конца XIX века, с целью определения накопленной за зимнее время влаги с последующим использованием этих данных для прогнозирования урожая продовольственных сельскохозяйственных культур. Начиная с 30-х годов XX века, эти наблюдения без изменения методики измерений начали использовать для назначения снеговой нагрузки на сооружения. Впервые общегосударственное нормирование снеговой нагрузки сделано в «Единых нормах» 1933 года. Значения снеговой нагрузки по этим нормам принимались в зависимости от района строительства в пределах от 25 до 120 кгс/м^2.

В нормах ОСТ 90058-40 территория СССР была разделена на 5 районов со значениями веса снегового покрова 50, 70, 100, 150, 200 кгс/м^2. В «Нормах и технических условиях проектирования стальных конструкций», НиТУ 121-55 упомянутые выше в ОСТ 90058-40 значения веса снегового покрова стали считать нормативными значениями веса снегового покрова, а переход к расчетным значениям выполнялся путем умножения на коэффициент перегрузки 1,4. В нормах нагрузок СНиП II-А.11-62 ввели уточнения границ территориальных районов, схем распределения снега по поверхности покрытий в зависимости от их профиля. В СНиП II-6-74 введен повышенный коэффициент перегрузки до 1,6 для легких покрытий, применение которого было расширено на все сооружения изменениями в СНиП 2.01.07-85 в 2003 году. В последние годы появились региональные строительные нормы, регламентирующие снеговую нагрузку применительно к особенностям своей территории [2].

В настоящей статье содержатся предложения по статистическому моделированию снеговой нагрузки на территории Республики Татарстан, разработанные на основе имеющихся статистических метеоданных. Республика Татарстан расположена в восточной части Восточно-Европейской равнины, у слияния рек Волги и Камы, включает северную часть Поволжья и соседствует с Предуральем. Большая часть территории находится между 54,5°-56,4° северной широты и 48°-53,5° восточной долготы, общая площадь составляет 68 тыс. км^2, протяженность с запада на восток 400 км, с севера на юг 250 км. В физико-географическом отношении такое положение республики определяет континентальность климата. По рельефу территории наибольших высот над уровнем моря достигает на юго-востоке Бугульминско-Белебеевская возвышенность с высотами 240-380 м, которая на западе постепенно переходит в низменное Западное Закамье с высотами 50-100 м. Западная часть территории республики (правобережье Волги)

Рис. 1. Обрушение покрытия из структурных конструкций зимой 1976 года

Рис. 2. Обрушение каркаса крытого катка в городе Лениногорске РТ в марте 1998 года

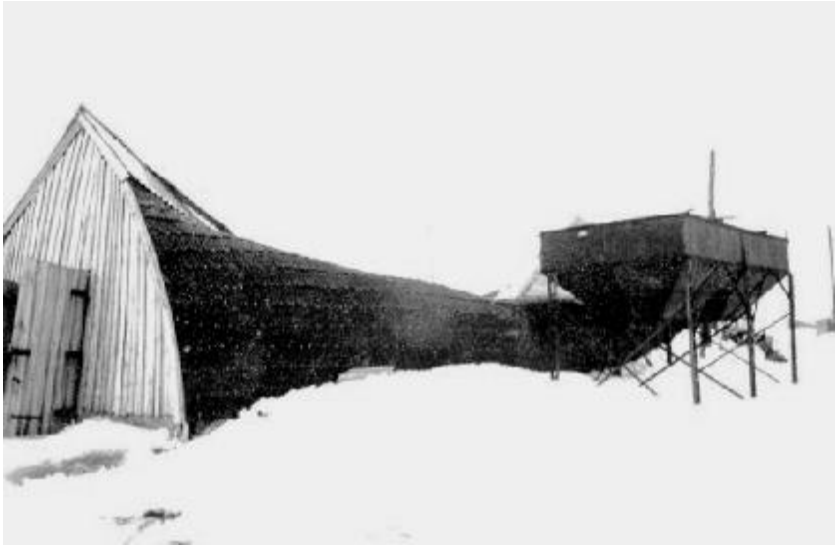


Рис. 3. Обрушение арочного склада сельскохозяйственного назначения зимой 1998 года

Рис. 4. Обрушение кровли одноэтажного жилого дома 7 марта 2006 года

Таблица 1

Станция	Среднее значение (мм)	Максимальное значение (мм)	Минимальное значение (мм)	Среднее квадратическое отклонение (мм)
Агрыз	121,6	218	51	35,78
Арск	116,9	251	58	41,69
Бугульма	143,4	230	71	44,49
Буинск	99,1	191	43	35,09
Елабуга	139,7	259	70	45
Казань	140,9	241	68	45,59
Кукмор	113,2	223	68	38,82
Лаишево	137,2	246	68	43,35
Чулпаново	125,6	245	53	36,39
Среднее по РТ	113,7	211	48,5	38,25

Таблица 2

Снеговой район по [3]	Среднее значение веса снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности $\bar{S}_o$, Па (кгс/м^2)	Коэффициент вариации n_f
I	485 (50)	0,45
II	685 (70)	0,40
III	980 (100)	0,35
IV	1470 (150)	0,30
V	1960 (200)	0,30

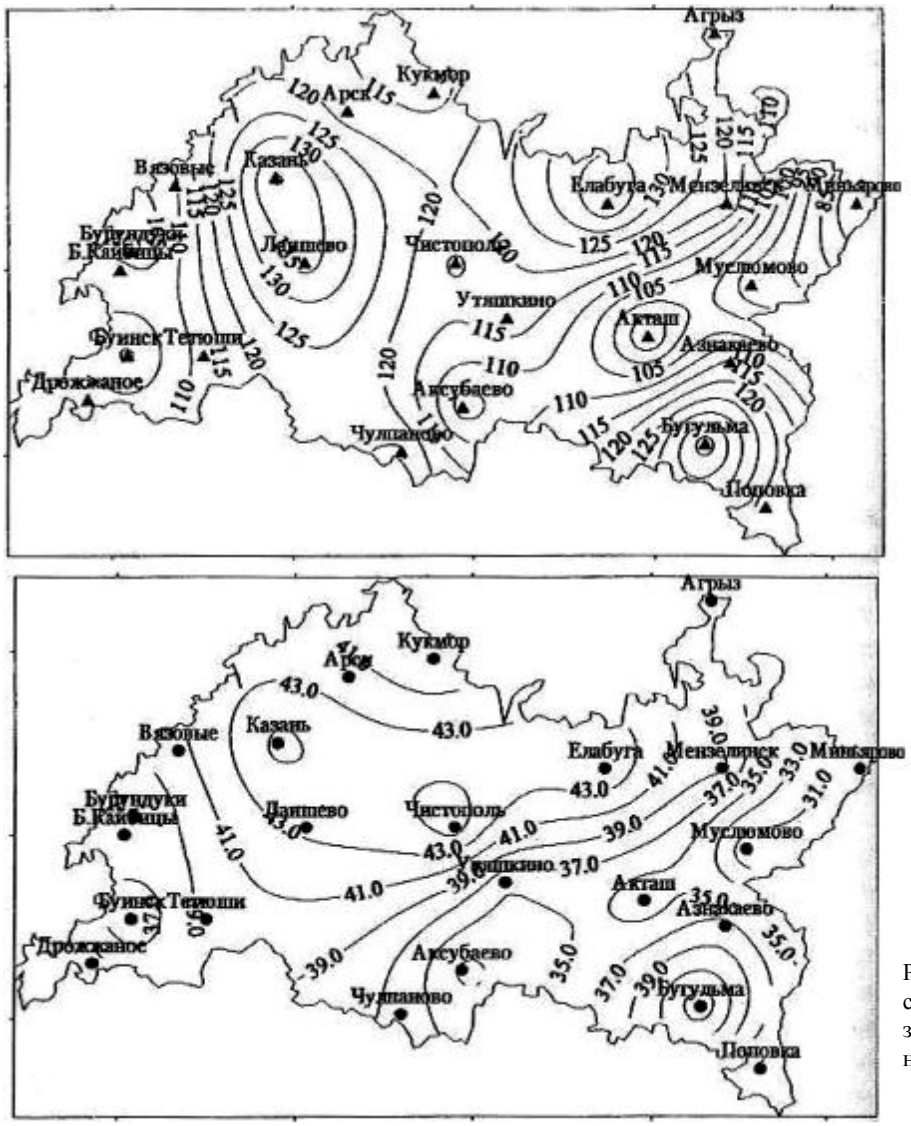


Рис. 5. Средние многолетние и средние квадратические отклонения запасов воды в снежном покрове (мм) на территории РТ за 1961-2001 годы

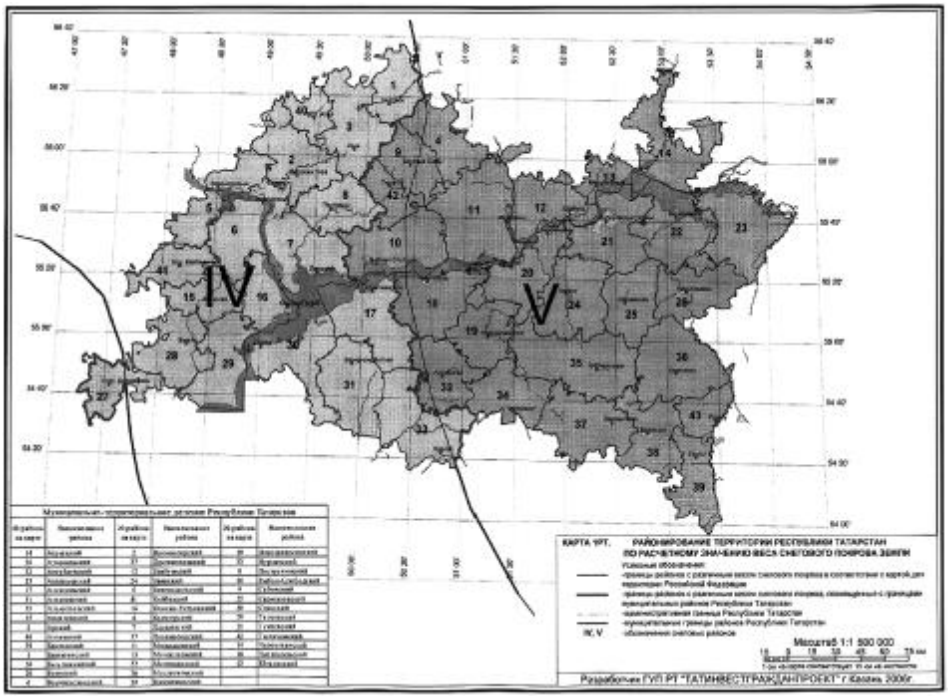


Рис. 6. Районирование территории РТ по снеговой нагрузке

Таблица 3

Месяц года и декада		Наибольшая высота снежного покрова (см)	Плотность снега (кг/м^3)	Запасы воды в снеге (кгс/м^2)	Коэффициент учета изменений запасов воды в снежном покрове
Ноябрь	2	21		22	0,14
	3	24	210	30	0,19
Декабрь	1	33	219	33	0,22
	2	38	210	51	0,33
	3	40	223	61	0,39
Январь	1	49	222	77	0,49
	2	59	238	91	0,59
	3	71	240	102	0,66
Февраль	1	82	247	121	0,78
	2	100	252	138	0,89
	3	116	268	152	0,98
Март	1	111	268	153	0,99
	2	106	291	155	1,00
	3	94	320	148	0,95
Апрель	1	60		122	0,79
	2	18			

представляет собой северные отроги Приволжской возвышенности с высотами 200-260 м. На севере республики, к северо-востоку от долины Волги и к северу от долины Камы, заходят южные окончания возвышенностей Вятских Увалов, Можгинской, Сарапульской.

Основными характеристиками снежного покрова являются продолжительность его залегания, высота, плотность, запас воды в снеге. Высота снежного покрова измеряется по постоянным рейкам ежедневно в утренние часы. Характеристики плотности снега получают в результате обработки наблюдений по плотномеру, который позволяет определить запас воды в снеге. Запасы воды в снеге вычисляют в среднем за декаду

На территории Татарстана в снежные зимы происходит несколько десятков обрушений кровельных конструкций от перегрузки снеговой нагрузкой, некоторые примеры аварий приведены на рис 1-4 . В основном объектами обрушений являются здания сельскохозяйственного назначения, частные постройки или объекты, выполненные с нарушениями правил проектирования, большинство обрушений происходит в 1-2 декадах марта.

Основой для статистического моделирования снеговой нагрузки является распределение годовых максимумов запасов воды в снежном покрове. По данному показателю с использованием генератора случайных чисел можно получить реализацию текущего годового максимума запасов воды в снежном покрове. Умножением текущего годового максимума запасов воды на коэффициент изменений запасов воды в снежном покрове в течение зимы получаем текущие значения запасов воды в снежном покрове на каждую декаду зимнего периода. Параметры распределения годовых максимумов запасов воды в снежном покрове, по данным метеонаблюдений в РТ за 1961-2001 годы, приведены в таблице 1 и на рис. 5. В таблице 2 приведены данные по снеговым районам Российской Федерации [1].

Данные метеонаблюдений в некоторой степени противоречат нормативному делению территории РТ на 4 и 5 снеговые районы (рис. 6).

Распределение наибольшей высоты снежного покрова, плотности снега и запасов воды в снеге и вычисленные по ним коэффициенты изменений запасов воды в снежном покрове в течение зимнего периода приведены в таблице 3.

Коэффициент перехода м от веса снегового покрова на поверхности земли к снеговой нагрузке на покрытие, в соответствии со СНиП 2.01.07-85, может принимать значение от 0 до 4 для зданий и от 0 до 6 для навесов. Назначение коэффициента перехода м содержит много

Таблица 4

Значения запасов воды в снежном покрове (кгс/м^2)	Статистическое моделирование	Результаты наблюдений метеостанции г. Казань
Минимальное	59	68
Максимальное	246	241

неопределенностей и по этой причине логично его представлять также в интервальных оценках.

Для проверки предлагаемых параметров для статистического моделирования снеговой нагрузки на территории Республики Татарстан было выполнено проверочное моделирование годовых максимумов снеговой нагрузки в течение 40 лет для территории города Казани (таблица 4).

Полученные результаты свидетельствуют о хорошей сходимости смоделированных минимальных и максимальных значений годовых максимумов запасов воды в снежном покрове и их фактических результатов наблюдений на территории РТ.

Литература

1. Пособие по проектированию стальных конструкций (к СНиП II-23-81* «Стальные конструкции») // ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.
2. ТСН 20-302-2002 Краснодарского края. Нагрузки и воздействия. Ветровая и снеговая нагрузки.

УДК 624.014.072

А.В. Потапов – аспирант
Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций имени В.А. Кучеренко (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, филиал ФГУП «НИЦ «Строительство»)

УСТОЙЧИВОСТЬ СТАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕЙ ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНОЙ РАБОТЫ МАТЕРИАЛА

АННОТАЦИЯ
Статья посвящена экспериментальному исследованию и совершенствованию методов расчета на устойчивость стальных стержней из массовых видов прокатных профилей с учетом реальной работы материала. На основании экспериментальных и теоретических исследований разработан метод расчета на устойчивость стальных стержней открытого профиля с различными типами поперечных сечений при их работе за пределом упругости (упругопластическая стадия работы) с применением ЭВМ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Устойчивость, метод расчета, численные исследования, экспериментальные исследования, стальные конструкции.

A.V. Potapov – post-graduate student
Central Scientific-Research Institute for Building Constructions named after V.A. Kucherenko Branch FGUP NITS “Stroitelstvo”, TSNIISK named after V.A. Kucherenko

STABILITY OF STEEL RODS OF OPEN SECTION TAKING INTO ACCOUNT THE REAL WORK OF MATERIAL

ABSTRACT
The article is devoted to experimental research and perfection of calculation methods on stability of steel rods from mass types of rolled section taking into account the real work of material. On the basis of experimental and theoretical investigations the calculation method on stability of steel rods of open section with different types of cross currents during their work beyond the limit of tension with computer use is developed.

KEYWORDS: Stability, method of calculation, numerical investigations, experimental researches, steel constructions.

В сложившихся современных условиях повышенные требования к эффективному использованию материальных ресурсов обеспечиваются за счет снижения материалоемкости, стоимости и повышения качества сырья, конечной продукции, а также повышения производительности труда за счет широкого внедрения и применения новых конструктивных решений.

Поэтому исследование резервов несущей способности и внедрение результатов этих исследований в инженерную практику всегда являлось одним из важнейших направлений строительной науки.

Статья посвящена экспериментальному исследованию и совершенствованию методов расчета на устойчивость стальных стержней из массовых видов прокатных профилей с учетом реальной работы материала.

В применяемых в строительстве металлических конструкциях наиболее распространенными типами сечений стержневых элементов являются открытые прокатные и холоднокатаные профили, поэтому основной задачей остается совершенствование методов расчета таких стержней на устойчивость с целью более эффективного использования материала.

В ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко на основании экспериментальных и теоретических исследований разработан метод расчета на устойчивость стальных стержней открытого профиля с различными типами поперечных сечений при их работе за пределом упругости (упругопластическая стадия работы) с применением ЭВМ.

Проблема расчета стержневых элементов, деформируемых за пределом упругости, имеет длительную историю, тем не менее, в современной практике такие расчеты носят приближенный характер, значительно влияя на точность конечных результатов. С возрастающими мощностями современных электронно-вычислительных комплексов появилась

масса возможностей, позволяющих с большой точностью решать сложные задачи, решение которых было затруднено или невозможно.

Разработанный метод расчета на устойчивость стальных тонкостенных стержней основан на синтезе уравнений равновесия внутренних и внешних сил в сечении стержня и уравнений устойчивости. Это дает возможность определить предельную нагрузку для сжатых и сжато-изгибаемых стержней с любой изначально заданной точностью при любой стадии упругопластического деформирования и любой диаграммой «напряжение-деформация».

В реализации данного метода учитывается возможность потери устойчивости, как в стадии упругого деформирования, так и в стадии неупругого деформирования, то есть с учетом развития пластических деформаций.

Вся процедура расчета включает две стадии. На 1-й стадии стержень искривляется под возрастающей нагрузкой. На 2-й стадии выполняется проверка устойчивости полученного деформированного (искривленного) состояния стержня, при этом выявленная неустойчивость свидетельствует о достижении предельной нагрузки.

Анализ деформирования стержня на 1-й стадии вскрывает общую картину развития деформаций и выполняется с применением секущего модуля E_s=y/e. Анализ устойчивости, достигнутой на 1-й стадии деформированного состояния, выполняется с учетом возможности существования новой формы равновесия, сколь угодно близкой к полученной при расчете форме равновесия. Такой анализ, основанный на поиске новой формы равновесия, выполняется с применением линеаризированных, или варьированных уравнений. Поскольку поиск новой формы равновесия осуществляется в малой окрестности формы равновесия, полученной на 1-й стадии, то в варьированных уравнениях применяется касательный модуль $E_т$=dy/de, а сами варьированные уравнения в качестве неизвестных содержат вариации прогибов и поворота. При этом вариации всех нагрузок принимаются равными нулю, а значения нагрузок остаются такими, как они были получены на 1-ой стадии расчета.

Необходимость применения касательного модуля $E_т$ при анализе устойчивости со всей очевидностью следует из работы Н. Хоффа [1], где подтвержден факт потери устойчивости сжатых стержней при работе материала по касательному модулю.

Так как рассматриваемый метод расчета ориентирован на применение ЭВМ, то применение каких-либо аппроксимирующих выражений для аналитического представления физической зависимости «напряжение-деформация» не имеет смысла. На зависимость y - e не должно накладываться каких-либо ограничений и эта зависимость, получаемая на разрывной машине, должна соответствовать данному материалу.

Для рассматриваемых задач вполне подходит зависимость «напряжение-деформация», определенная из опытов на одноосное растяжение или сжатие.

Представление зависимости y - e осуществляется в виде кусочно-линейной функции, при этом точность представления этой зависимости должна быть такой, чтобы можно было вычислить значения как секущих модулей E_s=y/e, так и касательных E_t=dy/de в любом диапазоне изменения деформации e.

Точность расчета решения задач напрямую зависит от точности представления зависимости y - e, которая задается набором узловых точек (узлов диаграммы).

Количество точек аргумента e, в которых известны соответствующие значения напряжений y, выбирается минимально необходимым в зависимости от характера диаграммы «напряжение-деформация» и должно допускать линейную интерполяцию между узловыми точками.

При расчете данной задачи в ЭВМ вводится в табличном виде зависимость y - e для требуемого материала.

В пределах упругих деформаций зависимость между напряжением и деформацией выражается через модуль упругости:

$$E=y/e.$$

В остальной части диаграммы, где зависимость y - e носит нелинейный характер, напряжения и деформации будут выражаться через секущий модуль:

$$E_s=y/e.$$

Величина секущего модуля E_s зависит от значения деформации e в любой точке сечения, так как E_s есть не что иное, как тангенс угла между секущей и абсциссой e (рис. 1).

На опытной базе ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко проведен ряд экспериментов, посвященных данной тематике. Целью экспериментов было определение фактического напряженно-деформированного состояния сжатых стальных стержней открытого профиля и сравнение полученных данных с теоретическими изысканиями.

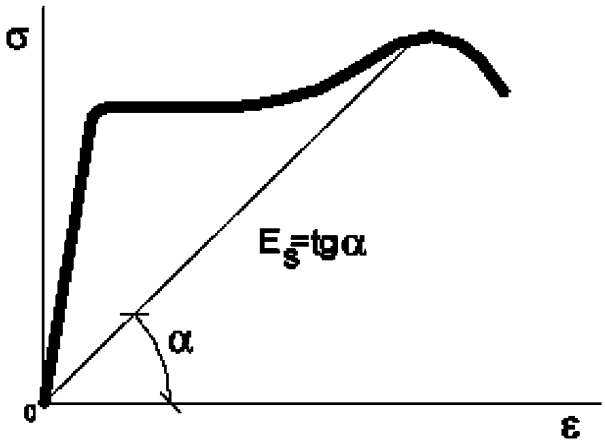


Рис. 1

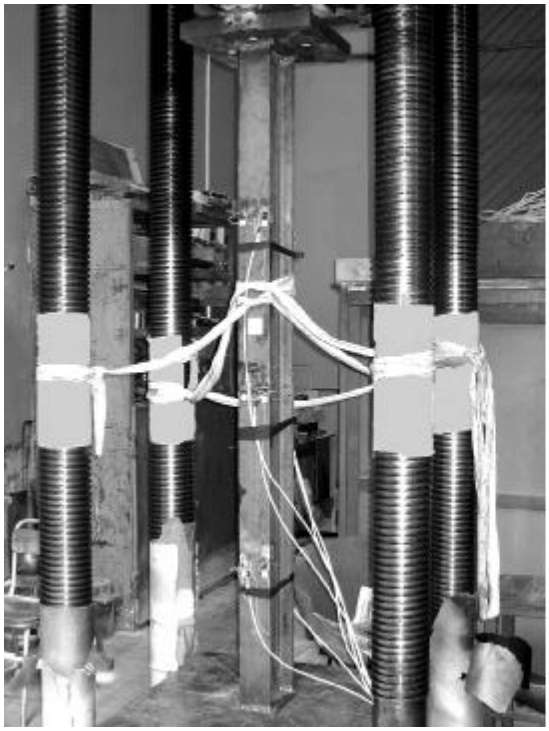


Рис. 2

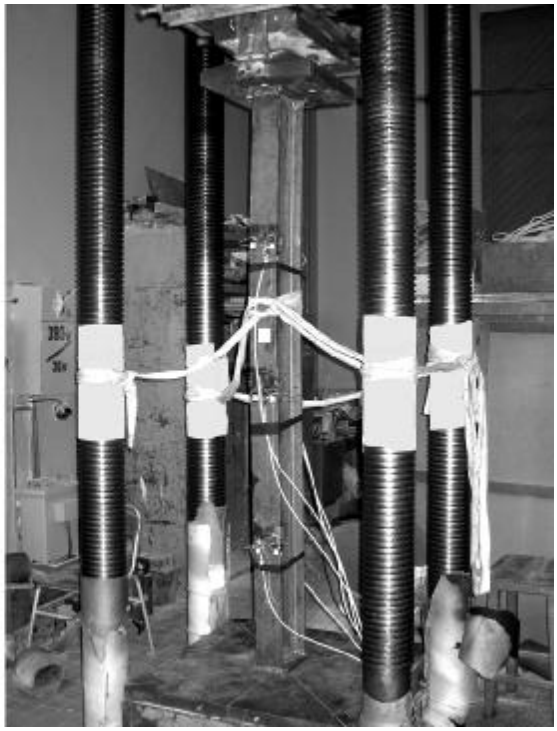


Рис. 3

Основной целью проведения экспериментальных исследований центрально и внецентренно-сжатых стержней с различными эксцентриситетами являлось определение предельных нагрузок, при которых стержень терял устойчивость с фиксацией формы изгиба и углов поворота.

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1) определение предельных нагрузок, при которых стержень теряет устойчивость для проверки достоверности результатов теоретических исследований;

2) получение значений относительных фибровых деформаций в различных точках поперечных сечений стержней;

3) получение значений линейных перемещений и углов поворота поперечных сечений стержней;

4) получение диаграмм растяжения/сжатия «напряжение-деформация».

Для испытаний были изготовлены стержни из прокатных двутавров 20Б1 по СТО АСЧМ 20-93 (серия «А»), прокатных швеллеров № 22 по ГОСТ 8240-89 (серия «Б») и равнополочных уголков сечением 125х125х10 мм по ГОСТ 8509-93 (серия «В») с гибкостью в плоскости наименьшей жесткости сечения приблизительно 80, 85 и 90 соответственно.

К торцам стержней приваривались опорные пластины толщиной 10 мм. Торцы стержней фрезеровались для равномерной передачи усилий через пластину.

Для выявления действительной диаграммы стали «напряжение-деформация» из испытанных стержней было взято по 9 плоских образцов каждой серии длиной около 400 мм, которые испытывались на растяжение на испытательной машине «Амслер». Таким образом, для каждого стержня была получена своя действительная диаграмма работы стали.

В эксперименте рассматривались шарнирно опертые стержни, к которым продольная сжимающая нагрузка прикладывалась к центру тяжести поперечного сечения (центральное сжатие), а также с одноосным и двухосным эксцентриситетами. При внецентренном сжатии нагрузка прикладывалась в плоскостях как наименьшей, так и наибольшей жесткости сечения стержня.

Испытания центрально и внецентренно-сжатых стержней с различными эксцентриситетами проводились для каждой серии.

При проведении экспериментов использовалась разработанная система сбора информации с тензорезисторов для определения относительных фибровых деформаций, возникающих в строительных конструкциях при испытаниях на прочность и устойчивость. Измеренные сигналы с тензорезисторов через преобразующие устройства поступали по стандартному последовательному каналу RS 232 в ПК. Для сбора и обработки информации с тензорезисторов разработано специальное программное обеспечение, которое автоматически обрабатывало массив считанных данных и преобразовывало в файл

(например, MS Excel), пригодный для дальнейшей математической обработки.

При проведении экспериментов, наряду с тензорезисторами, использовались также и механические тензометры с базой 20 мм для сравнения полученных результатов. Сравнение результатов показало, что точность проведения измерений при помощи тензорезисторов значительно выше, чем у механических тензодатчиков.

Анализ результатов экспериментальных данных показал, что форма изогнутой оси испытанных стержней соответствует принятой схеме закрепления (шарнирное закрепление стержней).

При испытаниях не наблюдалась местная потеря устойчивости стержней.

В большинстве случаев зона остаточных пластических деформаций после снятия нагрузки совпадала с положением максимального изгибающего момента по длине стоек, что соответствовало схемам загружения.

Общий вид исследуемого стержня в прессе до испытания приведен на рис. 2, после испытания – на рис. 3.

Выводы:

Разработанный теоретический метод расчета на устойчивость и проведенные экспериментальные исследования показали высокое схождение результатов. Расхождение в значениях критической силы, при которой стержень теряет устойчивость, в среднем составляет около 15 %.

Разработанный «машинный» метод определения критической силы по действительной диаграмме работы материала «напряжение-деформация» рассчитан на проведение массовых вычислений с целью практического использования результатов расчета.

Расчетные предпосылки, принятые для теоретического решения задачи, соответствуют общепринятым допущениям, принимаемым при решении подобных задач.

Данный «машинный» метод расчета можно внедрять в современные программные комплексы и использовать в инженерных расчетах.

Литература

1. Хофф Н. Продольный изгиб и устойчивость. – М., 1955. – 154 с.
2. Почтовик Г.Я. и др. Методы и средства испытания строительных конструкций. – М.: Высшая школа, 1973. – 160 с.
3. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. – М.: Государственное издательство строительной литературы, 1940. – 276 с.
4. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. – М.: Наука, 1971. – 808 с.
5. Насонкин В.Д. Предельная нагрузка для сжатых стержней, деформируемых за пределом упругости // Строительная механика и расчет сооружений, 2007, № 2. – С. 24-28.

УДК 725.8

Е.И. Прокофьев – кандидат архитектуры, профессор, заведующий кафедрой изобразительных искусств, директор института архитектуры и дизайна
Р.В. Шипилов – аспирант, ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

АННОТАЦИЯ
Статья описывает ключевые аспекты, необходимые для учета в проектировании спортивных сооружений, включающие защиту от террористических агрессий, а также контроль и циркуляцию человеческих масс и потоков. Утверждается необходимость рассматривать полный спектр действий: физическая, структурная, конструктивная и активная стратегия безопасности. Управление доступом, строгий контроль и бдительность до и во время мероприятий являются лучшим подходом к предотвращению инцидентов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Безопасность, контроль толпы, антитеррористические меры, проектирование, спортивные сооружения, человеческие потоки.

E.I. Prokofiev – candidate of architecture, professor, chief of the Fine Arts department, director of Architecture and Design Institute
R.V. Shipilov – post-graduate student, assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

KEY ASPECTS OF SAFETY IN DESIGN OF SPORT FACILITIES

ABSTRACT
The article describes the key aspects which are necessary for consideration in design of sports facilities, including the protection against terrorist aggressions, and the control and circulation of human streams. It is necessarily to consider a full spectrum of actions: physical, structural, constructive and active strategy of safety. Access management, strict control and vigilance before and during activities are the best approach to prevent the incidents occurrence.

KEYWORDS: Safety, crowd control, antiterrorist actions, design, sport facilities, human streams.

Введение

Национальные и международные спортивные события – это замечательная возможность для всех нас наблюдать лучшие из возможных состязаний. События на стадионах и спортивных аренах становятся все более и более захватывающими. Они привлекают глобальный интерес и огромное количество зрителей непосредственно к месту действия и еще миллионов в своих домах с помощью глобальных СМИ.

Спортивные встречи и события привлекают большое число международных спортсменов, тысячи зрителей, а также ведущих международных общественных и бизнес-деятелей и СМИ. Чтобы сделать все это незабываемым, подобные мероприятия всегда планируются заранее и хорошо организовываются. Всегда ожидается, что такие события запомнятся с лучшей стороны. К сожалению, это происходит не всегда.

Непредвиденные чрезвычайные ситуации, а также акты насилия или инциденты в толпе, меняют атмосферу удовольствия на сцены отчаяния, засвидетельствованные миллионами.

Предотвращение всегда лучше, чем исправление. Необходимо рассматривать полный спектр действий: физическая, структурная, конструктивная и активная стратегия безопасности. Управление доступом, строгий контроль и бдительность до и во время мероприятий являются лучшим подходом к предотвращению появления инцидентов.

Защита от террористических агрессий

Современные условия, в которых мы живем, стремительно меняются. Невозможно гарантировать, что человеку (или группе людей), у которого нет никакой заботы о собственной жизни или жизни других, не удастся выполнить задуманный акт агрессии.

Если инцидент происходит, предшествующие

запланированные меры и вмонтированные системы безопасности могут защитить людей, минимизировать повреждения, предотвратить конструктивное разрушение, гарантировать целостность здания для эвакуации и обеспечат работу специальных служб.

Взрыв – это чрезвычайный случай. Однако, если рассматривать подобную возможность заранее и особенно на ранних стадиях проекта, мы можем осуществить конструктивные решения задачи, которые будут ненавязчивы и не приведут к тому, что стадион или спортивная арена станет больше походить на крепость, нежели на архитектурное сооружение. Если учитывать потенциальную возможность взрыва, как часть проекта, в этом случае решение таких конструктивных задач может быть достигнуто рентабельными средствами. Проект защитных мер от возможности взрыва должен быть выполнен как часть общего проекта. Это потребует взаимосвязанной работы заказчика, архитекторов, инженеров – конструкторов, строителей, подрядчиков и специалистов в области безопасности [1].

Однако необходимо учитывать разные причины взрывов.

В результате случайного взрыва, вызванного неосторожным обращением с фейерверками, от сигареты или сбоя электричества, повреждение может быть ограниченным. Если подобный инцидент не будет вовремя локализован и обретет характер неуправляемого, это может привести к возникновению пожара. Очевидно, что в таком случае могут произойти последующие повреждения.

Искусственные устройства, доставляемые в упаковках, пакетах, спортивных сумках, контейнерах, в транспортном средстве и т.д., вызывают преднамеренные взрывы. Идентификация вероятной силы и места таких взрывов имеет ключевое значение для планирования последующих действий и защитных методов.

Мы все видели с помощью СМИ последствия срабатывания взрывчатых устройств. Последствия от такого преднамеренного инцидента могут быть многочисленными:

• Первичные поражающие осколки: взрывное устройство, установленное в транспортном средстве, создает поражающие осколки различного размера, массы и энергии.

• Вторичные поражающие осколки: стекло, облицовка, двери, конструктивные элементы и фурнитура улиц – это все потенциальные фрагменты.

• Взрыв: в результате сверхсжатия или взрывной волны могут быть серьезные человеческие травмы, ранения и жертвы.

• Частичное разрушение конструкций: ограниченный отказ конструктивных элементов, который может создать блокированные области внутри здания, которые могут быть эвакуационными путями, а также осложнить работу специальных служб.

• Полное разрушение: происходит, когда локальное обрушение возрастает и приводит через механизм прогрессивного конструктивного разрушения к полному разрушению здания. Примеры таких событий являются очевидными.

В результате – человеческие жертвы, повреждение имущества и подрыв общественного доверия. Необходимо серьезно рассмотреть все возможные разумные меры, чтобы смягчить подобные последствия.

Проектирование стадионов и вспомогательных зданий, полностью стойких к воздействию взрывов, не является жизнеспособным выбором. Проектирование и строительство «Стадиона-Крепости» технически возможно, однако не реалистично. Существующие новые знания и системы действительно могут быть использованы, чтобы значительно уменьшить эффекты от воздействия взрывов.

Ранее подобные вопросы безопасности не рассматривались так остро. Во-первых, во многих странах до сравнительно недавнего времени не существовало террористических атак в таких масштабах. Меры развивались пропорционально воспринятой угрозе. После «11 сентября» стало понятно, что угроза терроризма стала глобальной, как и перспектива его развития.

Во-вторых, запрашиваемая информация для принятия соответствующих мер часто была не доступна для традиционного архитектора-проектировщика или инженера. Подобной информацией и экспертными возможностями в этой области обладает узкий круг людей и организаций, которые, по очевидным причинам, свои услуги открыто не предоставляют.

В проектировании средств противостояния воздействию взрывчатых веществ можно руководствоваться логическими соображениями:

• Отклонение нападения путем демонстрации (через расположение, планировочную структуру, превентивную безопасность и защиту), что возможности успеха для террористического акта являются минимальными.

• Маскировка важных частей потенциальных целей так, чтобы в случае прорыва безопасности нападение было сосредоточено на неправильной области.

• Рассеивание потенциальных целей так, чтобы нападение не покрыло бы область, достаточно большую, чтобы вызвать существенные человеческие потери или разрушения. В особенности необходимо рассматривать области доступа к центральным функциям.

• Остановка нападения, достигающая областей потенциальных целей, используя стратегическое взаимодействие физических барьеров и активной безопасности.

• Притупление нападения, усиливая ключевые области и конструкцию на подходе к потенциальной цели [4].

Оценка угрозы обычно – первый шаг в процессе обеспечения эффективной безопасности или защиты для любого случая. Необходимо предпринять идентификацию, анализ и оценку рисков, составляющих возможную угрозу вместе со степенью вероятности, что определенный риск произойдет, а также его потенциальные последствия.

Можно рассмотреть множество сценариев нападения: доступ через туннели и установка устройств в водопроводных системах, устройства типа «миномет», устройства типа «пакет», устройства, доставляемые в транспортном средстве, зажигательные устройства [4].

Вероятные повреждения будут зависеть от типа, размера и местоположения. Помощь в идентификации возможных угроз может быть получена из местных, национальных и международных агентств.

Оценка угрозы не может самостоятельно предложить решение или контрмеры для предотвращения возможных угроз, но должна быть методом упреждения и идентификации возможных типов нападения. Характер подобной оценки вероятностей угроз может со временем меняться, особенно для больших событий, которые требуют существенного периода планирования [1].

Защита против угрозы взрывов должна быть развита и включена в план безопасности/защиты сооружения. Защита против нападения никогда не может гарантироваться полностью. Стоимость защитных мер должна быть оценена пропорционально получаемой эффективности. Это трудный расчет, потому что последствия могут быть вариабельны; некоторые разрушения могут быть возрастающими, но потери могут быть катастрофическими [4].

Традиционные здания и сооружения разработаны под четкие статические условия нагрузок в процессе эксплуатации (а в некоторых случаях и под динамические нагрузки), где сила и критерии деформации всесторонне определены в сводах правил и стандартах. Нагрузки, производимые взрывами, имеют намного большую величину и сложны по их переменной относительно периода времени [4]. Для того чтобы иметь возможность проанализировать дополнительные нагрузки на элементы конструкций, мы должны рассмотреть множество различных факторов. Это добавляет сложности к расчетам. Таким образом, мы должны использовать более сложные методы анализа и проектирования.

В определении нагрузок на конструкцию необходимо учитывать ряд критериев: размер заряда взрывчатого вещества, типа взрывчатого вещества, местоположения, взаимодействие и отражение от окружающей застройки. Зонирование и объединение потенциальных видов угроз могут помочь сосредоточиться на ключевых сценариях вместо того, чтобы пытаться спроектировать защиту против каждой мыслимой угрозы.

Когда нагрузки были рассчитаны, определение мер защиты должно быть выявлено количественно. Принятие конструктивных критериев рассматривается исходя из силы и деформационных лимитов. В некоторых случаях применение шкалы постоянной конструктивной деформации может быть не только допущено, но и также быть существенной особенностью проекта [4].

Методология проектирования воздействия взрывов будет включать:

• временную переменную сути нагрузки;

• улучшение особенностей материалов от их нормы напряжения;

• поступругое поведение материалов и составляющих частей;

• большие смещения и вращение – уход от прогрессивного разрушения;

• использование по назначению запасов прочности.

Этот подход может быть применен на перекрытия, балки и колонны, как на основные компоненты конструкции. Однако, есть один очевидный пункт, который часто пропускается в ущерб решению проблемы.

Физические барьеры или стены могут и должны быть установлены для уменьшения последствий взрыва. Заготовка подобных преград не является проблемой. Проблема же, с которой чаще сталкиваются, – это запоздалое требование на включение их в проект. Это создает неуместные осложнения и лишнюю стоимость, когда нагрузки на основную конструкцию или фундаменты были уже рассчитаны и строительство подходит к окончанию.

Практические решения проблемы защиты против взрывов действительно существуют. Чтобы оптимизировать необходимые затраты и включение их в проект, необходимо подумать об этом заранее.

Безопасность и контроль толпы

Одной из ключевых мер упреждения чрезвычайных ситуаций является контроль человеческих потоков и масс людей. Безопасность и контроль толпы внутри и вокруг спортивных сооружений являются главными критериями в проекте новых сооружений и в модернизации существующих.

Фундаментальная предпосылка для любого спортивного сооружения – это необходимость организовать и провести мероприятие при наличии хорошо обученного и подготовленного штата работников, а также гарантировать, что люди, посещающие это мероприятие, будут в безопасности.

11 апреля 2001 г. 43 человека были задавлены, когда больше тысячи фанатов попытались войти на стадион Ellis Park в Иоганнесбурге (Южная Африка), когда тот был уже переполнен. В мае 2001 г. 126 человек были задавлены около заблокированных эвакуационных ворот при паническом бегстве, которое последовало за выпущенным в толпу полицией слезоточивым газом на Стадионе Ассга в Гане. Эти бедствия не должны были случиться.

Недостаточный контроль толпы – особенность фактически каждого бедствия на спортивных площадках. Существует четыре общих причины бедствий на стадионах, которые повторяют себя, а иногда взаимодействуют друг с другом, раз за разом. Во-первых, переполнение на стадионах или аренах, где заборы или заблокированные ворота приводят к смерти от давки. Во-вторых, чрезвычайные климатические условия, такие как молния или штормы, могут привести к панике и паническим бегствам. В-третьих, к панике и бедствию могут привести хулиганство или силовые стычки. В-четвертых, технические проблемы самого здания, такие как: конструктивный коллапс – отказ крыш, стен, лестниц или, например, эвакуационные выходы, которые могут быть слишком узкими, чтобы обеспечить безопасный доступ и выход [1].

Не должно быть никакого эффекта “направления потока”, заставляющего людей сходиться на более узком участке входа или выхода. Это замедлит норму, по которой люди могут пройти через всю эвакуационную систему, и заставит их сбиваться плотнее друг к другу. Однако, образование потока на маршруте выхода может быть приемлемым, когда этому предшествуют открытая площадь или резервная область, где вместимость достаточна, чтобы содержать зрителей, вынужденных ожидать из-за различия пропускной способности потока в его начале и на конце. Мощность резервных областей должна быть вычислена, используя соответствующую пропускную способность потока и рекомендуемое время эвакуации. Плотность 40 человек на 10 м^2 области удовлетворительна для ожидания в пределах резервной области и является максимумом для безопасности. Необходимые меры должны предотвращать превышение этих значений [2].

Соответствующая пропускная способность

Пропускная способность системы выходов может быть вычислена путем оценки каждого элемента в системе (то есть каждый проход, дверной проем, лестница, выход, и т.д.) числа людей, которые могут пройти лимитирующую точку в этом элементе в течение 8 минут. Пропускная способность системы эвакуационных выходов – число людей, которое может пройти через определяемый маршрут запасного выхода за соответствующее время аварийной эвакуации. Соответствующее вычисление сделано следующим образом:

$$\frac{\text{шир. элем.} \times \text{допуст. интенсивн. потока} \times \text{допуст. время}}{\text{средяя ширина единицы } (0,550)}$$

В случае, если элемент в выходной системе меньше, чем 1 м ширины, этот элемент не должен быть определен к вычислению [2].

Поток толпы имеет тенденцию становиться бурным, когда требуется больше, чем приблизительно 7 минут, чтобы освободить область размещения зрителей. В этих условиях может быть уменьшена интенсивность потока, и люди могут потерять контроль над их собственными движениями, что увеличит потенциал несчастных случаев.

Достаточное количество выходов с каждой секции зрительских мест должно быть предоставлено так, чтобы все зрители могли покинуть ту область и проследовать в свободно-потоковую систему маршрутов эвакуации в течение 8 минут или меньше. Это относится и к стоячим местам, и к сидячим зрительским секциям, даже при том, что зрители обычно освобождают сидячие места менее торопливым образом.

Циркуляция потоков зрителей

В проектировании нового спортивного сооружения первостепенную важную роль играет грамотное понимание пешеходной циркуляции. Последствия неправильного понимания этого могут быть серьезными. В лучшем случае может быть осложнено эффективное управление спортивным сооружением, а в худшем случае будет создана угроза безопасности.

Чтобы запланировать маршруты циркуляции зрителей, требуется полное понимание вероятных маршрутов пешеходного движения. Есть четыре ключевых периода времени, которые необходимо рассмотреть: период прибытия до начала состязаний; время между периодами состязания; выход после окончания состязаний; потенциал для аварийной эвакуации, которая может произойти в любое время.

Характер прибытия зрителей может сильно отличаться согласно каждому типу случая. Рисунок показывает типичный характер прибытия для англичан дня субботы на Главный футбольный матч Лиги. Зрители достигают места за 90-минутный период. Однако, финалы кубка или закрытие сезона, может произвести характер прибытия зрителя во временном промежутке более, чем три часа или больше [1].

Вероятный характер прибытия зрителей определит требуемые услуги пропускного режима.

В течение перерыва между периодами состязания, когда массы людей собираются в залах, обязательно, чтобы велся осторожный надзор за каждой концентрацией людей в зале и очередями на услуги, такие как: туалеты и различные закусочные. Очередь, созданная в единичном, неуместно расположенном

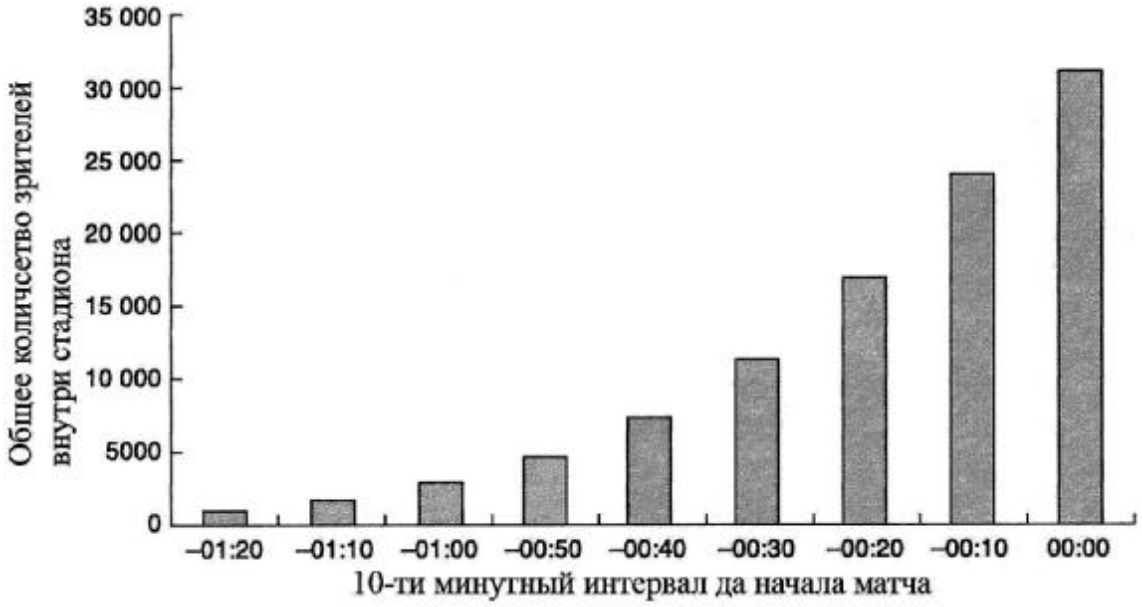


Рис. График прибытия зрителей на футбольный матч Английской премьер-лиги

буфете, может привести к снижению циркуляции в больших областях зала. Это, в свою очередь, может привести к нежелательной концентрации масс людей, что в свою очередь может создать предпосылки для чрезвычайных и опасных ситуаций.

По окончании спортивного мероприятия существенная часть зрителей зачастую остается на стадионе в течение значительного времени после финального свистка. Однако бывают случаи, когда все зрители желают уехать как можно быстрее после состязания, и именно этот сценарий влечет самую большую нагрузку на эвакуационные маршруты. Должна быть предоставлена достаточная выходная площадь для всех зрителей в данной области, чтобы обеспечить выход из зоны зрительских мест в пределах максимума восьми минут, до проследования на маршрут выхода (например внешняя лестница). Маршрут выхода должен быть свободным от узких мест, которые могут препятствовать потоку зрителей.

Планируя немедленную эвакуацию зрителей за пределы спортивного сооружения, проектирование должно отдавать предпочтение вероятным целям следования зрителей, а, следовательно, транспортным узлам (например, станция метро, стоянка автобусов, автостоянка), которые зрители будут использовать. Это требование для безопасности толпы является основополагающим к любой команде проектировщиков спортивных сооружений. Условие адекватных маршрутов аварийной эвакуации в случае необходимости – фактор, который имеет наиболее сильное влияние на проект маршрутов циркуляции вокруг спортивного сооружения и внутри него. Максимальное разрешенное время эвакуации из любой данной части спортивного сооружения может варьироваться между 2,5 и 8 мин. в зависимости от уровня риска, связанного с той областью. Как правило, зона привилегированных зрителей снабжена более высоким требованием к уровню горючих материалов и, соответственно, будет иметь более высокие требования ко времени эвакуации, чем общие зрительские зоны, которые обычно представляют более низкую степень пожароопасности [3].

У каждого спортивного сооружения существует собственное уникальное регулирование, которое будет ограничивать доступ к нему или из него.

Подземная транспортная сеть может быть ключом к достижению необходимой цели неавтомобильного способа эвакуации. Подобная транспортная политика может достичь соотношения 80:20 зрителей, использующих подземный транспорт вместо индивидуального.

Как общий принцип, зрители имеют тенденцию покидать стадион посредством того же самого маршрута, который они использовали на входе. Этот принцип необходимо учитывать в стратегии управления толпой, которая была развита, чтобы стимулировать распределение потоков толпы вокруг стадиона таким образом, чтобы получить эффективное использование доступных входных и выходных мощностей. В этом случае успехом пользуется стратегия кодирующих систем цвета [3]. Подобная практика позволяет управлять использованием зрителями маршрутов для входа на стадион. Это, в свою очередь, влияет на маршруты, используемые зрителями для выхода после окончания состязания, когда нагрузка на маршруты выхода самая большая. Кодирующая система цвета создает необходимость разделения спортивного сооружения на различные зоны, с собственным цветовым кодом. Билеты для каждой зоны печатаются в соответствующем цвете. Вне

стадиона цветное закодированное обозначение используется, чтобы направить зрителей к соответствующим маршрутам входа и блокам турникета.

В точках входа к билетному кордону на улицах вокруг стадиона служащие направляют зрителей к соответствующему маршруту входа в соответствии с цветовым кодом на их билете. Стратегия цветового кодирования, объединенная с другими мерами управления толпой, привела к обширному усовершенствованию контроля циркуляции толпы вокруг спортивного сооружения в дни состязаний.

Единой необходимостью для большинства крупных спортивных объектов является потребность взять полный и точный расчет транспортной нагрузки и проблем циркуляции толпы на очень ранних стадиях проектирования, чтобы помочь команде проектировщиков развить предложения, которые будут в состоянии работать эффективно и благополучно в течение срока эксплуатации.

Заключение

Учет описанных аспектов безопасности играет ключевую роль на всех стадиях качественного проектирования и дальнейшей эксплуатации любого крупного общественного центра сосредоточения больших масс людей, которыми являются, в частности, спортивные сооружения. Зачастую несоблюдение данного требования или запоздалое обращение к ним могут привести к огромным экономическим потерям, замедлению или даже остановке процесса проектирования и строительства. В свою очередь, это может стать причиной даже ухудшения государственного имиджа в случае, если спортивный объект должен послужить местом проведения международных состязаний, когда особенно важно уложиться в график всех проводимых работ по объекту. Однако все это уходит на второй план, когда подобная халатность может привести к массовым человеческим жертвам. Соблюдение приведенных аспектов безопасности на ранних этапах проектирования спортивных сооружений поможет свести к минимуму или даже избежать потенциально опасных ситуаций и угроз жизни людей.

Литература

1. The Guide of safety at spots grounds, 5-th edition, Shapiro, J. HMSO, London 2008
2. British Standard Code of Practice BS 5839: Part 1, *Fire detection and fire alarm systems for buildings,* British Standards Institution, London, 2002.
3. British Standard Code of Practice BS5266: Part 1, *Emergency Lighting,* British Standards Institution. London, 1999.
4. Stadium Engineering, Culley P., Pascoe J. London, 2005.

УДК 624.02.80

Б.С. Соколов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций
Р.Р. Латыпов – аспирант, ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ АРМАТУРЫ В СКВАЖИНЕ ШТЕПСЕЛЬНОГО СТЫКА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН

АННОТАЦИЯ

Применение штепсельных стыков колонн указывает на необходимость комплексного изучения их действительной работы с целью обеспечения конструкционной безопасности и эксплуатационной пригодности несущих каркасных систем при действии статических и сейсмических нагрузок. Приводятся результаты экспериментальных исследований фрагмента штепсельного стыка – арматуры в скважине, заполненной цементно-песчаным раствором. Оценивалась работа арматуры колонны при передаче на нее усилий сжатия, растяжения и сдвига. Определена степень ее использования и указаны пути по совершенствованию конструирования штепсельных стыков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Штепсельный стык колонн, скважина, анкеровка продольной арматуры.

B.S. Sokolov – doctor of technical sciences, professor, head of Reinforced-Concrete and Masonry Structures department
R.R. Latypov – post-graduate student, assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

EXPERIMENTAL RESEARCH OF REINFORCEMENT OPERATION IN DRIVEN WELL OF PLUG JUNCTION OF REINFORCED-CONCRETE COLUMNS

ABSTRACT

Application of plug joints of columns notices on necessity of complex study of their real work aiming to maintain the structural safety and operational suitability of bearing frame systems at static and earthquake loads. Experimental results with fragment of plug joint – armatures in driven well filled with cement-sandy solution are presented. Paper is devoted to evaluation of column reinforcement's operation under conditions of its compression, tension and shear. The extent of armature usage is defined, and perfection approaches on plug joints design are specified.

KEYWORDS: Plug joint of columns, grout hole, anchorage of longitudinal reinforcement.

В сборно-монолитных железобетонных каркасах зданий используются штепсельные стыки колонн. Анализ литературы показал отсутствие рекомендаций по их расчету и конструированию. Это указывает на необходимость комплексного изучения действительной работы стыков с целью разработки методики расчета для обеспечения конструкционной безопасности и эксплуатационной пригодности несущих каркасных систем здания при действии статических и сейсмических нагрузок.

Исследования по реализации поставленной цели разбиты на несколько этапов:

- проведение численного исследования напряженно-деформированного состояния стыков колонн;
- экспериментальное изучение работы арматуры в скважине;
- проведение физических экспериментов на образцах колонн при действии статических и сейсмических нагрузок;
- разработка способов усиления стыков и их экспериментальная проверка;
- создание методики расчета стыков по прочности при действии статических и сейсмических нагрузок;
- разработка методики расчета податливости стыков;
- подготовка и издание рекомендаций по проектированию штепсельных стыков колонн.

Многофакторные численные исследования напряженно-деформированного состояния стыков, часть результатов которых опубликована в [1, 2], показали, что наиболее ответственным за сопротивление стыка разрушению, особенно при действии горизонтальных нагрузок, является продольная арматура, расположенная в скважине. Анализ полученных результатов позволил тщательно

спланировать программу физических экспериментов по изучению работы продольной арматуры в стыке. Целью экспериментов ставилась оценка работы арматуры при передаче на нее усилий сжатия, растяжения и сдвига.

Характеристики образцов выбраны, исходя из максимального возможного геометрического и физического подобия натурным колоннам:

- поперечное сечение 200х200 мм составляло 1/4 сечения колонн размером 400х400 мм;
- длина образца определена из условия анкеровки продольной арматуры Ж25 мм класса А-III и составляла 900 мм, в скважине Ж 50 мм и глубиной 510 мм, которая обрамлялась спиралью из арматуры Вр-I диаметром 3 мм;
- длина выпусков продольной арматуры составила 500 мм;
- поперечное армирование в виде сеток из стали класса А-III, диаметром Ж8мм с шагом 100 мм. Бетон тяжелый класса В 30. Схема армирования образцов показана на рис. 1.

Изготовлено 9 образцов, которые разбиты на 4 серии (рис. 2). По результатам экспериментов планировалось получить следующие данные:

по серии 1 определить характер разрушения и несущую способность на сдвиг защитного слоя продольной арматуры, расположенной в скважине;

по серии 2 то же, но продольной арматуры, расположенной в сплошном сечении колонны;

на образцах серии 3 исследовать сопротивления стыка при выдергивании арматуры из скважины;

из серии 4 определить сопротивления разрушению стыка при вдавливании арматуры, расположенной в скважине, и степень ее использования.

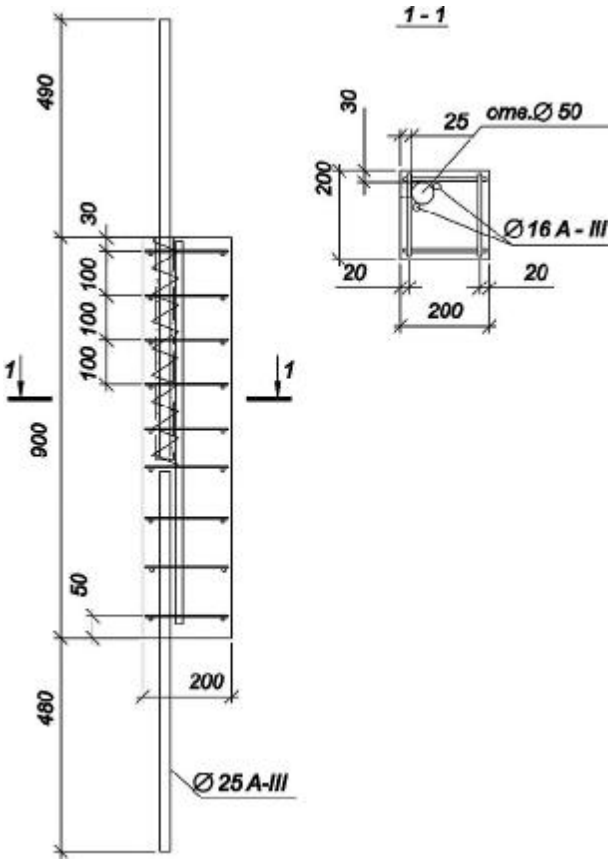


Рис. 1. Схема армирования образцов

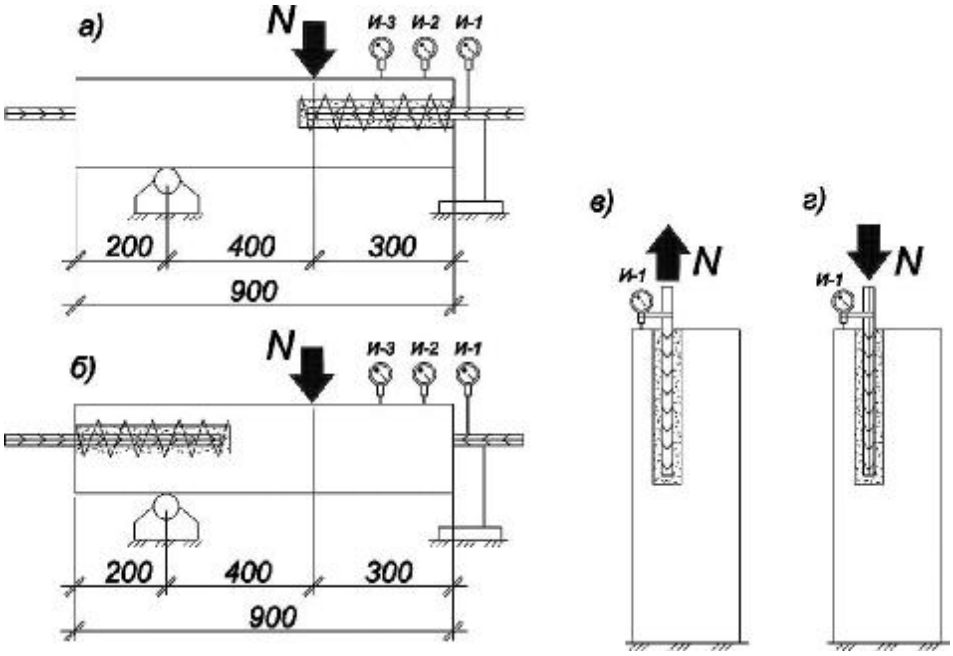


Рис. 2. Схема испытания образцов серий: а) С1; б) С2; в) С3; г) С4

Замоноличивание скважины осуществлялось цементно-песчаным раствором марки М 600, полученным из состава 1:1,5 с водоцементным соотношением В/Ц = 0,45. Контроль прочности раствора осуществлялся испытанием кубов размерами 10х10х10 см и призм 10х10х40 см по общепринятой методике.

По схеме испытаний образцы серии С1 и С2 не отличались. Более того, они представляли одно изделие с разной анкеровкой продольной арматуры – с одной стороны арматура размещалась в теле бетона (серия 2), с другой – в скважине (серия 1). Статическая нагрузка от пресса ИПС-200 прикладывалась через жесткую пластину точечного типа для обеспечения свободной деформации бетона в области анкеровки.

В образце С1-1 до появления трещин деформации в бетоне носили упругий характер. Первая трещина образовалась при нагрузке 1,16 тс, что соответствовало уровню 0,27 от разрушающей. При выдержке нагрузки на этапе загружения ширина раскрытия достигала 0,2 мм.

По мере увеличения нагрузок трещины развивались и в работу включались стержни поперечного армирования. Магистральные трещины в бетоне защитного слоя появились при нагрузке 2,7 тс. Разрушающее усилие составило 4,16 тс. Длина проекции трещины в бетоне замерялась в двух плоскостях и составила 17-18 см, т.е. до 7 диаметров продольной арматуры. После испытания арматуру с окружающим раствором легко извлекли из скважины. Поведение образца С1-2 под нагрузкой было идентично “близнецу”. Первые трещины появились при нагрузке 1,17 тс с шириной раскрытия до 0,2 мм. Разрушение наступило при 3,61 тс. Вид разрушенных образцов приведен на рис. 3а.

В образце С2-1 при нагрузке 1,37 тс появились трещины в бетоне защитного слоя на расстоянии от грани 5-6 см с шириной раскрытия 0,1-0,2 мм. Дальнейшее увеличение нагрузки привело к их развитию и появлению новых трещин. Разрушение при нагрузке 3,97 тс происходило плавно с увеличением деформаций сдвига. Поведение образца С2-2 под нагрузкой было практически таким же, как образца – ”близнеца”. Первые трещины образовались при нагрузке 1,15 тс, а магистральная – при 2,6 тс. Длина

а)

б)

Рис. 3. Вид образцов после испытания серий С1 (а) и С2 (б)

проекции трещин составляла 18-20 см. Разрушение произошло при 5,3 тс. Вид разрушенных образцов показан на рис. 3б.

Анализ результатов испытания образцов серии С1 и С2 показывает, что появление первых трещин в бетоне и развитие их до магистральных происходит при уровне поперечной силы 0,21-0,34 и 0,5-0,69 от разрушающей, соответственно. По результатам замеров среднестатистическая длина проекции трещин составила 8 диаметров продольной арматуры. Разрушение образцов серий С1 и С2, несмотря на их конструктивные различия, происходило одинаково из-за откалывания бетона защитного слоя с деформированием хомута первого ряда, их разрывом или разрушением в местах пересечения стержней сварных сеток.

По результатам замеров деформаций сдвига построена зависимость «усилие сдвига – деформации» (рис. 4), по которой видно, что несущая способность образцов одной серии отличается в 1,1-1,3 раза. Это объясняется тем, что на прочность стыков влияют несколько факторов: величина защитного слоя бетона, наличие в зоне разрушения поперечной арматуры и качество их сварки (соединения) в сетке, прочность и деформативность раствора в скважине, жесткость продольной арматуры и ее расположение относительно поперечной арматуры.

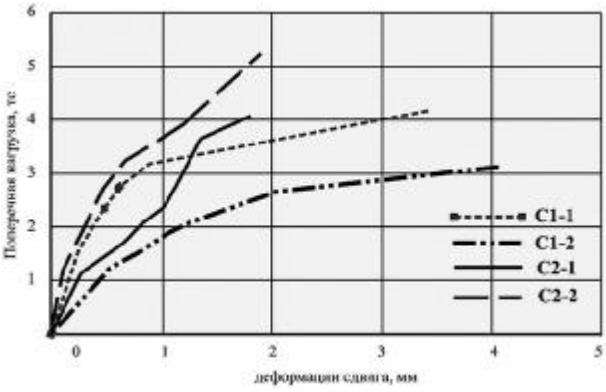


Рис. 4. Зависимость «усилие-деформация» для образцов серии С1 и С2

Как видно на рис. 4, характер деформирования образцов серии С1 и С2 можно описать упругопластической диаграммой. Кроме этого, деформации арматуры в образцах серии С1 в 2 раза больше, чем у образцов С2, что объясняется наличием прослойки цементно-песчаного раствора толщиной 1 см между арматурой и бетоном с пониженным модулем упругости.

Характерными точками на графиках являются уровни нагрузки соответствующей образованию сети магистральных трещин в бетоне, появление которых приводит к снижению сдвиговой жесткости сечения. Пластические деформации обеспечиваются работой поперечных стержней. Во всех образцах хомуты первого ряда разрушались в зоне сварки, поэтому для увеличения надежности стыка при сдвиге целесообразно применять замкнутые хомуты без сварных швов из мягких арматурных сталей или использовать спиральное армирование.

Испытание серии С3 (5 образцов) производили на разрывной машине ГРМ. Во всех случаях разрушение происходило плавно из-за выхода из скважины арматурного стержня с обволакивающей растворной оболочкой. Скважина в бетоне колонны после испытаний имела гладкую поверхность без видимых трещин и повреждений, кроме образца С3-2, у которого разрушился защитный слой у устья скважины (рис. 5). Растворная оболочка имела лишь частичную адгезию к поверхности арматуры, но плотно прилегала и повторяла ее профиль. Обследование всех 5 образцов после испытания показало отсутствие силовых трещин, выколов на теле раствора и его равномерное заполнение скважины без раковин и крупных пор. Продольные абсолютные деформации сдвига арматуры относительно бетона составили 0,2-1,45 мм. Разброс разрушающей нагрузки оказался тоже существенным – от 1,5 тс до 9,8 тс. Среднее значение прочности анкеровки составило 8,4 тс, что соответствовало 43 % от прочности арматуры на растяжение, а значение касательных напряжений по поверхности контакта раствора с бетоном составило 1,08 МПа, что было близко к 0,5 R_{bt}, где R_{bt} – прочность раствора замоноличивания при осевом растяжении. По данным [4], разрушающая нагрузка при длительных нагрузках может снизиться еще на 15-25 %. На рис. 6 показана зависимость «усилие-перемещение» для всех испытанных образцов.

Из рис 6. видно, что для большинства образцов опытные точки в системе координат «усилие-деформация» можно аппроксимировать линейной зависимостью с удовлетворительной точностью 85 %. Линейная зависимость также проявляется в численных исследованиях и экспериментах авторов [2, 3]. Значительный разброс деформаций и разрушающих усилий в этой серии объясняется неоднородностью контакта раствор-бетон по длине заделки арматуры, наличием усадочных явлений и отклонениями геометрии скважины от поверхности цилиндра. На основании опытов следует, что анкеровка арматуры на цементно-песчаных растворах марки М600 при глубине заделки 20 диаметров арматуры (20d) не обеспечивает равнопрочность и надежность.

При испытании на сжатие (вдавливание) серии С4 рассматривались 2 образца. Для фиксации деформации на арматуру был установлен индикатор часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм. Нагружение образцов велось по этапам с выдержкой на каждой ступени по 10 мин. Первые трещины в бетоне появились под торцом арматуры при нагрузке 0,2-0,3 от разрушающей, ширина которых достигала 0,2 мм. При

Рис. 5. Вид разрушенных образцов серии С3

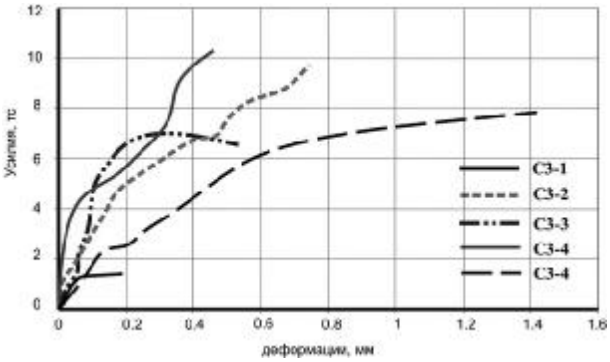


Рис. 6. Экспериментальные данные образцов серии С3

нагрузках, вызывающих напряжения в арматуре до уровня 0,5-0,6 от нормативного сопротивления стали (400 МПа), происходил скол и выпучивание бетона под ее торцом (рис. 7).

В момент достижения напряжений в арматуре предельных значений ее вертикальные деформации достигали 10-12 мм, что в 4-6 раз превышало продольные абсолютные деформации арматуры в шве при испытании стыков железобетонных колонн, приведенных в [3]. В обоих случаях разрушение происходило из-за потери устойчивости выпуска арматуры у устья скважины с раздроблением раствора. По данным замеров перемещений на рис. 8 представлен график зависимости «усилие-деформации».

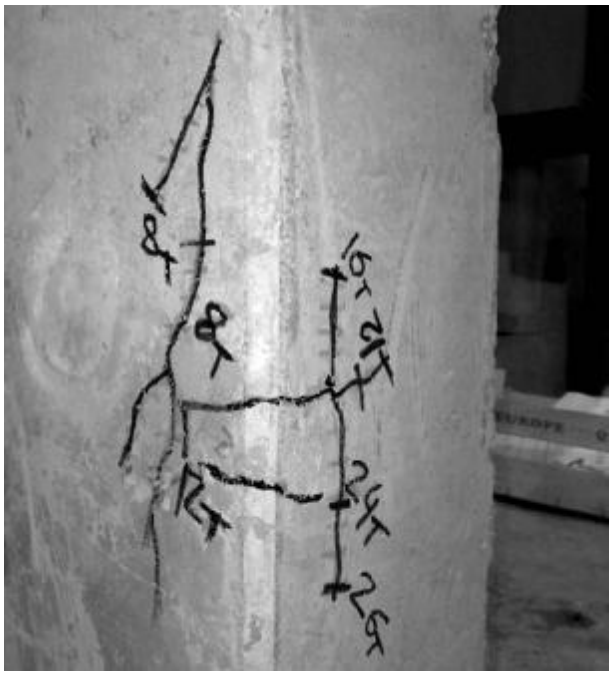
По данным испытаний видно (рис. 8), что после развития трещин и выпучивания бетона под торцом арматуры происходит уплотнение – это проявляется на графиках изменением угла наклона кривой к оси абсцисс. Средние напряжения в арматуре на этот момент достигали 200 МПа.

По мере увеличения нагрузки зазор между продольными стержнями (рис. 1) в теле бетона сокращался, что приводило к заметным смещениям арматуры относительно бетона до потери устойчивости. Из результатов испытаний следует, что для повышения степени использования прочности продольной арматуры в скважине целесообразно, при конструировании стыка, сокращать этот зазор до минимума, как показано в работе [5], обеспечить прочность анкеровки.

На основании выполненных исследований можно сделать **выводы**:

- впервые проведены экспериментальные исследования работы арматуры в штепсельных стыках колонн, заполненных цементно-песчаным раствором, на действие сдвиговых усилий, усилий вырыва и вдавливания. Установлены возможные схемы разрушения стыков: от потери сопротивления сдвигу защитного слоя бетона; от потери сцепления между раствором в скважине и бетоном колонны; от разрушения раствора и бетона под торцом арматуры при их раздавливании;
- при действии на продольную арматуру сдвигающих усилий прочность обеспечивается

а)



б)

Рис. 7. Вид образцов серии С4: а) в процессе испытания; б) при разрушении

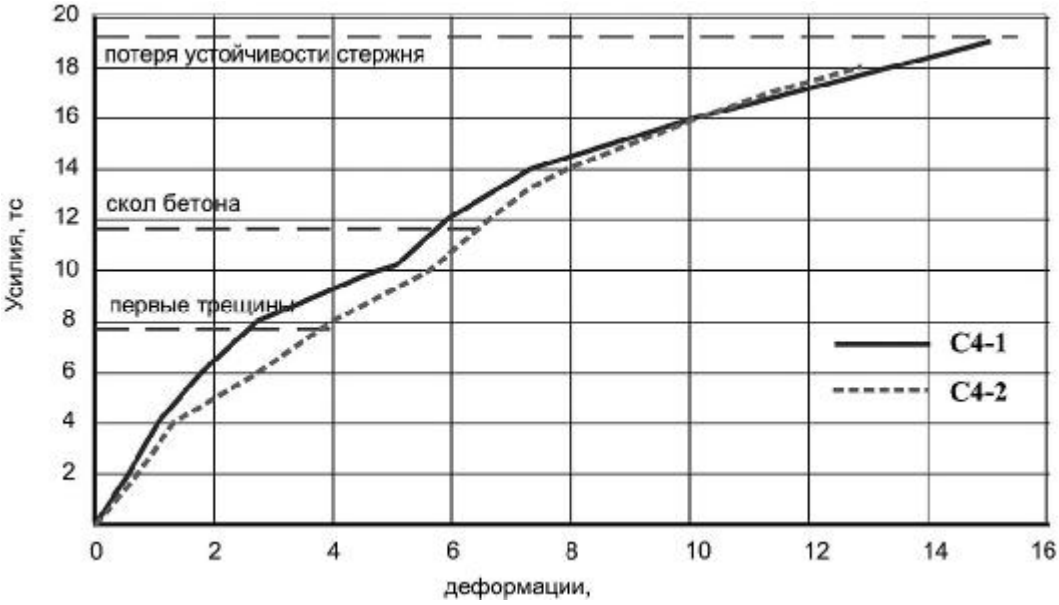


Рис. 8. Зависимость “N– Δ” для образцов серии С4

толщиной защитного слоя бетона и сопротивлением разрушению хомутов первого ряда. Для повышения надежности стыка при сдвиге целесообразно применять замкнутые хомуты без сварных швов из мягких арматурных сталей, спиральное армирование или в первой сетке косвенного армирования по периметру вместо стержней круглого диаметра установить полосовую сталь высотой 10 мм, толщиной 5 (6) мм;

- несущая способность штепсельных стыков колонн на растяжение незначительная, так как при этом усилия воспринимают продольные стержни. По результатам опытов нарушение сцепления раствора в скважине с бетоном колонны происходило при напряжениях (0,1-0,4)R_{sn}, где R_{sn} – нормативное сопротивление арматуры растяжению. Поэтому применение штепсельных стыков в растянутых от внешних нагрузок колоннах должно быть ограничено;
- при вдавливании стержня происходит разрушение бетона защитного слоя при нагрузках, вызывающих напряжения в арматуре до уровня 0,5-0,6 от нормативного сопротивления стали (400 МПа). Принимая за предельное состояние отколы бетона под торцом арматуры и замоноличивание скважины цементно-песчаным раствором, при оценке сопротивления штепсельного стыка сжатию необходимо вводить коэффициент условия работы продольной арматуры не более 0,6.

Литература

1. Соколов Б.С., Латыпов Р.Р. Исследование напряженно-деформированного состояния штепсельного стыка железобетонных колонн // Журнал «International Journal for Computational Civil and Structural Engineering», 2008. – С. 120-122.
2. Соколов Б.С., Латыпов Р.Р. К исследованию напряженно-деформированного состояния штепсельного стыка железобетонных колонн // Вестник РААСН Волжского регионального отделения, 2007, вып. 10. – С. 96-102.
3. Матков Н.Г. Сопротивление сталеполимербетонных конструкций и их стыков. – М.: Изд-во Воентехлит, 1999. – 164 с.
4. Черкасский И.Г. Обеспечение прочности клеевых анкеров // Бетон и железобетон, 1985, № 6. – С. 16-18.
5. Мадатян С.А., Еремин В.Я. и др. Узел стыкового соединения стрежней арматуры в сжатых железобетонных элементах // Бетон и железобетон, 2008, № 2. – С. 2-5.

УДК 624.012.35

Б.С. Соколов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций
А.Н. Седов – аспирант, старший преподаватель
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ СТЫКОВ КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ ПРИ ИХ ВОЗВЕДЕНИИ

АННОТАЦИЯ
В работе приведены результаты экспериментальных исследований несущей способности образцов комбинированных стыков в зависимости от толщины растворного шва, ширины площадки опирания плиты перекрытия, смещения верхней стеновой панели относительно нижней, угла поворота плиты перекрытия. Выявлены возможные схемы разрушения стыков, определены зоны их усиления.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Комбинированный стык стеновых панелей, несущая способность стыков, схемы разрушения, зоны усиления.

B.S. Sokolov – doctor of technical sciences, professor, head of Reinforced-Concrete and Masonry Structures department
A.N. Sedov – post-graduate student, senior lecturer
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

EXPERIMENTAL RESEARCH OF COMBINED JOINTS OF LARGE-PANEL BUILDINGS WITH CONSIDERATION FOR POSSIBLE DEVIATIONS AT THEIR CONSTRUCTION

ABSTRACT
The experimental results on bearing capacity of combined joints depending on thickness of cement weld, on width of resting platform of floor panel, on displacement of top panel in relation to bottom one, on angle of floor panel rotation are presented. Possible schemes of joints destruction are revealed, the zones of their strengthening are defined.

KEYWORDS: Combined joint of building panels, bearing capacity of joints, schemes of destruction, zones of strengthening.

При проведении работ по обследованию крупнопанельных зданий возникает необходимость оценки несущей способности стеновых панелей и их стыков. При этом желательно учесть все возможные дефекты и отклонения от проекта, выявленные при обследовании, которые могут повлиять на изменение напряженно-деформированного состояния стыков и, следовательно, всей несущей системы в целом. Необходимость учета большого числа параметров и возможных дефектов в стыке определяет ряд требований к методике расчета горизонтальных стыков, в том числе и комбинированных. Кроме того, методика должна отражать механизм разрушения, содержать данные о зонах усиления и конструктивно технологических решениях, направленные на оптимальное усиление стыков.

Анализ работ, посвященных изучению работы комбинированных стыков, позволил выявить ряд недостатков:

- прочность комбинированного стыка, вычисленная по нормативной литературе [1, 2], существенно ниже прочности, определенной экспериментальным путем или в соответствии с теорией сопротивления анизотропных материалов сжатию [3];
- методика расчета, изложенная в [4], не учитывает наличие возможных дефектов в комбинированном стыке.

В связи с этим возникает необходимость дополнения существующей методики расчета [3, 4].

Предлагаемая методика расчета основана на теории сопротивления анизотропных материалов сжатию, согласно которой прочность бетона стыка при

сжатии $N_{сеч}$ определяется преодолением сопротивления материала отрыву, сдвигу и раздавливанию:

$$N \le N_{сеч} = (N_{bt} \cos a + 2N_{sh}) / \sin a + N_{ef}, \quad (1)$$

где N_{bt} – усилие сопротивления отрыву, N_{sh} – усилие сопротивления сдвигу, N_{ef} – усилие сопротивления раздавливанию.

Значение угла наклона площадки скольжения определяется в зависимости от класса бетона по формуле:

$$a = tg(0{,}25\frac{R_b}{R_{bt}} - 1{,}56). \quad (2)$$

С учетом конструкции стыков и возможных дефектов при возведении зданий были проведены численные исследования, направленные на изучение напряженно-деформированного состояния комбинированных стыков. По результатам численных исследований были предложены зависимости для изменения угла наклона площадки скольжения, а, следовательно, и несущей способности стыка, в зависимости от толщины растворного шва, ширины площадки опирания плиты перекрытия, соотношения жесткостей раствора и бетона стеновой панели, смещения верхней стеновой панели относительно нижней, угла поворота плиты перекрытия.

Целью экспериментальных исследований является установление характера изменения несущей способности стыков от указанных выше факторов и получение новых данных о характере разрушения комбинированных стыков.

Для проведения исследований разработана информационная модель эксперимента (рис. 1), включающая в себя следующие факторы: соотношения толщин верхнего и нижнего растворных швов, ширина площадки опирания плиты перекрытия, эксцентриситет приложения нагрузки, поворот плиты перекрытия. Числовые значения факторов и геометрические характеристики образцов показаны в табл. 1.

Размеры образцов выбраны по геометрическому подобию к натурным параметрам панелей и их стыков. Толщина образцов стеновых панелей принята 200 мм (100 мм – контактная часть, 100 мм – платформенная часть). Ширина образцов принята с учетом размеров опорной площадки пресса ИПС-200, условий изготовления и составляет 450 мм. Для образца нижней стеновой панели в платформенной части максимально возможная ширина площадки опирания составляет $l_k = 100\ мм$, высота образца принята $3l_k = 300\ мм$. Высота выступа принята согласно численным исследованиям [5] и составила 120 мм. Площадки опирания в контактной и платформенной части образца верхней стеновой панели расположены близко друг к другу, поэтому можно считать, что нагрузка на образец приложена на всю его ширину – $l_k = 200\ мм$. Высота образца составляет $3l_k = 600\ мм$. Вылет фрагмента плиты перекрытия принят 700 мм.

Образцы комбинированного стыка изготовлены из тяжелого бетона класса В20.

В процессе испытаний фиксировались разрушающая нагрузка, отклонения образцов от первоначального положения, деформации бетона и

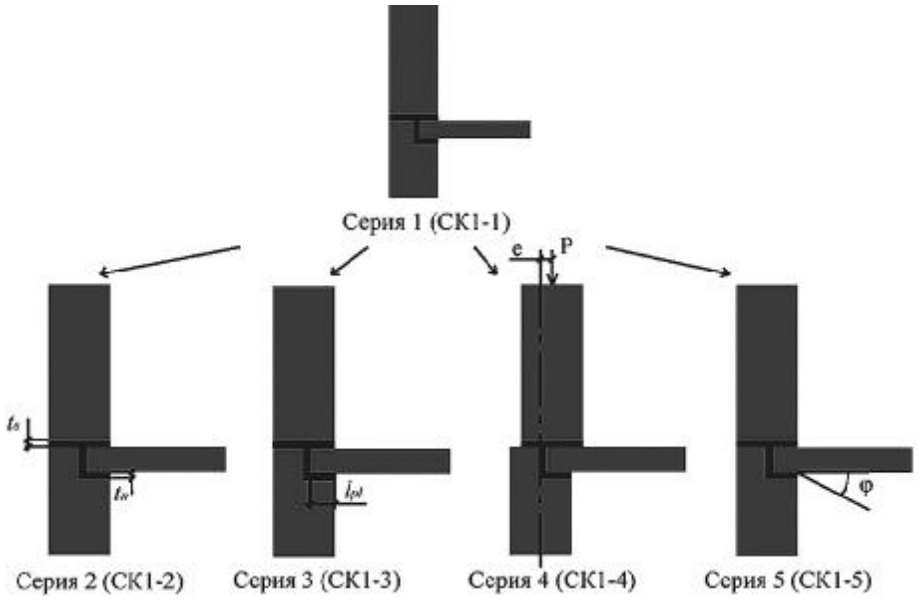


Рис. 1. Информационная модель экспериментальных исследований

Таблица 1

Характеристики образцов комбинированного стыка

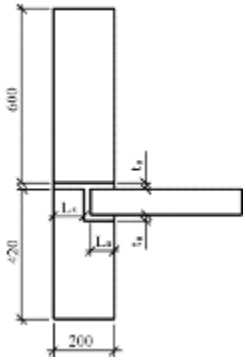
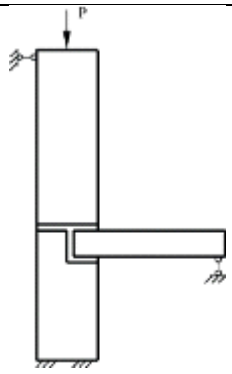
№	Маркировка образца	Варьируемый параметр	Геометрические размеры базового образца, мм	Схема испытаний
1	2	3	4	5
1	СК1-1-1	–	 $L_к = 100$, $L_п = 80$, $t_н = 20$, $t_в = 20$	
2	СК1-2-1	$t_в = 11$ *мм*		
3	СК1-2-2	$t_в = 44$ *мм*		
4	СК1-3-1	$L_п = 95$ *мм*		
5	СК1-3-2	$L_п = 55$ *мм*		
6	СК1-4-1	$e = 20$ *мм*		
7	СК1-4-2	$e = -20$ *мм*		
8	СК1-5-1	$j = 5^0$		

Рис. 2. Образец комбинированного стыка, смонтированный на прессе

Таблица 2

Сравнение несущей способности фрагмента комбинированного стыка

№	Параметр	Значение	Несущая способность стыка, кН			
			по [1]	по [4]	По результатам численных исследований	По результатам испытаний
1	2	3	4	5	6	7
1	Базовый образец	$t_в = 20$ *мм*, $L_п = 80$ *мм*, $e = 0$ *мм*	658,8	1331,8	1294,8	1420 (900)*
2	Толщина растворного шва	$t_в = 11$ *мм*	638,4	1331,8	1454,8	1750 (147)
3		$t_в = 44$ *мм*	650,1	1331,8	1203,4	1040 (750)
4	Ширина площадки опирания	$L_п = 95$ *мм*	708,1	1455,2	1393,5	1325 (800)
5		$L_п = 55$ *мм*	598,7	1126,3	1073,3	820 (700)
6	Смещение верхней стеновой панели	$e = 20$ *мм*	588,5	1361,5	1335,2	1220 (700)
7		$e = -20$ *мм*	587,5	1167,4	1131,3	1415 (850)
8	Поворот плиты перекрытия	$j = 5^0$	658,8	1331,8	1276,3	1365 (960)

*В скобках указана нагрузка, соответствующая образованию первой трещины.

раствора в контактной и платформенной частях по тензодатчикам (ГОСТ 21616-91), деформации растворных швов в контактной и платформенной частях по индикаторам часового типа (ГОСТ 577-68*). Во время выдержки под нагрузкой производился осмотр поверхности образца для определения последовательности образования и развития трещин.

Основные значения разрушающих нагрузок при испытаниях представлены в табл. 2.

Изменение несущей способности стыка в зависимости от различных факторов также представлено в виде графиков на рис. 3-5.

Анализируя представленные зависимости, можно сделать следующие выводы:

- несущая способность комбинированного стыка, вычисленная согласно нормативной литературе [1], занижена по сравнению с результатами испытаний и другими методиками расчета, результаты, полученные с использованием теории сопротивления анизотропных материалов сжатию и зависимостей для угла наклона площадке, наиболее близки к опытным;
- на несущую способность комбинированного стыка существенно влияет изменение толщины верхнего растворного шва $t_в$, что не отражают методики расчета [1] и [4];
- при уменьшении ширины площадки опирания плиты перекрытия происходит снижение несущей способности платформенной части комбинированного стыка и перераспределение действующего усилия на контактную часть, при ширине опирания менее 60 мм несущая способность стыка, вычисленная по предлагаемой методике, завышена по сравнению с данными эксперимента;
- при смещении верхней стеновой панели в сторону плиты перекрытия, согласно численным исследованиям [4], происходит увеличение несущей способности стыка за счет увеличения ширины платформенной части, что завышает несущую способность по сравнению с опытными данными, согласно которым несущая способность стыка снижается за счет перераспределения усилий на платформенную часть и работы на изгиб плиты перекрытия.

По результатам испытаний для каждого образца определены возможные схемы разрушения, наиболее характерные из которых представлены в табл. 3.

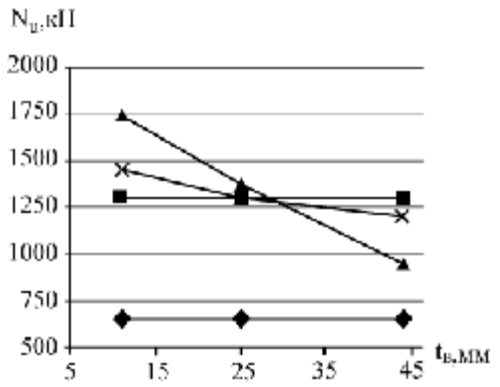


Рис. 3. Влияние толщины растворного шва на несущую способность стыка

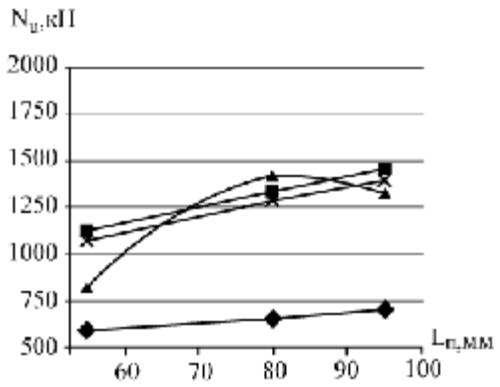


Рис. 4. Влияние ширины площадки опирания плиты перекрытия на несущую способность стыка

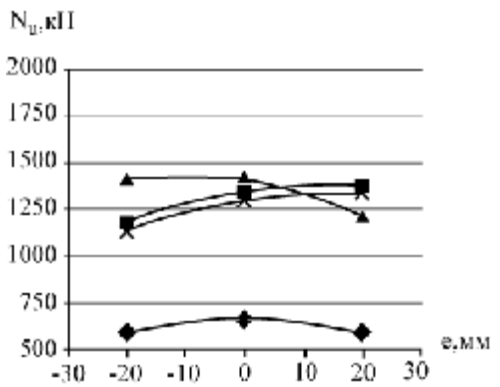
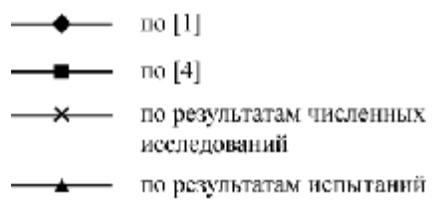


Рис. 5. Влияние толщины растворного шва на несущую способность стыка



По схеме разрушения 1 разрушение стыка произошло от раскалывания верхней и нижней стеновых панелей с образованием «клина» в верхней стеновой панели и с одновременным отколом платформенной части нижней стеновой панели.

Для схемы 2 характерно образование вертикальных трещин в контактной части верхней стеновой панели и в плите перекрытия. Разрушение стыка происходит от сдвига по площадке скольжения в нижней зоне и раскалывания верхней стеновой панели, от раскалывания контактной части нижней стеновой панели, от раскалывания и сдвига по площадке скольжения нижней стеновой панели.

По схеме 3 разрушение стыка произошло от раскалывания контактной части нижней стеновой панели, от раскалывания и сдвига по площадке скольжения нижней стеновой панели в нижней зоне.

Согласно представленным схемам разрушения можно выделить следующие зоны усиления комбинированного стыка: зона опирания плиты перекрытия, зоны сопряжения контактной и платформенной частей верхней и нижней стеновых панелей. Усиление платформенной части можно производить с помощью крепления уголков или устройства железобетонного разгружающего ригеля, усиление зон сопряжения контактной и платформенной частей различными вариантами обжатия либо устройством полимерармированных шпонок.

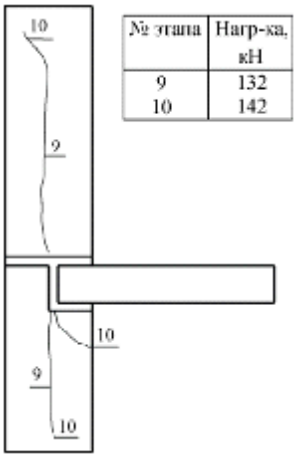
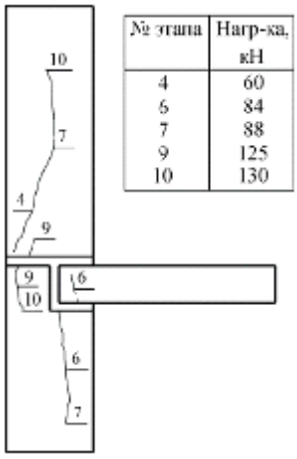
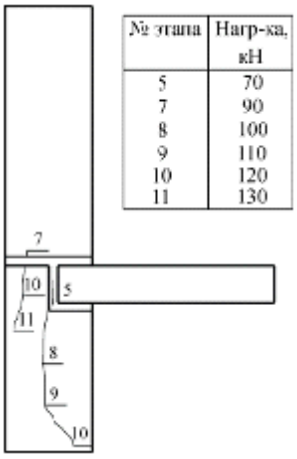
Для усиленных образцов также планируется проведение экспериментальных исследований с целью определения характера влияния элементов усиления на несущую способность стыка, разработки методики расчета усиленных комбинированных стыков, основанной на теории сопротивления анизотропных материалов сжатию, технологии производства работ при усилении.

Выводы:

В статье представлены результаты экспериментальных исследований образцов комбинированных стыков стеновых панелей. Получен характер изменения напряженно-деформированного состояния и несущей способности стыков в зависимости от соотношения толщин верхнего и

Таблица 3

Схемы разрушения образцов комбинированных стыков

Схема 1	Схема 2	Схема 3
		

нижнего растворных швов, ширины площадки опирания плиты перекрытия, эксцентриситета приложения нагрузки, поворота плиты перекрытия. Определены характерные схемы разрушения комбинированных стыков и показаны возможные зоны усиления.

Литература

1. Пособие по проектированию жилых зданий / ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. Вып. 3. Конструкции жилых зданий (к СНиП 2.08.01-85). – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.
2. ВСН 32-77. Инструкция по расчету стыков панельных жилых и общественных зданий. Госгражданстрой. – М.: Госстрой СССР, 1977. – 87 с.
3. Соколов Б.С. Теоретические основы сопротивления бетона и железобетона при сжатии // Известия вузов. Строительство, 1993, № 9. – С. 39-43.
4. Соколов Б.С., Никитин Г.П. Совершенствование методики расчета комбинированных стыков панелей зданий // Вестник Томского ГАСУ, 2007, № 1. – С. 81-90.
5. Соколов Б.С., Седов А.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния комбинированных стыков панелей крупнопанельных зданий для их усиления // Вестник РААСН Волжского регионального отделения, вып. 10. – Нижний Новгород, 2007. – С. 82-89.
6. Соколов Б.С., Седов А.Н. Изучение напряженно-деформированного состояния горизонтальных стыков панелей зданий для их усиления // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Moscow, 2008. – С. 123-124.

УДК 69.024

Е.М. Удлер – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой САПР
Э.Е. Пекерман – ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ТЕНТОВЫХ ШАТРОВ НА ПРИМЕРЕ ПОКРЫТИЯ КАТКА В КАЗАНИ

АННОТАЦИЯ

В статье описывается пример внедрения методики проектирования тентовых покрытий большепролетных сооружений шатрового типа. Проводится сравнение расчетных геометрических характеристик тента с реальными. Показана возможность применения предлагаемой авторами методики для проектирования тентовых оболочек больших пролетов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Тентовые покрытия строительных сооружений, шатровые оболочки, мягкие строительные оболочки, пленочно-тканевые ограждения сооружений.

E.M. Udler – candidate of technical sciences, professor, head of department of CAD System
A.E. Pekerman – assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

EXPERIMENTAL APROBATION OF CALCULATION METHOD OF LARGE-SPAN TENTSHELLS BY THE EXAMPLE OF COVERING OF SKATING SPACE IN KAZAN

ABSTRACT

The article considers the results of practical implementation of method on large-span tentshell design. Project's and real geometric characteristics of tent form are compared. The possibility of authors' method usage for large-span tentshells design is stated.

KEYWORDS: Tentshells of building constructions, flexible roof for building, tent structures, film-fabric fences of constructions.

Описываемое сооружение (рис. 1) возведено на территории парка «Ривьера» летом 2008 года силами ООО «Прогресс-Строй». Тентовое покрытие изготовлено и смонтировано Казанской фирмой «Унитент». Авторы статьи разработали конструктивную схему, рассчитали форму и раскрой тентового покрытия и дали рекомендации по конструктивному усилению узлов по просьбе указанных выше фирм.

На рис. 2 и 3 схематически представлены план и фасад, дающие представление о конструктивной схеме и размерах тентового покрытия. Шатровая мягкая оболочка покрытия подвешена на центральной металлической опоре с помощью скользящего металлического кольца диаметром 3 м. В нижней части покрытие усилено тросом-подбором. Оболочка закреплена внизу в 12 точках на кольцевом металлическом опорном контуре диаметром 51 м. Проектная высота тентовой части покрытия 12,5 м. Натяжение оболочки регулируется высотой подвески в центре.

Материал оболочки – однослойная ткань ортогонального плетения с водонепроницаемым покрытием на основе ПВХ. Химическая основа ткани – полиэстер (лавсан). Разрывные усилия при одноосном растяжении вдоль и поперек полотна составляют соответственно 80 и 70 Кн/пог. м.

Деформационные свойства материала по данным экспресс-испытаний, проведенных по просьбе авторов доктором технических наук, профессором Сулеймановым А.М., представлены на рис. 4 в виде графиков одноосного растяжения.

Форма покрытия вычислена по методике, изложенной авторами в работе [1], на ЭВМ с помощью пакета программ, разработанного авторами. На рис. 5 представлен общий вид модели оболочки, полученный в результате работы программы вычисления формы. Результаты вычисления координат точечного каркаса формы позволили вычислить параметры раскроя оболочки.

Рис. 1. Общий вид сооружения

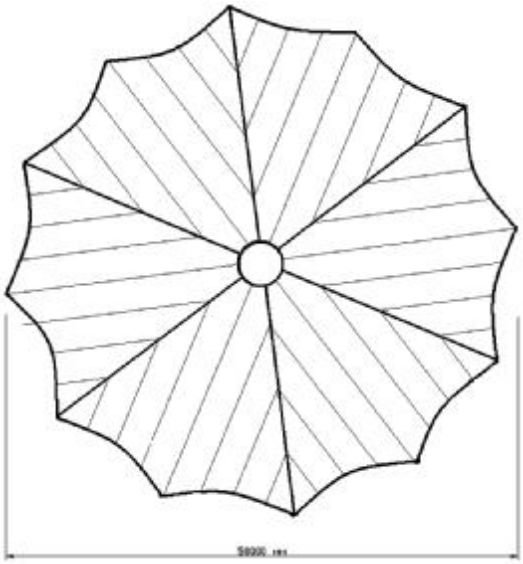


Рис. 2. План раскроя тента

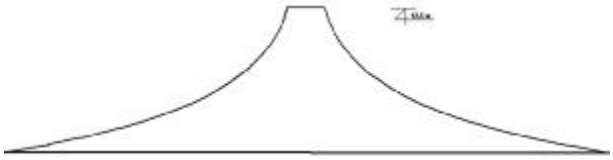


Рис. 3. Профиль тента

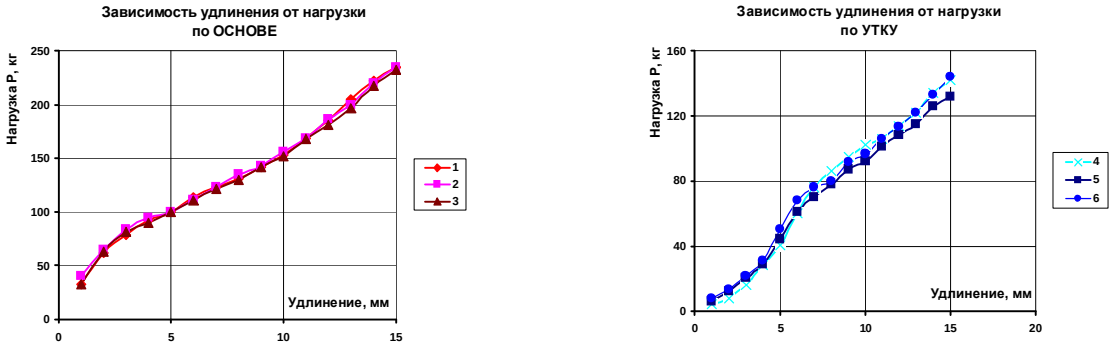


Рис. 4. Результаты испытаний материала на одноосное растяжение

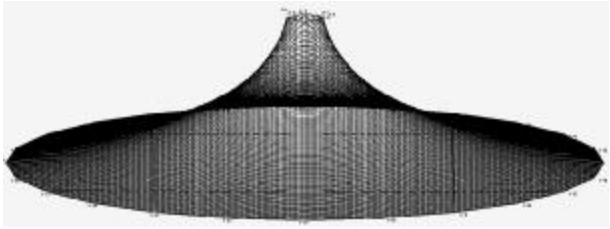


Рис. 5. Общий вид построенной компьютером модели тента

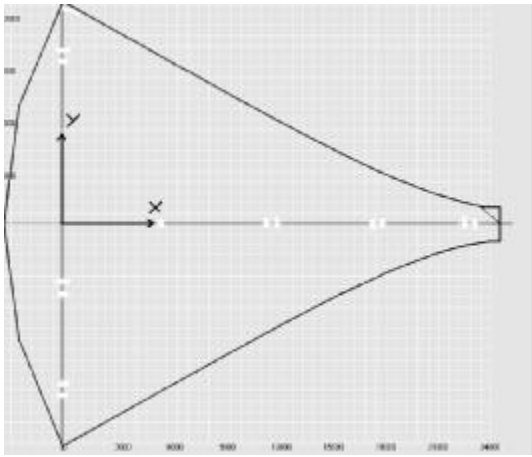


Рис. 6. Схема контура раскроя клина (построена программой в автоматическом режиме. Размер клетки координатной сетки 600 х 600 мм)

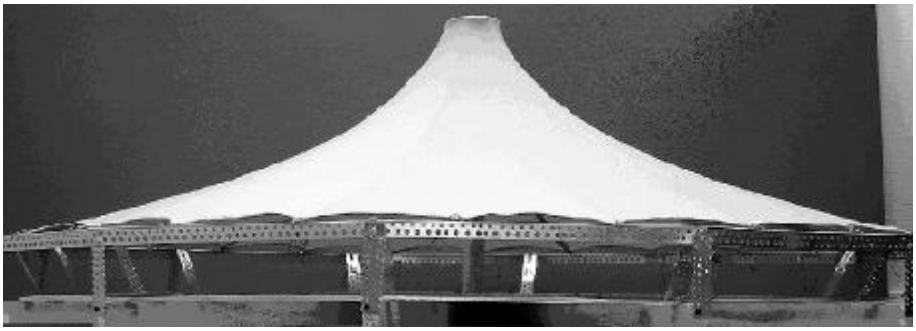


Рис. 7. Модель тентового покрытия

Рис .8. Эксплуатация сооружения в зимний период сопровождается очисткой поверхности тента от снега

Таблица

Сравнения расчетных и реальных значений координат поперечного сечения тентового покрытия

Координата X, мм	Значения ординат поперечного сечения			
	Расчетные данные, мм	Усредненные экспериментальные данные, мм	Средние отклонения	
			мм	%
0	0	0	0	0
2000	356	328	28	8
4000	725	678	47	7
6000	1155	1126	29	3
8000	1633	1700	67	4
10000	2172	2375	203	9
12000	2787	3115	328	12
14000	3505	3909	404	12
16000	4368	4855	487	11
18000	5449	5894	445	8
20000	6900	7321	421	6
22000	9100	9393	293	3
23500	12370	12426	56	0,5

В основе расчета раскроя лежит принцип формообразования тканевых оболочек двоякой кривизны из плоских трансформируемых заготовок. Методика такого расчета описана авторами в работе [2]. В предложенном варианте раскроя описываемого покрытия оболочка составляется из шести одинаковых плоских заготовок – клиньев, как показано на рис. 2. Геометрия контура «типового» клина (рис. 6) рассчитана на ЭВМ с помощью указанного выше пакета программ, разработанного авторами.

В порядке экспериментальной проверки результатов вычисления формы и раскроя оболочки была выполнена модель в масштабе 1:30, показанная на рис. 7.

В порядке проверки методики расчета геометрии тента проведено сравнение расчетных данных (координат точек поперечного сечения) с данными фотометрии реального объекта, показанного на рис. 1. Они сведены в таблицу 1. Как следует из сравнений, отличия между расчетными и натурными данными не превышают 12 %, что находится в пределах точности фотометрического метода.

Проектом не предусматривалась эксплуатация покрытия в зимний период. Однако эксплуатирующая организация решила в порядке эксперимента не снимать тент на зиму. Для снижения снеговой нагрузки производится периодическая уборка снега с тента специальными скребками. На рис. 8 представлена фотография покрытия, сделанная в январе 2009 г.

Литература

1. Пекерман Э.Е., Удлер Е.М. Численный метод определения формы тканевых строительных оболочек // Известия КазГАСУ, 2007, № 2 (8). – С. 56-57.
2. Удлер Е.М., Пекерман Э.Е. Алгоритм наложения сетей с равносторонними ячейками на численно заданные криволинейные поверхности // Успехи современного естествознания, 2008, № 9. – М.: «Академия естествознания». – С. 112.

УДК 624.073-415/419

Л.Р. Хайруллин – ассистент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПАНЕЛЕЙ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СТЫКОМ СРЕДНЕГО СЛОЯ

АННОТАЦИЯ

При изготовлении трехслойных панелей с металлическими обшивками и средним слоем из листов пенополистирола по непрерывной технологии в готовых панелях возникает поперечный стык среднего слоя, расположенный произвольно по длине панели. Одним из предельных состояний трехслойных конструкций при поперечном изгибе является местная потеря устойчивости сжатой обшивки. В статье приведены результаты численных исследований моделей трехслойных панелей. Рассматриваются варианты моделей с различным расположением стыка по длине. Получены зависимости между координатой расположения стыка и несущей способностью панели. Показано, что потеря устойчивости сжатой обшивки происходит у панелей со стыком, расположенным в средней части (1/4-1/3 до 1/2 пролета), и панелей без стыка. В панелях со стыком потеря устойчивости происходит в месте стыка. Указанные результаты имеют хорошую сходимость с данными ранее выполненных экспериментальных и теоретических исследований.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Трехслойная панель, стык среднего слоя, местная потеря устойчивости.

L.R. Khairullin – assistant
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

RESULTS OF NUMERICAL INVESTIGATION OF THREE LAYERS PANEL WITH TECHNOLOGICAL JOINTS IN THE MIDDLE LAYER

ABSTRACT

During the manufacture of three layers panels with a metal shell and the middle layer from polystyrene foam sheets, based on a continuous technology, it is occurred that the final panel has a cross joint of medium layer, which is located randomly along the length of the panel. One of the limiting conditions of three layers structures under transverse stress is the local loss of stability of the compressed shell. The article presents the results of numerical studies of models of three layers panels. The options for models with different location of the junction length are considered. The dependencies between coordinates of the junction and the bearing capacity of the panel are received. The loss of stability occurring in the compressed shell panels with joints, located in the middle part (1/4-1/3 to 1/2 span), and in the panels without junction is shown. In panels with junction the loss of stability occurs in the place of the junction. These results have good convergence with the data of previously carried out the experimental and theoretical studies.

KEYWORDS: Three layers panel, junction of middle layer, the local loss of stability.

При изготовлении трехслойных панелей с металлическими обшивками и с заполнителем из отдельных листов пенополистирола по непрерывной технологии в готовых панелях возникает поперечный стык листов заполнителя, расположенный по длине панели, в общем случае произвольно. Наличие стыка приводит к образованию в зонах, прилегающих к стыку, непроклея обшивки, который, как показывает практика, может достигать величины до 40 мм [1].

Проведенные испытания трехслойных панелей со стыком среднего слоя на поперечный изгиб [2] показывают, что их разрушение происходит из-за потери прочности среднего слоя и местной потери устойчивости сжатой обшивки в месте стыка. В этом случае задача механики деформируемого твердого тела оказывается нелинейной. Одним из эффективных методов решения таких задач является метод конечных элементов.

Численное исследование моделей трехслойных панелей с различным расположением стыка проведено на ВК «Лира-9.4». Для рассмотрения принята плоская конечно-элементная модель. Т.о. обшивки моделировались стержневыми конечными элементами, средний слой – пластинчатыми, с разбивкой по высоте и длине по 1 см. Рассматривались несколько вариантов моделей трехслойных панелей пролетом 3 м и толщиной 100 мм, с различным расположением стыка по длине среднего слоя от 0 до

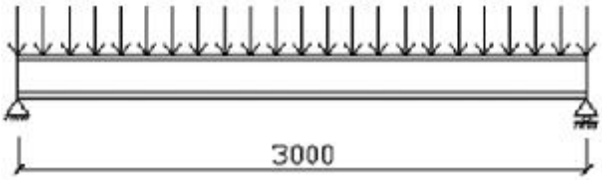


Рис. 1. Расчетная схема трехслойной панели

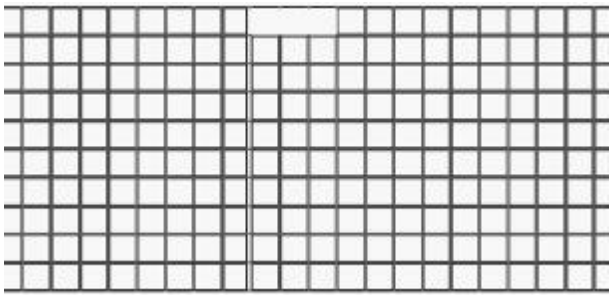


Рис. 2. Фрагмент расчетной схемы трехслойной панели со стыком и непроклеем величиной 30 мм, с разбивкой на конечные элементы

1500 мм. При этом панели со стыком моделировались как без непроклея, так и с непроклеем величиной 10-40 мм.

Расчетная схема трехслойной панели представлена на рис. 1. Фрагмент расчетной схемы со стыком и непроклеем, с разбивкой на конечные элементы представлен на рис. 2.

Исследование напряженного состояния проводилось в геометрически нелинейной постановке с целью учета приращений поперечных сил в итерационном процессе.

В результате расчета выявлены следующие предельные состояния конструкции: потеря устойчивости верхней сжатой обшивки и потеря прочности пенополистирола. В панелях без стыка потеря устойчивости верхней сжатой обшивки происходила в середине панели, в зоне действия максимальных изгибающих моментов (см. рис. 3 и 4).

В панелях со стыком среднего слоя потеря устойчивости верхней сжатой обшивки происходила в середине в тех панелях, в которых стык располагался в диапазоне от *0* до *500-800* мм, в зависимости от величины непроклея. При расположении стыка в диапазоне от *500-800* до *1500* мм наблюдалась потеря устойчивости верхней сжатой обшивки в месте стыка (см. рис. 5 и 6).

Уровень напряжений в панелях без стыка или со стыком от *0* до *500-800* мм там, где потеря устойчивости происходила в середине панели, составляет 740 кг/см^2. В панелях, где потеря устойчивости происходила в месте стыка, – 350-600 кг/см^2, в зависимости от величины непроклея.

В панелях, в которых стык располагался в диапазоне от *0* до *900-1000* мм, происходила потеря прочности ППС от действия поперечной силы. В качестве примера на рис. 7 и 8 представлены изополя напряжений для панели со стыком на расстоянии 300 мм без непроклея и с непроклеем 20 мм соответственно. Считали, что исчерпание несущей способности панели в этом случае происходит при достижении средним слоем величины предела прочности ППС, равной 7 кг/см^2.

Получены зависимости между координатой расположения стыка по длине панели и несущей способностью трехслойной панели. Показано, что потеря устойчивости сжатой обшивки происходит у панелей со стыком, расположенным в средней части (от 1/4-1/3 до 1/2 пролета), и панелей без стыка. В панелях со стыком среднего слоя потеря устойчивости происходит в месте стыка.

Указанные результаты имеют хорошую сходимость с данными ранее выполненных экспериментальных и теоретических исследований [2, 3, 4].

Рис. 3. Потеря устойчивости верхней сжатой обшивки в средней части панели

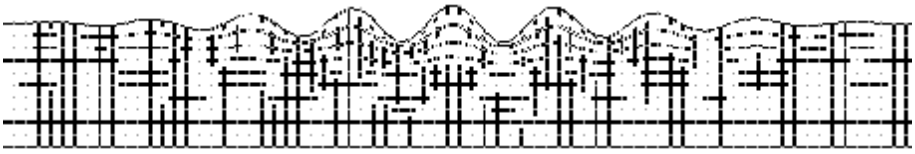


Рис. 4. Фрагмент средней части панели, с местной потерей устойчивости верхней сжатой обшивки

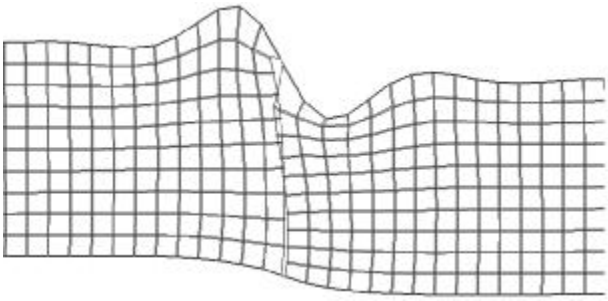


Рис. 5. Потеря устойчивости верхней сжатой обшивки в месте стыка (без непроклея)

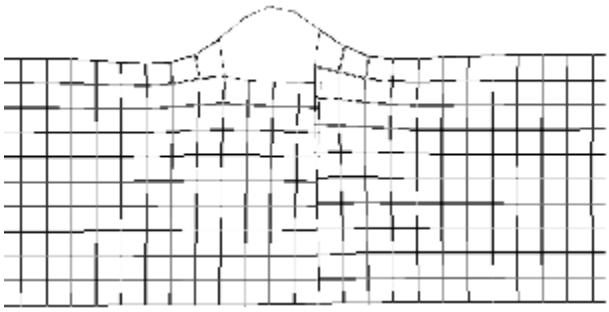


Рис. 6. Потеря устойчивости верхней сжатой обшивки в месте стыка (с непроклеем 40 мм)

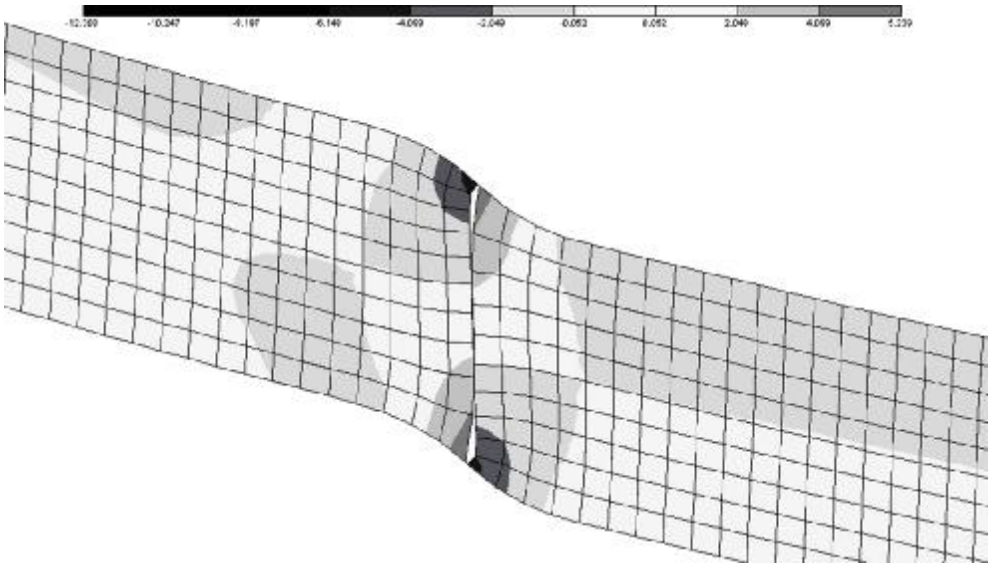


Рис. 7. Изополя напряжений в среднем слое вблизи стыка (без непроклея)

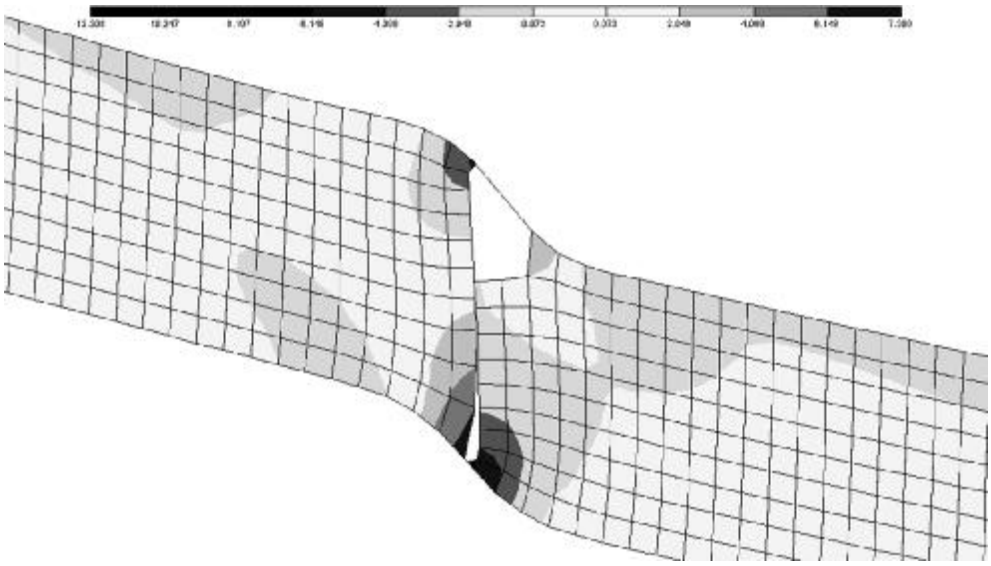


Рис. 8. Изополя напряжений в среднем слое вблизи стыка (с непроклеем 20 мм)

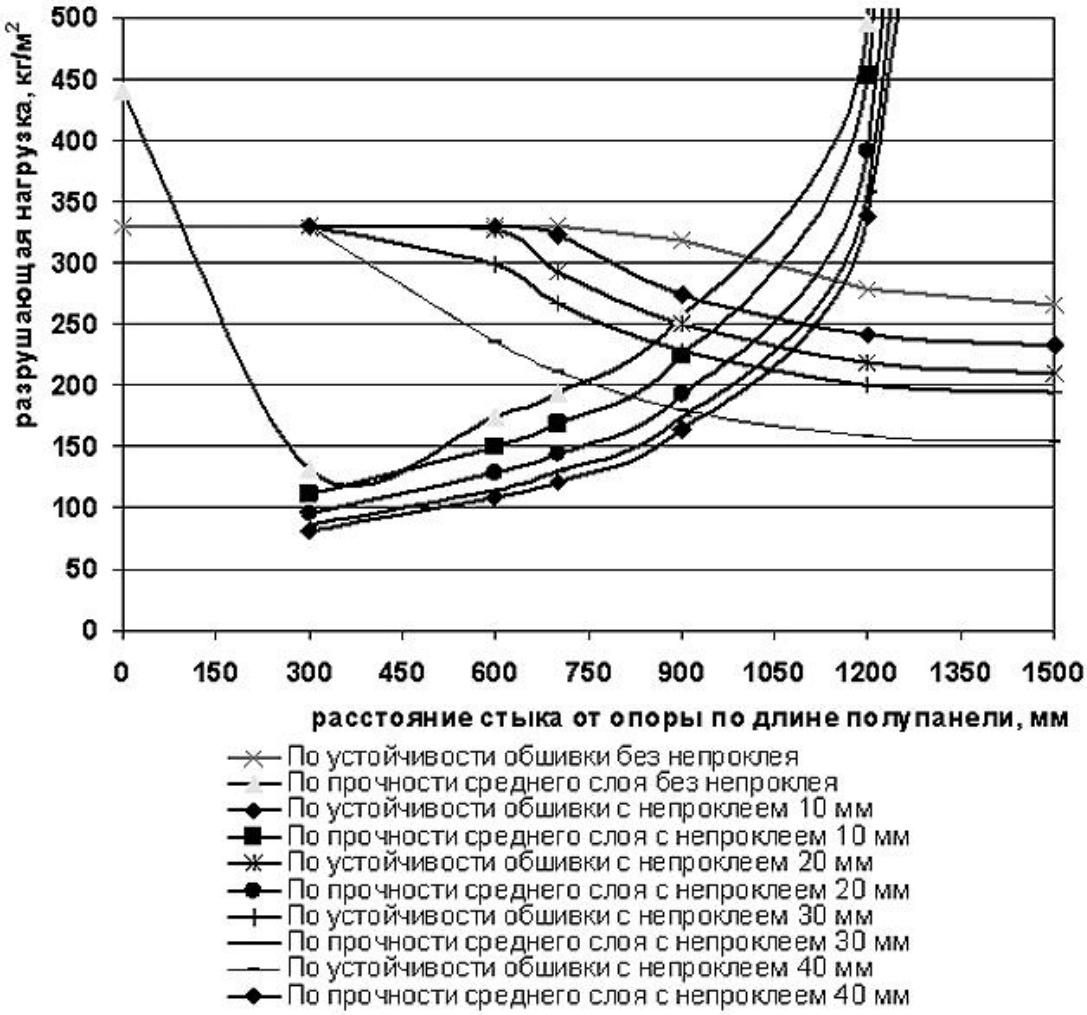


Рис. 9. Зависимость величины разрушающей нагрузки
от наличия и расположения стыка и от величины непроклея

Литература

1. Хайруллин Л.Р. Причины появления дефектов в трехслойных панелях и влияние их на несущую способность // Материалы 56-ой республиканской научной конференции. Сборник научных трудов докторантов и аспирантов. – Казань: КГАСА, 2004. – С. 85-89.
2. Хайруллин Л.Р. Результаты исследования действительной работы трехслойных панелей // Материалы 53-ой республиканской научной конференции. Сборник научных трудов аспирантов. – Казань: КГАСА, 2001. – С. 60-63.
3. Хайруллин Л.Р., Кузнецов И.Л. Экспериментальная проверка значений критических сил потери устойчивости сжатой обшивки трехслойных панелей с технологическим стыком среднего слоя // Вестник ИрГТУ, 2007, №3 (31). – С. 83-85.
4. Каюмов Р.А., Хайруллин Л.Р. Критическая сила для балки на упругом основании при наличии непроклея // Материалы конференции «Наука и практика. Диалоги нового века». – Ч. 2. – Набережные Челны, 2003. – С. 281-283.

УДК 725.8

Р.В. Шипилов – аспирант, ассистент
А.З. Манапов – кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)
Е.С. Перикова – кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА КОНСТРУКЦИИ ТРИБУН СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

АННОТАЦИЯ
Статья описывает примеры и влияние динамических нагрузок на консольные конструкции трибун спортивных сооружений, создаваемые ритмичными действиями зрителей во время проведения различных массовых мероприятий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Динамические нагрузки, конструкции, трибуны, безопасность, проектирование, спортивные сооружения.

R.V. Shipilov – post-graduate student, assistant
A.Z. Manapov – candidate of technical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)
E.S. Perikova – candidate of technical sciences, senior staff scientist
Kazan State Energy University (KSPU)

THE ANALYSIS OF POSSIBLE DYNAMIC LOADS ON STAND STRUCTURES OF SPORTS FACILITIES

ABSTRACT
The article describes the examples and influence of dynamic loads on console design stands of sport facilities; which are created by rhythmical actions of spectators during mass performances.

KEYWORDS: Dynamic loads, structures, stands, safety, design, sport facilities.

Введение

В последние годы динамическая характеристика конструкций стадионов была выдвинута на первый план как область, требующая специального рассмотрения. Это продиктовано возросшим интересом к стадионам для использования их в качестве площадок для проведения мероприятий культурно-бытового назначения, влекущих ритмичные действия аудитории. Кроме того, совершенствование расчетов современных конструкций стадионов вызвано желанием достигнуть лучших точек обзора, свободных от помех (например, колонн), обеспечить максимальную вместимость зрителей для конструкций консольных ярусов, минимизировать массивность конструкций и использовать легкие виды каркасов. Учет вышеизложенных требований приводит к увеличению длины пролетов современных конструкций трибун, которые более восприимчивы к вибрации, чем варианты традиционных конструкций.

Руководство по расчету конструкций под действием динамической деятельности человека было разработано сравнительно недавно.

В литературных источниках встречается не много описанных случаев моментов вибраций, которые вызывают серьезное беспокойство, в известных условиях, потенциал для чрезмерной вибрации присутствует во многих конструкциях существующих стадионов.

Цель данной работы состоит в том, чтобы описать природу динамических нагрузок и реакций и дать представление о том, как проектировать или управлять проблемными местами в конструкциях, чтобы смягчить риск чрезмерной вибрации.

Вибрация вообще не должна влиять на безопасность конструкции, поэтому главная задача при проектировании заключается в том, чтобы минимизировать это влияние на саму конструкцию и впоследствии не вызвать дискомфорт или тревогу аудитории.

Динамические воздействия, произведенные группами людей, зависят в большей степени от типа произведенного действия и степени координации

участников. Понимание различных человеческих действий, которые могут возникнуть во время событий на стадионе, является главным критерием в оценке потенциальной вибрационной реакции конструкции на происходящее.

Есть два основных типа человеческого динамического воздействия. Первый – это пропорциональное количество толпы может создать внезапное совместное единое действие (такое как вставание при забивании гола). Такой тип действия произведет переходные вибрации, но они быстро затухают и вообще не являются серьезным опасением. Второй тип связан с повторяющимися единовременными действиями толпы, такими как: прыжки, раскачивания или колебания за единый промежуток времени зачастую в ответ на музыкальный ритм. В этом случае, если частота колебаний близка к собственной частоте конструкций, вибрация может создать цикл колебаний, приводя к появлению резонанса [1]. Частоты выражаются в колебаниях в секунду или в герцах (Гц).

Повторные динамические воздействия, такие прыжки или колебания толпы, могут быть с успехом рассмотрены, как сумма многих гармонических составляющих. Сила гармоничности меняется в зависимости от времени по синусоиде. Комплекс повторяющихся силовых воздействий может быть представлен как сумма множества точек синусоиды с собственной величиной и фазой кратных основной частоте форсирования. Первая гармоника – точка силы, действующая в базовом коэффициенте повторившегося действия; вторая гармоника в удвоенном базовом коэффициенте, третья гармоника в трехкратном и так далее. Эти гармонические силы иногда выражаются как «Коэффициенты Динамической Нагрузки (DLFs)», определенные как величина гармонической силы, разделенной на вес человека или группы людей, вовлеченных в действие. Коэффициент динамической нагрузки 0,5 означает, что амплитуда динамического усилия в данной частоте равна половине веса людей, производящих эту амплитуду [4].

Если конструкция приведена в движение, скажем, ударом, последующая -вибрация будет различна в каждой точке конструкции. Однако, анализ движений покажет, что частоты вибрации не распределены непрерывно, но содержат несколько дискретных значений. Если компонент движения исследовать отдельно на каждой частоте, то каждый одиночный частотный компонент имеет свое собственное пространственное распределение или вибрационную «форму модальности», которая может быть описана относительным отклонением (или скоростью или ускорением) в каждой точке конструкции на той частоте. Эти частоты свободного колебания и формы называют режимами собственных колебаний конструкции [5]. Существующие конструкции имеют бесконечное число модальностей, но человеческие действия могут обычно сгенерировать только несколько модальностей естественной низкой частоты [2].

Вибрационная реакция конструкции к непрерывным повторенным динамическим воздействиям зависит от отношения -частоты силы воздействия к собственной модальной частоте конструкции. Если частота силы будет намного ниже, чем модальность воздействия, то величина циклического отклонения модальности будет близка величине значения пика силы, примененной статически. Если -частота силы -намного выше, чем модальность воздействия, реакция ограничена механической инерцией конструкции, и циклическая амплитуда отклонения будет меньше, чем статическое значение пика силы [3]. Однако, если частота силы близко к собственной частоте модальности, тогда произойдет резонанс, в котором динамические отклонения набирают более высокую амплитуду цикл за циклом, чем прогиб от статической нагрузки, и намного выше, если эти две частоты очень близки, частота затухания очень низкая. Рис. 1 показывает отношение прогиба от динамической нагрузки к прогибу от статической нагрузки как функцию частотного отношения (частота воздействия/ собственная частота) [7].

Рис. 1. Кривая резонансного усиления

Если частота непрерывной гармонической силы воздействия равна собственной модальной частоте, тогда динамический коэффициент усиления – $1/(2e)$, где e – коэффициент затухания. Затухание колебаний стальных конструкций стадиона низкое (находится в области от 0,01 до 0,02), и, таким образом, динамическое усиление реакции может быть между 25 и 50 [11]. Поэтому большое динамическое усиление может следовать из воздействия близкого к собственной частоте.

Есть множество человеческих действий, которые производят повторяемые вертикальные воздействия.

Прыжки – действие, производящее самое сильное ритмическое вертикальное воздействие, также более низкие степени воздействия связаны с колебаниями, топотом и действиями сидящей толпы.

На практике некоторые индивиды могут прыгать в пределах до 3,5 или 4 Гц, в то время как для больших групп людей при хорошей координации трудно подскочить в частотах выше приблизительно 2,75 Гц. Поэтому полное динамическое усилие от действия толпы не увеличивается линейно с участием числа людей [6].

Существует небольшое количество данных, доступных для определения других форм воздействия. Предложения в рис. 2 разработаны по результатам ограниченных измерений. Они могут использоваться по отношению к небольшим группам [7].

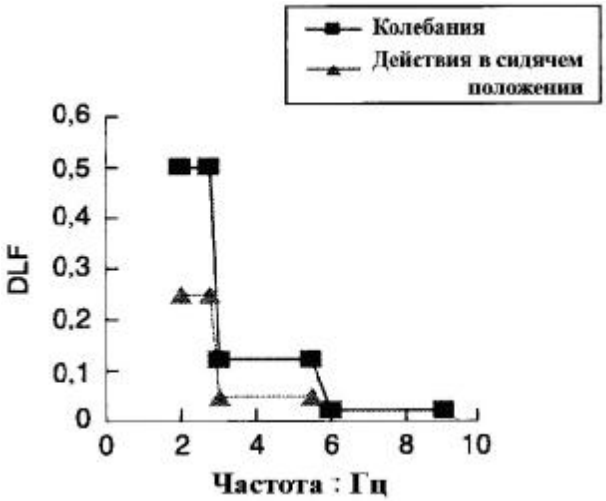


Рис. 2. DLFs для других вертикальных воздействий

Сценарии расчета

Различные типы явлений приведут к различным действиям аудитории и динамическим нагрузкам. В стадии проектирования должны быть выявлены соответствующие худшие сценарии. Самый затруднительный вариант тот, где большая часть аудитории может участвовать в подпрыгиваниях, а трибуна вступает в адекватную реакцию при этом условии. Подобное может соответствовать любому типу мероприятий. Для этого требуется собственная вертикальная частота выше, чем 6 Гц [9].

Достигнуть в расчете собственных частот выше 6 Гц почти невозможно, и большинство существующих стадионов не достигают этого частотного уровня. Например, некоторые стадионы никогда, возможно, не испытывают воздействие от прыжков толпы, и поэтому допустим расчет для меньших сил воздействия. Если концерты организовываются относительно редко, тогда на основании анализа нескольких прошедших мероприятий возможно оценить ожидаемые действия толпы.

В литературе информация по боковым динамическим воздействиям от индивидуумов и длинами толпы очень ограничена. Колебания из стороны в сторону являются самым распространенным результатом поперечной нагрузки. Доступные измерения показывают в разумной совместимости оба фактора воздействия раскачивания в горизонтальной плоскости – характерной частоты -и гармонической амплитуды. Для целей расчета предложена полоса частот от 0,5 до 1,5 Гц.

Коэффициенты динамической нагрузки для небольших групп людей, выведенных из анализа Фурье измеряемых сил, представлены в таблице 1 [4]. Эти значения очень консервативны для больших групп, так как для соотношения людей в толпе характерно колебаться в противоположном направлении к источнику,- аннулируя при этом часть потенциальной силы воздействия. Существенные -соотношения силы возможны только в первой гармонике.

Циклические действия «вперед-назад», производимые людьми, являются не значительными и не рассматриваются в расчете. Однако, для консольных трибун воздействие модальности «вперед-назад» может стимулировать воздействие вертикальных сил, где низкочастотная модальность трибун содержит и вертикальные, и горизонтальные компоненты в своей форме.

Определение собственных частот

Основываясь на вышесказанном, ясно, что собственные частоты конструкции – это основные параметры в оценке динамической характеристики. Конструкции трибун в основном имеют нерегулярную конструктивную форму, и метод вычисления собственных частот должен это учитывать. Возможно оценить собственные частоты на основе вычислений с использованием унифицированных аналитических

Таблица 1

Факторы динамических нагрузок, применимые к раскачиваниям

Направление раскачиваний	Частотный диапазон: Гц.	Фактор динамической нагрузки (1-я гармоника)
Влево – вправо	0,5 – 1,5	0,25
Вперед – назад	0,5 – 1,5	0,05

формул или с использованием метода конечных элементов на ЭВМ в двухмерной или трехмерной постановке. В последнем случае возможно рассмотрение отдельных узлов, например, узлов сопряжений балок трибун. С целью оценки, рекомендации собственной частоты –могут быть взяты как для разгруженной конструкции. В некоторых случаях гибкость фундамента может значительно сократить собственные частоты. Это необходимо указать. -Неконструктивные элементы могут прибавить существенную массу и жесткость к трибунам. В этом случае модель должна включать всю постоянную массу.

Последние исследования в лабораториях и на существующих конструкциях подтвердили, что присутствие неподвижных людей может значительно изменить динамические свойства трибун. Неподвижная толпа может обеспечить уменьшение собственных частот, увеличение модальной массы и существенное увеличение затухания колебаний [10].

Для существующих конструкций вычисление собственных частот может быть дополнено натурными испытаниями. Простые испытания, такие как ударные испытания опорных участков или регистрация окружающей вибрации, могут открыть существующие ключевые частоты, но не смогут опознать модальные формы или модальные массы. Кроме того, испытания опорных участков могут быть недостаточно мощными, чтобы воздействовать на глобальные модальности трибуны, и, конечно, не затронут воздействия боковых сил. Поэтому такие простые испытания должны использоваться в сочетании с конечным анализом элемента, чтобы гарантировать правильную интерпретацию [2]. Полное модальное испытание, в котором и сила воздействия, и динамические характеристики измерены в совокупности точек, может снабдить более полным обоснованием аналитических прогнозов и быть особенно ценным, когда неконструктивные элементы вносят существенную часть в жесткость конструкции.

Оценка, основанная на собственной частоте

Цель достижения максимальной собственной частоты состоит в том, чтобы гарантировать, что недопустимая резонансная реакция не сможет расти во время предусмотренного действия аудитории. Для этого необходимо, чтобы -собственные частоты превысили самую высокую частоту, при которой аудитория осуществляет значительную силу возбуждения. Когда собственные частоты превышают значения, данные в таблице 2, конструкцию считают как приемлемую для установленной категории действия аудитории [2]. Цель для спортивного использования состоит в том, чтобы достигнуть собственной частоты вне диапазона, легковозбудимого основной гармоникой, а для эстрадных концертов – первых двух гармоник.

Также в некоторых случаях это может вести непосредственно к оценке модальности вибраций против этих критериев.

Влияние размещения людей на модальные свойства

Измерения на конструкциях трибун показали, что очевидные динамические свойства трибуны значительно различны, когда конструкция заполнена пассивными людьми и когда вся группа людей активно воздействует на конструкцию. Например, при синхронном подскакивании конструктивные свойства подвержены ущербу не значительно. Графики 3–5, выведенные из измерений, проделанных с помощью программы «Sache et al», показывают коэффициенты изменений для собственной частоты, модальной массы и дополнительного модального затухания, как функцию массы пассивных людей к конструктивной массе [10].

Приемлемые уровни вибрации

Критерии вибрации предназначены для определения уровней, ниже которых вряд ли будет существенный дискомфорт и/или тревога. Существуют зарегистрированные случаи, когда вертикальное ускорение трибун на концертах превысило 30% *g* без беспокойства для участников. Активные участники танцующей аудитории могут быть в достаточной степени невосприимчивы к вызванной ими вибрации, если вибрация передается к смежным площадям с несколькими улицами и гостевым областям. Однако, тот же самый уровень вибрации может быть воспринят как тревожный. Например, колебания в офисах становятся уже -неудовлетворительными выше приблизительно 0,5 % g, а для обеденных залов/ танцплощадок 2% g [12].

Таблица 2

Минимальная естественная частота, Гц

Категория	Вертикаль	Горизонталь
Спортивные мероприятия	3,5	1,75
Эстрадные концерты	7,0	1,75

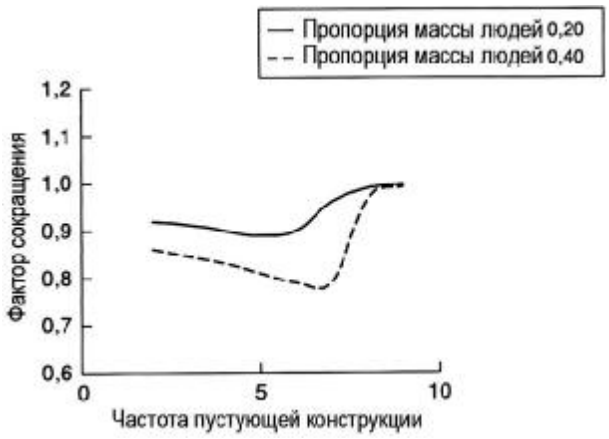


Рис. 3. Фактор сокращения

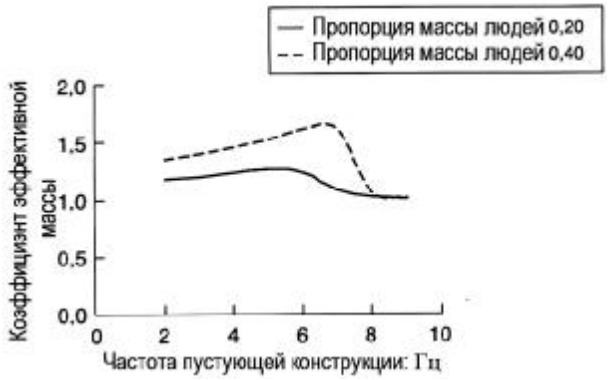


Рис. 4. Коэффициент эффективной массы

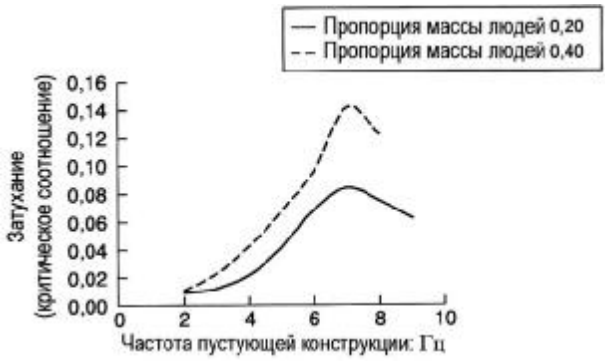


Рис. 5. Затухание в пустующей конструкции

Было предложено, чтобы вертикальная амплитуда ускорения яруса была ограничена 30% g под серьезными типами воздействия аудитории. Рекомендованная максимальная амплитуда вертикального отклонения 10 мм. Это призвано уменьшить человеческие риски под ярусом подверженной видимой величиной вибрации. Этот предел более важен, чем 30% критерий ускорения g для частот ниже 2,7 Гц [12].

Вертикальная вибрация на общих площадках и гостевых областях должна быть ограничена 2% g [12].

Люди более чувствительны к горизонтальным вибрациям, нежели к вертикальным. Для горизонтальных предложено, чтобы пиковое ускорение не превышало 6% g [12].

Управление вибрацией

Если собственные частоты восприимчивых модальностей превышают приблизительно 7 Гц в вертикальном направлении и 1,75 Гц в горизонтали, тогда не должно быть никаких реальных опасений. Придание жесткости конструкции для достижения более высоких собственных частот, возможно, не достижимо в пределах архитектурных ограничений современных трибун, а проектные вычисления необходимого типа конструкций могут указать риск чрезмерной вибрации. На практике чрезмерная вибрация возникнет только тогда, если будет интенсивное воздействие аудитории по коэффициенту колебаний близких к собственной частоте трибуны, а вероятность выполнения обоих условий одновременно будет мала. Поэтому в большинстве случаев, вибрация вряд ли будет воспринята как нечто тревожное и есть только небольшой шанс, возникновения чрезмерной вибрации. Существует достаточно методов, которые могут использоваться для управления вибрационными воздействиями и которые могут быть востребованы только для проведения определенных мероприятий: использование дополнительных временных или демонтирующихся опор для интенсивных воздействий; обеспечение амортизаторами колебаний; сохранение нескольких первых рядов мест (консольных ярусов) пустыми, когда ожидается интенсивное воздействие на конструкции; обеспечение контроля действий аудитории; отключение звуковой системы, если колебания превышают предопределенный уровень [8].

Также можно отметить, что и инженерия конструкций, и методы контроля помещений и оборудования могут быть приняты отдельно или вместе. Вероятно, что во время проведения культурно-массовых мероприятий могут возникать проблемы, и общее понимание типов воздействий, которые вызывает аудитория, может быть получено из опыта ранее проведенных мероприятий.

Литература

1. CEB, Bulletin d'information no. 209, 'Vibration problems in structures - practical guidelines', 1991.
2. BS6399 Part 1 'Code of practice for dead and imposed loads', BSI, 1996.
3. Scottish Office and Dept of National Heritage: 'Guide to Safety at Sport Grounds', 1997.
4. 'Dynamic performance requirements for permanent grandstands subject to crowd action - Interim guidance on assessment and design', Institution of Structural Engineers, 2001.
5. Pernica, G., *Dynamic Load Factors for Pedestrian Move-ments and Rhythmic Exercises,* CAAC, 1990.
6. Ellis, B. R. and Ji, T., *On tlie Loads Produced by Crowds Jumping on Floors,* EuroDyn, 2002.
7. Allen, D. E., 'Building Vibration from Human Activ-ities', *ACI Concrete International: Design and Construction.* Vol 12, No. 6,1990.
8. Dickie, J. F. and Gibbs, S. J., 'Temporary seating assem-blies'.
9. Ellis, B. R. and Ji, T., 'Human-structure interactions in vertical vibrations', *Proc. Inst. Civil. Eng. Structures and Buildings,* 1997.
10. Sachse, Pavic and Reynolds, 'The influence of a group of humans on modal properties of a structure' EURODYN, 2002.
11. Clough, R. W. and Penzien, J., *Dynamics of Structures,* 2nd Edition, McGraw Hill, 1993.

Kasperski, M., *Safety assessment of stadia in regards to human induced vibrations,* Safer solutions in sports and leisure, ICE 5th Apr. 2002.

УДК 624.15.04

В.Р. Мустакимов – кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ОПЫТ УСИЛЕНИЯ ФУНДАМЕНТОВ ЗДАНИЙ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ТАТАРСТАНА

АННОТАЦИЯ

Приведен опыт проектирования и реализации проектных решений по усилению оснований и фундаментов зданий, возведенных на различных генетических типах грунтов Татарстана, по результатам инженерного обследования. Изложены современные способы подведения фундаментов усиления под существующие фундаменты мелкого заложения и свайные фундаменты в стесненных условиях реконструкции и на откосах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Несущая способность, негативное трение, устойчивость откоса, фундамент, свая.

V.R. Mustakimov – candidate of technical science, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE EXPERIENCE OF SHORING OF FOUNDATIONS IN ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF TATARSTAN

ABSTRACT

The experience of design and design decisions implementation on strengthening of base and building foundations, erected on different genetic soil types of Tatarstan, based on results of engineering investigation is presented. Modern methods of underpinning to current shallow foundations and shaft foundations in constrained conditions of reconstruction and on slopes are stated.

KEYWORDS: Bearing capacity, negative friction, slope stability, foundation, shaft.

При реконструкции зданий и сооружений приходится заниматься усилением различных видов фундаментов, в том числе с высокой степенью физического износа, расположенных на грунтах оснований, сложенных из различных генетических типов, и на откосах. Рациональный выбор решения по усилению фундаментов и закреплению грунта основания является ответственной инженерной задачей. Накопленный опыт проектных, усилительно-восстановительных и научно-исследовательских работ в области фундаментостроения [1, 2, 3] позволяет предложить наиболее надежные и эффективные методы закрепления грунтов и усиления фундаментов, некоторые из реализованных в последний период приведены ниже.

Усиление свайных фундаментов каркасного здания методом подведения ленточных и плитных ростверков на буронабивных и буроинъекционных сваях в просадочных грунтах

Здание спортивного зала Камской государственной инженерно-экономической академии (КГИЭА) в г. Набережные Челны размером LxB=78x27м реконструируется с перепланировкой помещений для размещения аудиторий и лабораторий. В связи с изменением функционального назначения здания; увеличения встроенной этажности; повышения нагрузок на каркас и фундаменты 2-х этажного здания было проведено инструментальное обследование строительных конструкций и фундаментов с проверочными расчетами при помощи ППП «Лира» и «Скад» по схеме «здание-фундамент-основание». Каркас здания из сборных железобетонных конструкций по серии 1.020-1/83 с наружными кирпичными стенами. Здание имеет рамно-связевую, конструктивную систему с конечной жесткостью.

Площадка исследований сложена аллювиально-делювиальными отложениями (adQ_{II-III}), представленными лессовидными суглинками, перекрытыми с поверхности насыпными грунтами (tQ_{IV}) и подстилаемыми на глубине 25 м неогеновыми и пермскими отложениями. Под подошвой ростверков свайного фундамента расположен суглинок просадочный, лессовидный, в твердом состоянии, макропористый, мощностью 6,9 м. Нижняя граница просадочного суглинка ИГЭ-2 расположена на уровне абсолютных отметок 106,79 м БС. Суглинок – неводостойкий, размокаемый. При водонасыщении легко переходит в текучее состояние с предельным

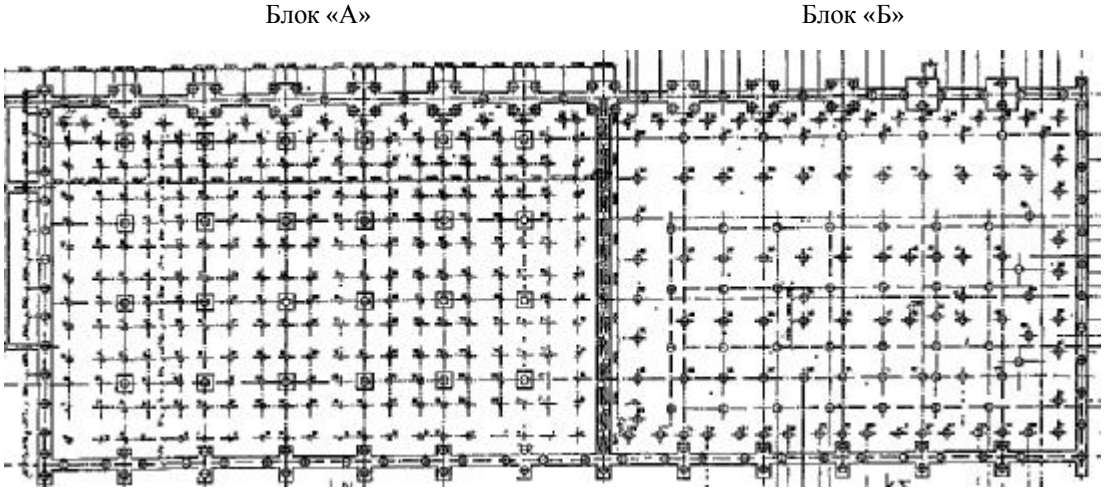


Рис. 1. Схема плана усиляемого свайного фундамента с выделением блоков здания
Блок «А» – со стесненными условиями производства работ и использованием СБУ-100 для изготовления БИСУ-20-15-45 в ограниченном пространстве техподполья ; Блок «Б» – с возможностью использования буровых механизмов для изготовления БНС-20-60 внутри двухсветного пространства со свободным въездом механизмов

показателем текучести $I_L \geq 1{,}0$ (g =17,8 *кН/м³*, g_S =27,1 *кН/м³*, g_d =15,2 *кН/м³*, g_{Sat} =19,6 *кН/м³*, j =24⁰, $_{sat}$=16⁰, *C*=27,5 *кПа*, C_{sat}=18,0 *кПа*, *E*=12,1 *МПа* при *W*=16%, E_{sat}= 7,6 *МПа* при S_r >0,85, при *P*=100 *кПа* =0,0174, при *P*=200 *кПа* =0,0232, при *P*=300 *кПа* =0,0300, =62-85 *кПа*, *W*=16%, W_{sat}=29%, S_r=0,59, I_L=1,22, *e*=0,783, k_f=0,027 *м/сут*). Ниже просадочного грунта расположены: ИГЭ-3 – суглинок непросадочный, твердый, пылеватый, мощностью 3,5 м (103,29 м) БС; ИГЭ-4 – суглинок просадочный, лессовидный, макропористый, твердой консистенции мощностью 2,0 м (101,29 м) БС; ИГЭ-4 снова подстилается ИГЭ-3 мощностью 2,5 м (98,79 м) БС. Лессовые суглинки до глубины 12,5-13,3 м обладают просадочными свойствами II типа. Просадка S_{sl} от собственного веса грунта при W_{sl} составляет S_{sl}=28,9-35,3 *см*. Глубина H_{sl}, до которой при расчетах свай производилось суммирование сил негативного трения, при просадке массива грунта составляет 11,8 м.

Существующие фундаменты здания – свайные с отдельно стоящими и ленточными ростверками из монолитного железобетона. Сваи буронабивные железобетонные (БНС) длиной 16 м, диаметром 600 мм (рис. 1).

Полевые испытания пробных БНС в просадочных грунтах с замачиванием основания констатировали недостаточность длины свай, равной 16 м. Минимально допустимая расчетная длина БНС *d*=600 мм должна составлять *l*=20 м вместо *l*=16 м. По предложению автора, выполнены работы по усилению существующего свайного фундамента методом подведения под подошву существующих столбчатых ростверков, дополнительных свайных фундаментов. Фундаменты усиления состоят из ростверков соответственно: в блоке «А» – ленточные перекрестные ростверки на буроинъекционных сваях усиления диаметром 150 мм с двухуровневыми уширениями диаметром по 450 мм, расчетной длины 20 м (БИСУ-20-15-45); в блоке «Б» – сплошной плитный ростверк на буронабивных сваях усиления диаметром 600мм длиной 20 м (БНС-20-60). Сваи усиления выполнены с полной прорезкой просадочных слоев и опиранием на подстилающий непросадочный слой грунта (рис. 2). Уширение на отметке -13,22 м расположено на кровле непросадочного грунта. Второе опорное уширение расположено в лобовой части БИСУ-20-15-45 на отметке -22,22 м.

Расчет произведен по принципу установления дефицита несущей способности существующих БНС, выражен как разница между общей расчетной нагрузкой от здания (после его реконструкции) на уровне подошвы свайного фундамента и суммарной допустимой нагрузкой на расчетное количество свай. В техническом подполье (блок «А»), где высота помещения ограничена 1,9-2,1 м, выполнены БИСУ-20-15-45. Несущая способность F_n и дополнительная нагрузка F_n^I на сваи усиления БИСУ-20-15-45 и БНС-20-60 в просадочных грунтах для анализа результатов расчета определены по СНиП 2.02.03-85 [4] и справочнику проектировщика [5]. Алгоритмы расчетов приведены в таблице 1.

Для изготовления такого типа свай в стесненных условиях производство работ осуществлено при помощи универсальной малогабаритной бурильной установки СБУ-100 с инъекцией пластичной цементно-песчаной смеси марки М 300 в полость скважины с уширениями. Специальные работы выполнены НППФ «Фундаментспецремонт». В блоке «Б», где внутреннее пространство позволяет выполнять сваи при помощи габаритной буровой техники, были изготовлены

а) б)

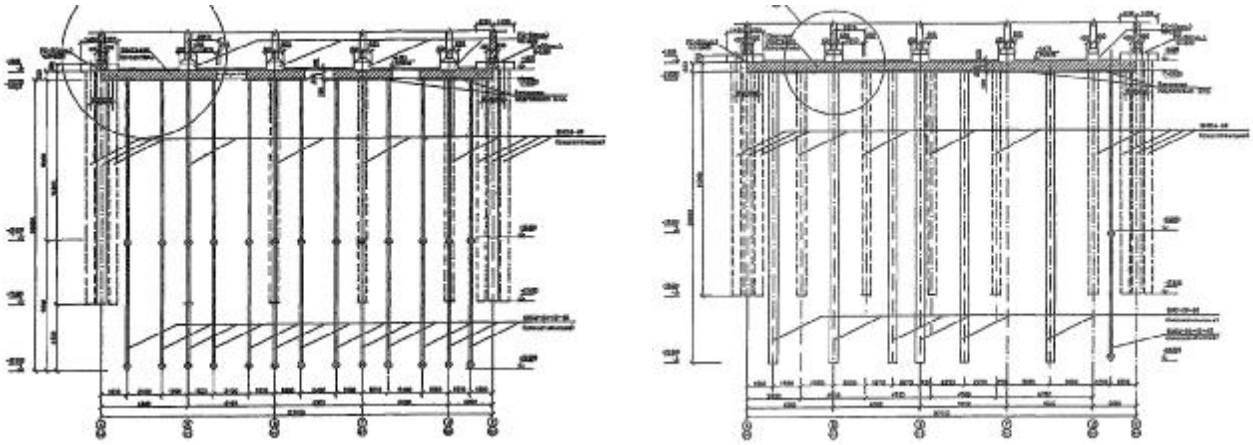


Рис. 2. Схемы поперечных разрезов: а – по блоку «А» со стесненными условиями производства работ и использованием СБУ-100 для изготовления БИСУ-20-15-45 длиной 20 м с двухуровневыми уширениями; б – по блоку «Б» с возможностью использования буровых механизмов для изготовления БНС-20-60 длиной 20 м

а) б)

Рис. 3. Рабочие моменты производства работ по усилению свайных фундаментов здания КамПИ (2008 г.) а – блок «А» со стесненными условиями производства БИСУ-20-15-45 в техподполье СБУ-100 ; б – блок «Б» с возможностью использования буровых механизмов для изготовления БНС-20-60 и длиной 20м

Таблица 1

СНиП 2.02.03-85 [4]	Справочник проектировщика [5]
Расчет произведен исходя из условия: $N \le N_D$, *кН*	Расчет произведен исходя из условия: $F_n \ge F_n^I$, *кН*
Несущая способность сваи усиления: $F_n = g_c\left(g_{cR}RA + u\sum g_{cf} f_i h_i\right)$, *кН*	Несущая способность сваи усиления: $F_n = \frac{A}{H_{sl}}\sum_{i-1}^{n}\left(g_{sat,i}\cdot h_i - p_{sl,i}\right)h_i$, *кН*
Допустимая нагрузка на сваю: $N_D = \frac{F_n}{g_k} - g_c P_n$, *кН*	Площадь грунта, вокруг сваи: $A_p=(0,5l+0,2H)l-A_{com}$, $м^2$ – для крайней; $A_{cor}=p(0,5l+0,2H)^2/4-A_{com}$, $м^2$ – для угловой
Отрицательная сила трения P_n: $P_n = u\sum_0^{h_{sl}} t_i h_i$, *кН*	Толща проседающего грунта: $H_{sl,n} = H_{sl} - \frac{s_{sl,g}^I}{e_{sl}}$, м
Сопротивление, до *h* просадочной толщи: $t_i = z\, s_{zg} tg_I + c_I$; *кПа*	Дополнительная нагрузка на сваю: $F_n^I = g_c u\sum_{i=1}^{n} g_{cf} f_{ni} h_i$, *кН*

буронабивные железобетонные сваи БНС-20-60 из бетона В25. Рабочие моменты усиления свайных фундаментов на этапе подготовки к армированию ростверков представлены на рис. 3.

Усиление ленточного фундамента из бутовой кладки методом подведения сплошного плитного фундамента с обжатием грунта основания напорной инъекцией

В геоморфологическом отношении обследуемое двухэтажное с цокольным этажом кирпичное здание расположено в пределах второй надпойменной террасы левобережья реки Волги, на улице Лобачевского города Казани. В геологическом строении площадки обследования принимают участие современные техногенные (tQ_{IV}) и аллювиально-делювиальные отложения ($adQ_{II\text{-}III}$). Основанием ленточных фундаментов, выполненных из бутовой кладки на известково-песчаном растворе, служит супесь твердой консистенции, проявляющая просадочные свойства I-го типа. Обследованием строительных конструкций здания установлено наличие трещин и деформаций, классифицируемое как недопустимое состояние.

Проектом реконструкции предусматривалось: изменение фунционального назначения с перепланировкой жилых помещений в лабораторные помещения «Микротех»; надстройка еще одного этажа; увеличение нормативной нагрузки на полы цокольного этажа и междуэтажные перекрытия от 150 до 400-500 кгс/м^2. По результатам сравнения различных вариантов принят и реализован на практике вариант, сочетающий в себе комплекс инженерных мер, позволяющий: повысить прочность ослабленного физическим износом фундамента; снизить давление на грунт основания; создать силовой пол в цокольном этаже для восприятия значительных нагрузок, включая их динамическую составляющую от вновь устанавливаемых станков. Сущность способа в том, что ленточный фундамент перестраивается в плитный фундамент с предварительным обжатием грунта в основании фундамента усиления (рис. 4).

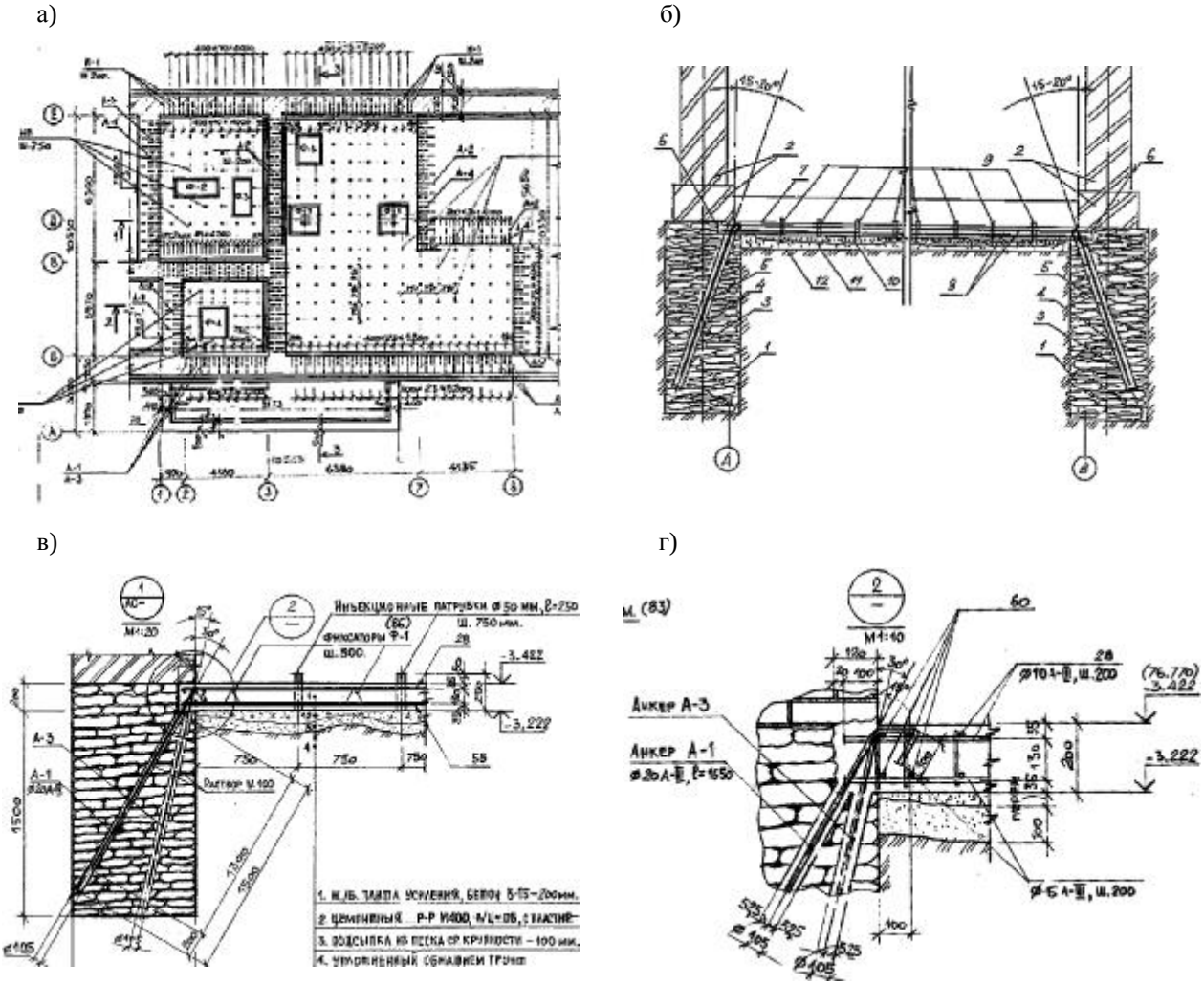


Рис. 4. Схема усиления ленточного фундамента из бутовой кладки методом подведения плитного фундамента с обжатием грунта основания напорной инъекцией раствора а – план фундамента; б – разрез; в– узел 1; г – деталь 2; 1 – фундамент; 2 – стена; 3 – шпуры; 4 –раствор; 5 – анкер; 6 – штраба; 7 – плита усиления; 8 – арматура; 9 – патрубки; 10 – раствор; 11 – щебень; 12 – уплотненный грунт

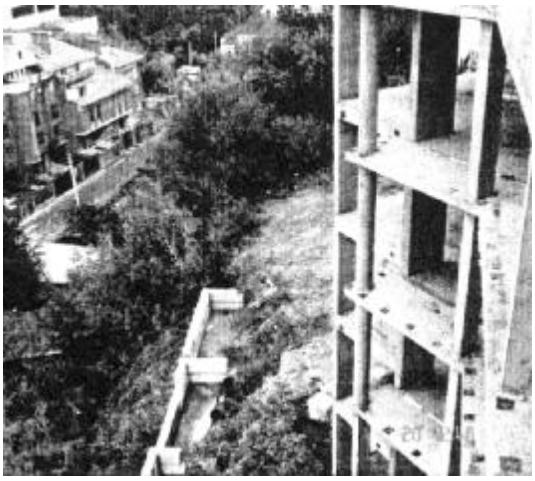
Для этого по периметру всех внутренних и наружных стен с отметки пола цокольного этажа были выполнены арматурные анкеры 5 (*d=20 мм, А-III*) длиной 1000-1500 мм, установленные наклонно к вертикали с шагом 250 мм вдоль стен. Арматурные анкеры были установлены в предварительно просверленные в бутовой кладке фундаментов несквозные шпуры 3 диаметром 75 мм с шагом расположения вдоль фундаментов 400 мм. Наклонные шпуры изготовлены малогабаритным буровым станком СБУ-100. В полость шпуров, после их продувки сжатым воздухом, произведено инъецирование пластичной цементно-песчаной смеси под давлением 3 атм. Ограничение величины давления инъецируемого раствора 3-я атмосферами вызвано тем, что техническое состояние кладки ленточных фундаментов с физическим износом 60% имеет пониженную величину расчетного сопротивления кладки на растягивающие усилия. Инъекция цементно-песчаного раствора пластичной консистенции позволила упрочнить конструкцию кладки бутового фундамента и надежно заанкеровать арматурные стержни анкеров 5. По периметру стен, на уровне обреза фундамента, выполнены горизонтальные штрабы 6, в которые заведены арматурные сетки плиты усиления 8, контурные каркасы и оголовки арматурных анкеров 5. Перед бетонированием сплошной плиты усиления 7, по всей площади, с регулярным шагом 750 мм были установлены инъекционные патрубки 9 из стальных труб диаметром 50 мм, длиной по 250 мм. Через 30 суток нормально-влажностного ухода за бетоном плиты, посредством патрубков, в предварительно отсыпанную щебеночную подготовку 11, под давлением 4-6 атм. был закачан пластичный цементно-песчаный раствор 10 (М100 с В/Ц = 0,6). Инъекция раствора под опорную фундаментную плиту усиления позволила произвести предварительное обжатие и уплотнение грунта в основании плиты до приложения основной нагрузки, предусмотренной реконструкцией, и в конечном счете предельно снизить дополнительную осадку фундаментов здания. Для проведения специальных видов работ по реализации предложенного метода усиления фундаментов была привлечена НППФ «Фундаментспецремонт». Мониторинг за техническим состоянием строительных конструкций и перестроенным фундаментом по предложенному методу после реконструкции здания показывает эффективность предварительного статического обжатия грунта в основании фундамента за счет инъекции крепящего раствора под плиту усиления. Инъекция раствора осуществлялась в два этапа: вначале под давлением 4 атм. с учетом снижения давления от релаксации напряжений; затем через 24 часа под давлением 6 атм.

Усиление свайных фундаментов при помощи буроинъекционных свай с одновременным обеспечением устойчивости пригруженного крутопадающего грунтового откоса

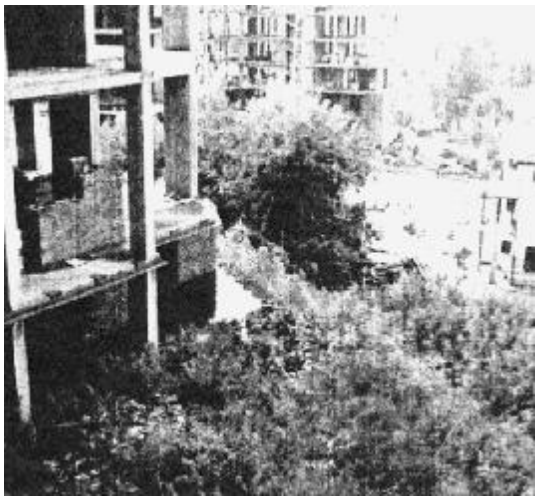
Жилое здание с шестью надземными и двумя подземными этажами, расположенное на бровке крутопадающего откоса по улице Волкова города Казани, возведено из монолитного железобетонного каркаса (рис. 4а и 4б). Фундаменты свайные отдельностоящие из монолитных железобетонных ростверков по буронабивным железобетонным сваям диаметром 630 мм длиной 5; 7; 7,5 и 9 метров. В геологическом строении площадки изысканий принимают участие современные техногенные, среднечетвертичные аллювиально-делювиальные отложения. С бровки откоса до глубины 15-17,5 м геологическое строение площадки представлено (рис. 4в): НС – насыпь отсыпанная сухим способом, слежавшаяся суглинистая и супесчаная с включением строительного мусора, мощностью 1,4-3,3 *м*; ИГЭ-3 – суглинок просадочный твердый, полутвердый, макропористый (h=1,2-8,9 *м*; $г_I$=19,2 *кН/м³*, $ц_I$=18⁰, c_I=9 *кПа*; E_I=6,2 *МПа*); ИГЭ-3а –- суглинок твердый, полутвердый (h=0,4-4,8 *м*; $г_I$=19,6 *кН/м³*, $ц_I$=18⁰, c_I=12 *кПа*; E_I=10 *МПа*); ИГЭ-4 – супесь просадочная твердая (h=0,9-2,5 *м*; $г_I$=19,2 *кН/м³*, $ц_I$=15⁰, c_I=3,3 *кПа*; E_I=5,9 *МПа*); ИГЭ-4а – супесь твердая (h=0,8-1,8 *м*; $г_I$=20,8 *кН/м³*, $ц_I$=16⁰, c_I=3,3 *кПа*; E_I=12 *МПа*); ИГЭ-4б – супесь пластичная (h=1,0-2,7 *м*; $г_I$=20,6 *кН/м³*, $ц_I$=19⁰, c_I=11 *кПа*; E_I=16 *МПа*); ИГЭ-6 – песок мелкий маловлажный (h=5,7-8,7 *м*; $г_I$=20,4 *кН/м³*, $ц_I$=29⁰, c_I=1,3 *кПа*; E_I=21 *МПа*). Грунты ИГЭ-3, 4, представленные суглинками и супесями, обладают неравномерными просадочными свойствами I-го типа. Установлены отрицательные физико-геологические факторы в пределах откосовой части строительной площадки, включающие: близость крутопадающего, неустойчивого грунтового склона к обследуемому зданию; наличие в геологическом разрезе просадочных грунтов; наличие в массиве откосной части подземных вод типа «верховодка».

Испытание двух буронабивных свай № 39 и № 81 длиной l=8,1-8,4 м, диаметром 0,60 м, статическими вдавливающими нагрузками, в предпостроечный период показало, что несущая способность сваи составляет F_d =1500 кН (150 тонн). Величина абсолютной осадки на стадии максимального загружения 1500 кН составила: для сваи № 39 S=12,02 мм, а для сваи № 81 S=8,09 мм. Согласно литологическому наслоению инженерно-геологических элементов, под нижним концом буронабивных железобетонных свай залегают пески мелкие, маловлажные ИГЭ №6. После завершения возведения железобетонного остова здания из монолитного железобетона было принято новое решение об увеличении этажности надстройкой еще двух этажей. В связи с этим было произведено сплошное

а)



б)



в)

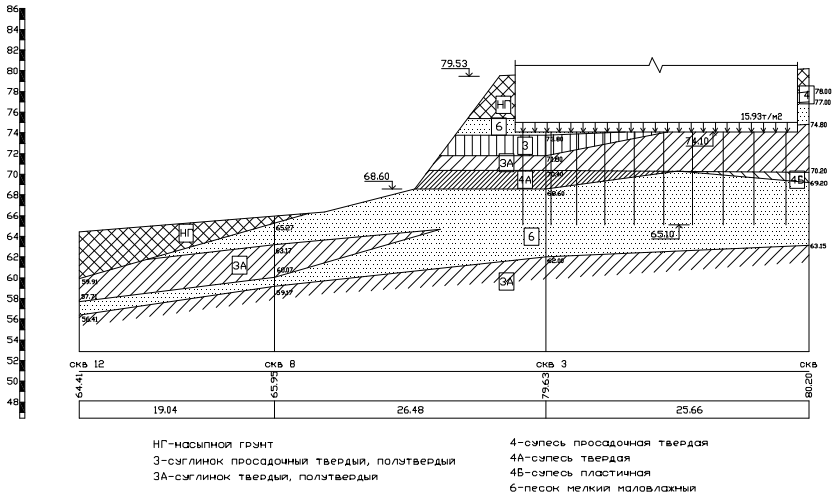


Рис. 5. Фрагменты здания на бровке откоса (а, б) и инженерно-геологический разрез, совмещенный со свайными фундаментами здания, возведенного на бровке откоса (в)

инструментальное обследование строительных конструкций и произведены проверочные расчеты с учетом фактической прочности строительных конструкций надземной части и свайных фундаментов, а также прогнозируемой устойчивости крутопадающего грунтового откоса, пригруженного существующей нагрузкой от 6-ти этажного здания и нагрузкой, которая будет воздействовать после надстройки еще 2-х этажей. Расчетами установлено, что надстройка двух этажей вызовет дополнительную осадку и пригруз грунтового откоса. Прогнозная устойчивость грунтового откоса, на бровке которого возведено здание, рассчитана по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения с учетом возможности образования наиболее опасных плоскостей (линий) скольжения массива грунта. Расчет на неглубокий сдвиг массива грунта откоса при прогнозном увеличении влажности может вызвать потерю устойчивости по линиям скольжения 3 и 4, с коэффициентом устойчивости, соответственно, k_{y3} =0,78<1,2, k_{y4} =0,89<1,2 (рис. 5). Устойчивость крутопадающего грунтового откоса при прогнозном увеличении влажности не обеспечивается даже от собственного веса увлажненного грунта, так как линии скольжения 3 и 4 оконтуривают массивы скольжения, расположенные в основном за пределами здания. Коэффициент устойчивости k_{y5} пригруженной зданием части крутопадающего грунтового откоса, рассчитанный по схеме глубокого сдвига (линия скольжения 5, рис. 5), составил k_{y5} =0,9<1,2. Следовательно, необходимы инженерные мероприятия по обеспечению требуемой устойчивости (рис. 6).

В качестве рекомендаций по обеспечению устойчивости непригруженного и пригруженного грунтового откоса автором предложено:

– свайные фундаменты усилить методом подведения дополнительных ленточных ростверков на

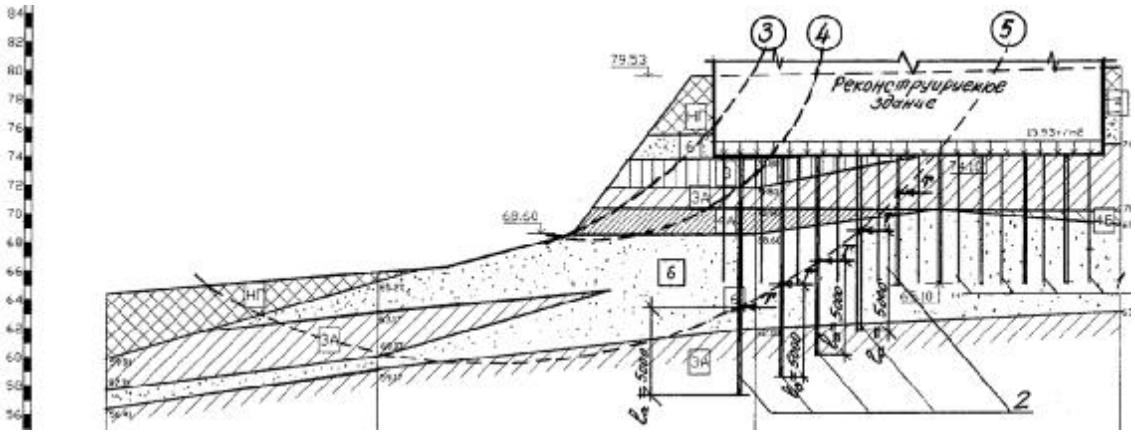


Рис. 6. Схема к расчету устойчивости крутопадающего грунтового откоса, пригруженного внешней нагрузкой по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения

1 – существующие буронабивные сваи (*БНС*) длиной l=8,1-8,4 м, диаметром 0,63 м; 2 –дополнительные буроинъекционные железобетонные сваи (*БИС*) усиления диаметром $d_{БИС}$ =0,15 м расчетной длины от 8,5 м до 15 м; 3 и 4 – наиболее опасные плоскости (линии) скольжения массива грунта при расчете на неглубокий сдвиг с коэффициентами устойчивости k_{y3} =0,78<1,2, k_{y4} =0,89<1,2; 5 – то же, при расчете на глубокий сдвиг – k_{y5}=0,9<1,2

Таблица 2

1. Длины анкеровки l_a: $$l_a = \frac{p}{2}\sqrt[4]{\frac{4E_{БИС}I_{БИС}}{k_c \cdot d_{БИС}}}, \text{ м} \quad (1)$$ где $E_{БИС}$ – модуль упругости бетона БИС; $d_{БИС}$ – диаметр; k_c – коэффициент постели грунта; $I_{БИС}$ – момент инерции БИС.
2. Несущая способность БИС на действие вертикальной и горизонтальной силы: $$T \le \frac{F_d}{g_k}, \text{ кН (2), где } F_d = n1{,}65 h_1 h_2 \sqrt[3]{ab_p M_u^2}, \text{ кН} \quad (3)$$ где T – горизонтальная сдвигающая сила; F_d – несущая способность БИС при совместном действии продольной силы и изгибающего момента; g_k =1,4 – коэффициент надежности.
3. Изгибающий момент M_u: $M_u = A_R R_b b h^2 + R_{sc} A_s^I$, кНм (4)
4. Несущая способность грунта T_{ult} под сваями усиления: $T_{ult} = s_{zu} l_{анк} v \cdot n$, кН (5)
5. Напряжения в грунте s_{zn}: $s_{zn} = h_1 h_2 \frac{4}{\cos j}(g_I \cdot z \cdot tg j + x \cdot c)$, кПа (6)
где v – коэффициент полноты эпюры грунта; n – количество БИС по линии сдвига.

буроинъекционных сваях (*БИС*) диаметром $d_{БИС}$ =150 мм, расчетной длины от $l_{БИС}$ =8,5 м до $l_{БИС}$ =15 м (рис. 6). Длину свай усиления регламентировать условиями обеспечения устойчивости грунтового откоса, расположенного в пределах контура надстраиваемого здания. Алгоритм проверочного расчета длины анкеровки l_a существующих БНС и расчета длины дополнительных БИС в грунтовый массив ниже линии круглоцилиндрической поверхности скольжения приведен в таблице 2.

– укрепление непригруженной части естественного крутопадающего откоса (k_{y3} =0,78<1,2, k_{y4} =0,89<1,2), при помощи настилки и закрепления на спланированной поверхности откоса георешетки, которая своим верхним краем должна быть надежно прикреплена к наружной грани стены цокольной части здания. Срединные участки георешетки в шахматном порядке, с шагом 1,5 м анкеровать арматурными стержнями диаметром 10 мм длиной 0,8 м к поверхности откоса. Полости ячеек георешетки

засыпать песком и высадить газонную траву с развитой корневой системой.

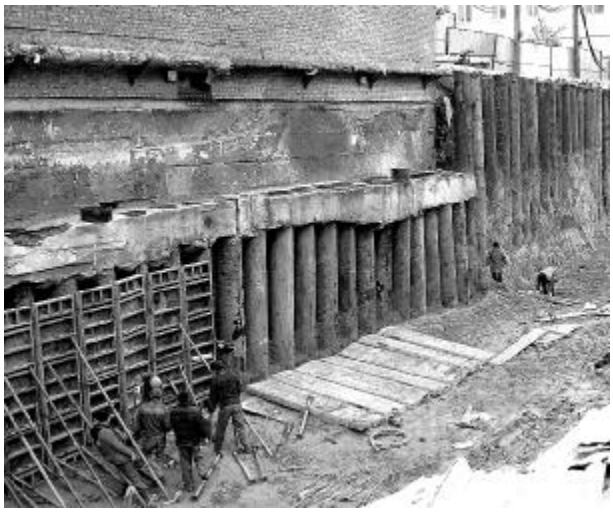
Для армирования БИС, воспринимающих значительные горизонтальные сдвигающие усилия в плоскости образования поверхности скольжения, принята расчетная рабочая арматура класса А-III, диаметром 18мм. Выше зоны сдвига в качестве рабочей принята арматура класса А-III, диаметром 12 мм.

Усиление плитного фундамента вблизи от глубокого котлована

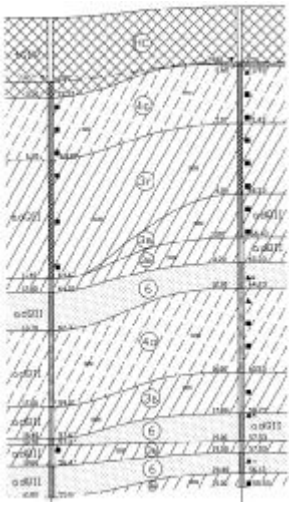
Кирпичное с переменной (2-3) этажностью здание медицинского диагностического центра (МДЦ) в городе Казани возведено на сплошном плитном фундаменте толщиной 400 мм. При плотной городской застройке, в непосредственной близости от здания разработан глубокий котлован для многоэтажного каркасного здания. Отметка подошвы фундамента МДЦ FL=75,50 м БС. Отметка дна котлована – 71,50 м БС. Разница отметок составляет 4,0 м. Вблизи от фундамента пневмопогружением выполнена отсекающая шпунтовая стенка из стальных труб диаметром d=530 мм, расположенных с шагом 900 мм в один ряд. По верхнему поясу погруженных труб выполнен пояс из монолитного железобетона. Со стороны котлована выполнены стены из монолитного железобетона толщиной 150 мм с арматурной сеткой, приваренной к стальным трубам (рис. 7).

Площадка сложена аллювиально-делювиальными отложениями (adQ_{II}), представленными лессовидными суглинками и супесями, переслаивающимися песками (рис. 7б). ИГЭ-3 – суглинок лессовидный, просадочный,

а)



б)



в)

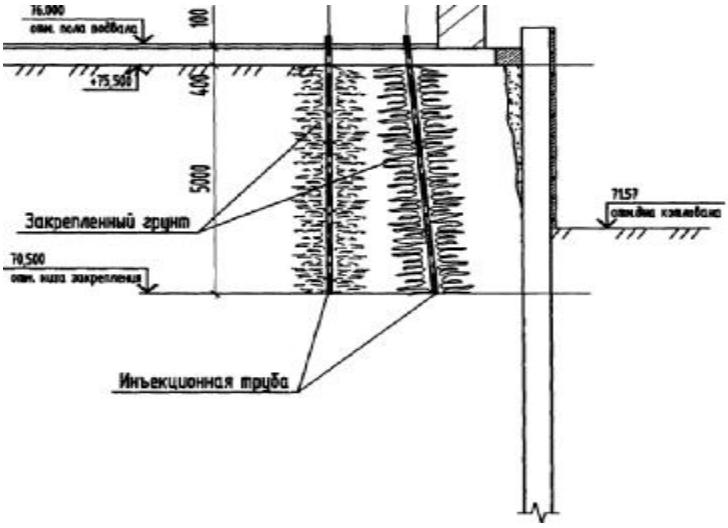


Рис. 7. Глубокий котлован вблизи от фундаментов МДЦ (а); схема геологического разреза (б); схема усиления грунта под подошвой фундамента высоконапорной инъекцией (в)

макропористый (g =17,8 *кН/м³*, g_{Sat} =19,4 *кН/м³*, j =24⁰, $_{sat}$=16⁰, *C*=23,7 *кПа*, C_{sat}=6,8 *кПа*, *E*=14,8*МПа*, E_{sat}=4,7*МПа*), тип грунтовых условий по просадочным свойствам – второй; ИГЭ-3а – суглинок лессовидный полутвердый (=18,9 *кН/м³*, $_{sat}$=9⁰, C_{sat}=11,5 *кПа*, E_{sat}=7,7*МПа*); ИГЭ-3б – суглинок лессовидный тугопластичный; ИГЭ-3в – суглинок лессовидный мягкопластичный (=18,9 *кН/м³*, $_{sat}$=9⁰, C_{sat}=11,5 *кПа*, E_{sat}=7,7*МПа*); ИГЭ-3г – суглинок лессовидный текучепластичный (=19,0 *кН/м³*, $_{sat}$=6⁰, C_{sat}=5,2 *кПа*, E_{sat}=3,5*МПа*); ИГЭ-4а – супесь лессовидная твердая (=18,9 *кН/м³*, $_{sat}$=13⁰, C_{sat}=3,7 *кПа*, E_{sat}=7,4 *МПа*); ИГЭ-4б – супесь лессовидная пластичная (=19,2 *кН/м³*, $_{sat}$=14⁰, C_{sat}=3,6 *кПа*, E_{sat}=7,2 *МПа*); ИГЭ-6 – песок мелкий, средней плотности и плотный, маловлажный и влажный (=17,8 *кН/м³*, $_{sat}$=32⁰, C_{sat}=1,5 *кПа*, E_{sat}=22,7*МПа*). В результате производства работ по устройству глубокого котлована; пневмопогружения стальных труб большого диаметра шпунтовой стены вблизи от плитного фундамента; не соблюдения последовательности выполнения работ в стенах МДЦ образовались трещины (рис. 7а). На основании мониторинга за динамикой образования и скорости развития трещин было выполнено усиление ослабленной зоны массива грунта основания под плитой фундамента при помощи высоконапорной инъекции методом манжетной технологии (рис. 7в). Обоснованность этого метода заключалась в том, что требовалось оперативное упрочнение ослабленного динамическими воздействиями неустойчивого грунта основания в условиях продолжающейся эксплуатации здания и работ в котловане. Закрепление грунта выполнено ООО «Нью Граунд» (г. Пермь). Для этого с отметки пола подвала (76,00 БС) при помощи малогабаритной буровой установки УКБ-12/25-01, двумя рядами с шагом по 1500 мм выполнено колонковое бурение 30 скважин длиной 5500 мм диаметром 112 мм. Скважины оборудовались инъекционными трубами диаметром 57х3,5 мм с тампонированием затрубного пространства. Нагнетание крепящего цементного раствора в грунт осуществлено под давлением 16 атм. в три этапа с технологическими перерывами 12-24 часа по схеме сверху-вниз метровыми зонами. Расход материалов составил: трубы 57х3,5 мм ГОСТ 10705-80 – 171 пм; цемент ПЦ400-Д20 ГОСТ 10178-85 (без потерь) – 40,50 т при расходе сухого цемента по 270 кг/п.м. Уже в процессе выполнения высоконапорной инъекции грунта фиксировалась стабилизация развития трещин. По завершению работ наступила полная стабилизация деформации грунта.

Выводы:

1. При усилении оснований и фундаментов зданий или сооружений из большого разнообразия теоретических методов необходимо выбирать такие, которые прошли практическую апробацию и зарекомендовали себя как надежные и эффективные.

2. Практический опыт использования напорной инъекции растворов в различные генетические типы слабых грунтов основания приводит к повышению их прочностных ($ц$ и c) и снижению деформационных (E) характеристик за счет направленного или всестороннего обжатия грунта, что позволяет рекомендовать такие методы к более широкому применению.

Литература

1. Мустакимов В.Р., Хасанов А.З., Стриго Г.С. Новый способ усиления оснований и фундаментов аварийных зданий, возведенных на лессовых просадочных грунтах Самарканда. // I-я конфер. СНГ «Строительство на структурно-неустойчивых грунтах. – Самарканд: СамГАСИ им. М. Улугбека, 1992. – С. 138-139.
2. Хасанов А.З., Стриго Г.С., Мустакимов В.Р. Деформации кирпичных зданий на просадочных грунтах Зерафшанского оазиса. // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1993, № 6. – С. 23-26.
3. Хасанов А.З., Стриго Г.С., Мустакимов В.Р., Гаппаров Р.М. Опыт выпрямления наклонившегося минарета в сейсмически активном регионе // Сборник научных трудов. 27-29 апрель, 1994. – Самарканд: Сам ДМКО, 1994. – 61-63 бет.
4. СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты / Госстрой. – М: ЦИТП Госстроя, 1986. – 45 с.
5. Основания, фундаменты и подземные сооружения. / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с. (Справочник проектировщика).

УДК 532.5:621.694

С.Ю. Антонов – старший преподаватель
А.В. Антонова – кандидат физико-математических наук, доцент
Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)
Я.Д. Золотоносов – доктор технических наук, профессор
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ СТЕНКУ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ГЛАДКИХ И ПРУЖИННО-ВИТЫХ КАНАЛОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена перспективным направлениям модернизации теплообменного оборудования на базе пружинно-витых труб, определению коэффициентов теплопередачи через стенку эллиптического гладкого и пружинно-витого каналов и сравнению металлоемкости модернизированных аппаратов с известным гладкотрубным теплообменным оборудованием.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Гидромеханика, теплообмен, пружинно-витой канал, коэффициент теплопередачи.

S.Yu. Antonov – senior lecturer
A.V. Antonova – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor
Kazan State Energy University (KSEU)
Y.D. Zolotonosov – doctor of technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

DEFINITION OF FACTORS OF HEAT TRANSFER THROUGH WALL OF ELLIPTIC SMOOTH AND SPRING-CURLY CHANNELS OF HEAT EXCHANGE DEVICES

ABSTRACT

The work is devoted to perspectives of modernization of heat exchange equipment based on spring-curly pipes, to definition of factors of heat transfer through the wall elliptic smooth and spring-curly channels, and to comparison of metal consumption of modernized devices with the known smooth-pipe heat exchange equipment.

KEYWORDS: Hydromechanics, heat exchange, spring-curly channel, factor of heat transfer.

Введение

Одним из путей интенсификации процессов теплообмена является создание малогабаритной теплообменной аппаратуры большой единичной мощности на базе интенсифицированных тепловых элементов в виде дискретно-шероховатых каналов, выполненных в виде винтового оребрения с различной формой выступов, спиральных накаток, проволочной навивки и др. [1]. В каналах с указанными типами завихрителей реализуется закрученное течение теплоносителя, характеризующееся сложной трехмерной вихревой структурой потока, благоприятно влияющей на выравнивание температурных неоднородностей и усиление теплообменных процессов.

К конструкциям современного типа закручивающих устройств относятся и запатентованные нами [2] теплообменные элементы в виде пружинно-витых труб, обеспечивающих незатухающую закрутку потока при течении теплоносителя в проходном сечении канала и турбулизирующие среду в пристенной области.

Рассмотренные в данной работе каналы имеют эллиптическое сечение. За счет этой геометрической характеристики проточной части канала в процессе движения жидкости происходит перераспределение радиальных давлений по осям эллипса, вследствие чего возникают поперечные циркуляционные токи, вызывающие дополнительное перемешивание среды

в проточной части канала, что способствует интенсификации процесса теплообмена и, в конечном счете, приводит к тепловой стабилизации на более коротком участке.

Теоретическая часть

I. Рассмотрим эллиптический пружинно-витой канал.

Практическая реализация эллиптического пружинно-витого канала происходит путем плотной намотки проволоки эллиптического сечения на подложку, которая представляет собой эллиптический цилиндр. Считаем, что угол намотки $70^{\circ} \le \alpha < 90^{\circ}$. В местах прилегания витков наматываемой проволоки друг к другу производится их жесткое сцепление с помощью микроплазменной или лазерной сварки (рис. 1). При такой технологии изготовления теплообменных элементов исключается явление наклепа, имеющего место в трубах с накаткой.

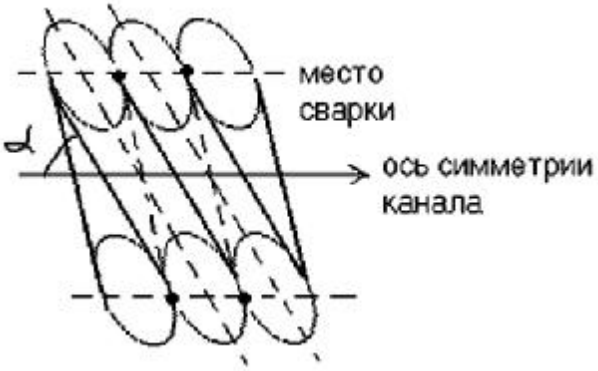


Рис. 1. Продольное сечение эллиптического пружинно-витого канала

После сварки подложка удаляется, и в результате получается эллиптический пружинно-витой канал в виде тугой пружины из проволоки эллиптического сечения. Поверхность таких теплообменных элементов является обобщением пружинно-витых каналов, изученных в [3, 4].

Элемент такого канала представим как эллиптический тор, полученный вращением малого эллипса с полуосями *a, b* по большому эллипсу с полуосями $\frac{c}{\sin\alpha}$, *d*, где α – угол намотки, причем *c>d>a>b*. Эксцентриситеты большого и малого эллипсов соответственно $\varepsilon_1 = \sqrt{1-\left(\frac{d\sin\alpha}{c}\right)^2}$, $\varepsilon_2 = \sqrt{1-\left(\frac{b}{a}\right)^2}$. Для описания такого тора (витка канала) выберем декартову систему координат *Oxyz* (рис. 2) так, чтобы ось *Oz* совпала с осью симметрии канала, ось *Oy* направим по малой полуоси большого эллипса, при этом угол между осью *Ox* и большой осью большого эллипса составит $\frac{\pi}{2} - \alpha$.

Рассмотрим установившийся теплообменный процесс, когда от более нагретой среды к стенке, через стенку и от стенки к менее нагретой среде за одинаковое время передается одно и то же количество тепла.

Количество тепла, передаваемого за время τ от пара к стенке, согласно закону теплоотдачи (закону охлаждения Ньютона) [5], равно $Q = \alpha_1 S_1 (t_1 - t_{c1}) n\tau$.

Количество тепла, проходящего через стенку, находим из первого закона Фурье [5]: $Q = -\lambda S_{сеч.}(x)\frac{\partial t}{\partial \delta} n\tau$.

Количество тепла, передаваемое от стенки к жидкости, составляет $Q = \alpha_2 S_2 (t_{c2} - t_2) n\tau$,

где α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи соответственно более и менее нагретых сред, t_1 – температура пара, t_{c1}, t_{c2} – температура стенки снаружи и внутри, t_2 – температура нагреваемой среды, *n* – количество витков, S_1, S_2 – площади внешней и внутренней стенок канала относительно одного витка.

Считаем, что толщина стенки как минимум на порядок меньше осей большого эллипса. Вследствие малости толщины стенки полагаем, что температурный фронт будет распространяться прямолинейно, перпендикулярно оси *Oz*. Тогда температурный градиент $\frac{\partial t}{\partial \delta} = \frac{dt}{dx}$, а $S_{сеч.}(x)$ приближенно равна площади наклонного эллиптического цилиндра, полученного перемещением хорды Δz (рис. 3) по тору параллельно оси *Oz*. Основанием такого эллиптического цилиндра является эллипс с полуосями $\left(\frac{x}{\sin\alpha}, d - \frac{(c-x)}{\sin\alpha}\right)$,

где $x \in [c - a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}, c + a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}]$.

Для нахождения Δz из уравнения наклонного эллипса (рис. 3)

$$\frac{(x-c)^2\sin^2\alpha + z^2\cos^2\alpha + (x-c)z\sin 2\alpha}{a^2} +$$

$$+\frac{(x-c)^2\cos^2\alpha + z^2\sin^2\alpha - (x-c)z\sin 2\alpha}{b^2} = 1$$

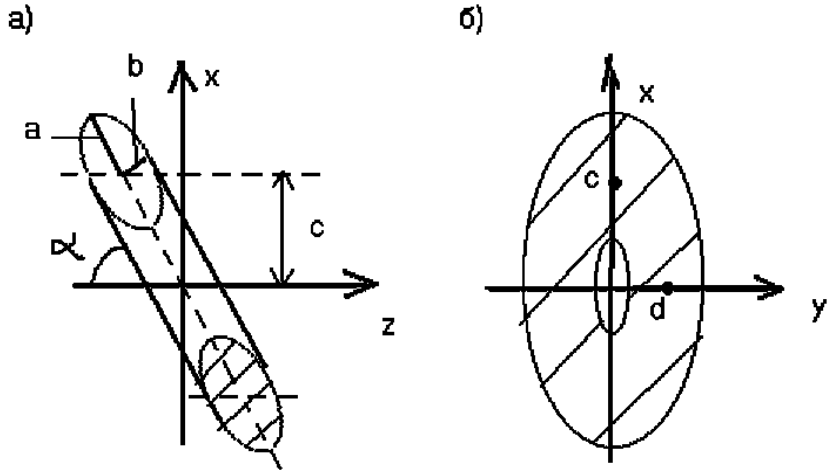


Рис. 2. Виток эллиптического пружинно-витого канала
а) проекция продольного сечения тора на плоскость Oxz,
б) проекция наклонно-поперечного сечения тора плоскостью, содержащей большой эллипс, на плоскость Oxy

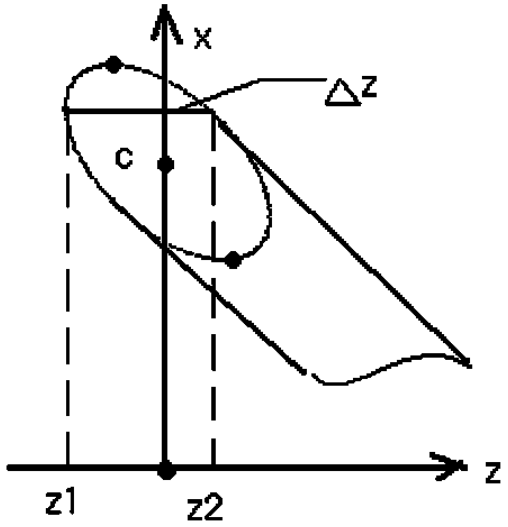


Рис. 3. Верхняя часть сечения витка эллиптического пружинно-витого канала

выразим $z_{1,2}$, тогда $\Delta z = z_2 - z_1 = \frac{2ab}{a^2\sin^2\alpha + b^2\cos^2\alpha}$

$$\sqrt{(a^2\sin^2\alpha + b^2\cos^2\alpha) - (x-c)^2} =$$

$$= \frac{2\sqrt{1-e_2^2}}{1-e_2^2\cos^2 a}\sqrt{a^2(1-e_2^2\cos^2 a) - (x-c)^2}.$$

В этом случае площадь сечения вычисляется по формуле: $S_{сеч.}(x) = \Delta z \cdot L_{пр.}(x) =$

$$= \frac{8x\sqrt{1-\varepsilon_2^2}E\left(\varepsilon_3, \frac{\pi}{2}\right)}{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha} \cdot \sqrt{a^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha) - (x-c)^2},$$

где $L_{пр.}(x)$ – длина проекции основания цилиндра на плоскость Oxy, $\varepsilon_3 = \sqrt{1-\left(\frac{d-c+x}{x}\right)^2}$ – эксцентриситет проекции, $E\left(\varepsilon_3, \frac{\pi}{2}\right) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1-\varepsilon_3^2\cos^2\varphi}\,d\varphi$ – эллиптический интеграл второго рода, для которого составлены подробные таблицы. Таким образом, количество тепла сквозь стенку составляет

$$Q = \frac{-\lambda 8x\sqrt{1-\varepsilon_2^2}E(\varepsilon_3)\sqrt{a^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha) - (x-c)^2}}{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}\frac{dt}{dx}n\tau. \quad (1)$$

Разделяя переменные в формуле (1) и интегрируя по области изменения переменных x и t, получаем:

$$\int\limits_{c-a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}}^{c+a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}} \frac{dx}{x\sqrt{a^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)-(x-c)^2}\,E\left(\varepsilon_3,\frac{\pi}{2}\right)}=$$

$$=-\lambda\frac{8\sqrt{1-\varepsilon_2^2}\,n\tau}{Q(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}\int\limits_{t_{c1}}^{t_{c2}}dt. \qquad (2)$$

Правая часть формулы (2) равна $\lambda\frac{8\sqrt{1-\varepsilon_2^2}\,n\tau}{Q(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}(t_{c1}-t_{c2})$. Для вычисления левой части (2) вследствие малости толщины стенки считаем, что эксцентриситет ε_3 не зависит от x и равен эксцентриситету $\varepsilon_4=\sqrt{1-\left(\frac{d}{c}\right)^2}$ эллипса, полученного проекцией большого эллипса на плоскость Oxy. Погрешность такой замены составит в среднем $\pm$ 6-8 %, причем $\varepsilon_3(x)-\varepsilon_4>0$ при $x\in\left(c,c+a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}\right]$, $\varepsilon_3(x)-\varepsilon_4<0$ при $x\in\left[c-a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha},c\right)$.

Тогда

$$\int\limits_{c-a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}}^{c+a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}} \frac{dx}{x\sqrt{a^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)-(x-c)^2}\,E\left(\varepsilon_3,\frac{\pi}{2}\right)}=$$

$$=\frac{1}{E\left(\varepsilon_4,\frac{\pi}{2}\right)}\int\limits_{c-a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}}^{c+a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}} \frac{dx}{x\sqrt{a^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)-(x-c)^2}}=$$

$$=-\frac{\arcsin\left(\frac{\frac{1}{x}(c^2-c-a^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha))}{a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}}\right)\Bigg|_{c-a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}}^{c+a\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}}}{E\left(\varepsilon_4,\frac{\pi}{2}\right)}=$$

$$=\frac{\pi}{E\left(\varepsilon_4,\frac{\pi}{2}\right)\sqrt{c^2-a^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}}=$$

$$=\frac{4\pi}{L_{пр.}\sqrt{1-\left(\frac{a}{c}\right)^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}}=$$

$$=\frac{4\pi}{L_{пр.}\sqrt{1-\beta^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}},$$

где $L_{пр.}$ – длина проекции большого эллипса на плоскость Oxy, $\beta=\frac{a}{c}$. Таким образом, количество тепла через стенку вычисляется по формуле:

$$Q=\lambda\frac{4L_{пр.}\sqrt{1-\varepsilon_2^2}\sqrt{1-\beta^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}}{\pi(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}(t_{c1}-t_{c2})n\tau.$$

Запишем частные температурные напоры из формул для количества тепла:

$$(t_1-t_{c1})=\frac{Q}{\alpha_1S_1n\tau};$$

$$(t_{c1}-t_{c2})=\frac{Q\pi(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}{\lambda4L_{пр.}\sqrt{1-\varepsilon_2^2}\sqrt{1-\beta^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}n\tau}$$

$$(t_{c2}-t_2)=\frac{Q}{\alpha_2S_2n\tau}.$$

Находя общий температурный напор сложением частных напоров и выражая из него количество тепла, получаем: $Q=K\cdot\frac{S}{2}\cdot(t_1-t_2)n\tau$, где K – коэффициент теплопередачи пружинно-витого канала, для которого справедливо равенство:

$$\frac{1}{K}=\frac{S}{2S_1\alpha_1}+\frac{\pi(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)S}{\lambda4L_{пр.}\sqrt{1-\varepsilon_2^2}\sqrt{1-\beta^2(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}}+\frac{S}{2S_2\alpha_2}, \qquad (3)$$

S – площадь тора, которая вычисляется по формуле: $S=L\cdot l+\sigma$, где L,l – длины соответственно большого и малого эллипсов,

$$\sigma=\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(-1)^{n-1}(2n-1)!!}{2^n n!}\iint\limits_P\sqrt{G_1G_2}\,\alpha^n(\varphi,\psi)d\varphi\,d\psi,$$

$$G_1=\frac{b^2\sin^2\varphi+b^2(1-\varepsilon_1^2)^2\cos^2\varphi}{(1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi)^3};$$

$$G_2=\frac{a^2\sin^2\psi+a^2\left(1-\varepsilon_2^2\right)^2\cos^2\psi}{\left(1-\varepsilon_2^2\cos^2\psi\right)^3};$$

$$\alpha(\varphi,\psi)=(r_2^2\cos^2\psi+2r_1r_2\cos\psi)G_1^{-1}-$$

$$-\frac{\varepsilon_1^4\cos^2\varphi\sin^2\varphi}{\sin^2\varphi+\left(1-\varepsilon_1^2\right)^2\cos^2\varphi}\cdot\frac{\sin^2\psi}{\sin^2\psi+(1-\varepsilon_2^2)^2\cos^2\psi};$$

$$r_1=\frac{d}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi}};\quad r_2=\frac{a}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\psi}};$$

$$P=[0,2\pi]\times[0,2\pi],\ (2n-1)!!=1\cdot3\cdot5\cdots(2n-1),$$

$$S_1=\frac{S}{2}+2\pi ab,\ S_2=\frac{S}{2}-2\pi ab.$$

В частности, если считать $\frac{S}{2}=S_1=S_2$, а угол намотки $\alpha\to\frac{\pi}{2}$, то $\varepsilon_4\to\varepsilon_1$, и тогда равенство (3) примет вид: $\frac{1}{K}=\frac{1}{\alpha_1}+\frac{\pi l}{4\lambda\sqrt{1-\varepsilon_2^2}\sqrt{1-\beta^2}}+\frac{1}{\alpha_2}$, где l – длина малого эллипса.

Заметим, что формула (3) является обобщением формул для вычисления коэффициента теплопередачи, полученных в работах [3, 4] для круглого пружинно-витого канала из проволоки круглого и эллиптического сечений соответственно.

II. Рассмотрим теперь прямой гладкий канал эллиптического сечения длины *D*. Чтобы частично сохранить обозначения первой части статьи и иметь возможность сравнить гладкий канал с пружинно-витым с углом намотки $\alpha=\frac{\pi}{2}$, обозначим максимальную толщину стенки канала *2a* (рис. 4).

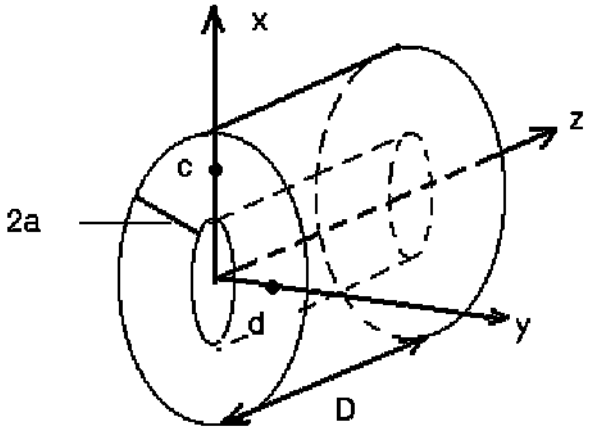


Рис. 4. Гладкий эллиптический канал

При установившемся теплообменном процессе количество тепла, передаваемого за время t от пара к стенке, согласно закону теплоотдачи [5] равно:

$$Q=\alpha_1S_1(t_1-t_{c1})\tau=4\alpha_1D(c-a)E\left(\varepsilon_5,\frac{\pi}{2}\right)(t_1-t_{c1})\tau.$$

Количество тепла, проходящего сквозь стенку, находим из первого закона Фурье [5]:

$$Q=-\lambda S_{сеч.}(x)\frac{\partial t}{\partial\delta}\tau.$$

Количество тепла, передаваемое от стенки к жидкости, составляет

$$Q=\alpha_2S_2(t_{c2}-t_{c2})\tau=4\alpha_2D(c+a)E\left(\varepsilon_6,\frac{\pi}{2}\right)(t_{c2}-t_2)\tau,$$

где α_1,α_2 – коэффициенты теплоотдачи соответственно более и менее нагретых сред, S_1,S_2 – площади внешней и внутренней поверхности канала, t_1 – температура пара, t_{c1},t_{c2} – температура стенки внутри и снаружи, t_2 – температура нагреваемой среды, $\varepsilon_5=\sqrt{1-\left(\frac{d-a}{c-a}\right)^2}$, $\varepsilon_6=\sqrt{1-\left(\frac{d+a}{c+a}\right)^2}$ – эксцентриситеты внутреннего и внешнего эллипсов соответственно.

Температурный фронт распространяется перпендикулярно оси *Oz* с поверхностями уровня, являющимися эллиптическими цилиндрами. Тогда температурный градиент $\frac{\partial t}{\partial\delta}=\frac{dt}{dx}$, а площадь поверхности уровня в некотором сечении, отвечающем текущей абсциссе *x*, составляет $S_{сеч.}(x)=l(x)D=4xE\left(\varepsilon_3,\frac{\pi}{2}\right)D$, где *l(x)* – длина основания цилиндра, которое является эллипсом с полуосями $(x,d\text{-}c+x)$ и эксцентриситетом $\varepsilon_3=\sqrt{1-\left(\frac{d-c+x}{x}\right)^2}$, где $x\in[c-a,c+a]$. Таким образом, количество тепла через стенку составит $Q=-\lambda 4xDE\left(\varepsilon_3,\frac{\pi}{2}\right)\frac{dt}{dx}\tau$.

Разделяя переменные и интегрируя по области изменения переменных *x* и *t*, получим:

$$\int_{c-a}^{c+a}\frac{dx}{xE\left(\varepsilon_3,\frac{\pi}{2}\right)}=-\lambda\frac{4D\tau}{Q}\int_{t_{c1}}^{t_{c2}}dt \qquad (4)$$

Правая часть формулы (4) равна $\lambda \frac{4D\tau}{Q}(t_{c1} - t_{c2})$.

Для вычисления левой части формулы (4) вследствие малости толщины стенки канала считаем, что ε_3 не зависит от x и совпадает с эксцентриситетом $\varepsilon_4 = \sqrt{1 - \frac{d^2}{c^2}}$ среднего эллипса, тогда

$$\int_{c-a}^{c+a} \frac{dx}{xE\left(\varepsilon_3, \frac{\pi}{2}\right)} = \frac{\ln x \Big|_{c-a}^{c+a}}{E\left(\varepsilon_4, \frac{\pi}{2}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{c+a}{c-a}\right)}{E\left(\varepsilon_4, \frac{\pi}{2}\right)} = \frac{2\,\mathrm{Arth}\,\beta}{E\left(\varepsilon_4, \frac{\pi}{2}\right)}.$$

Таким образом, количество тепла через стенку вычисляется по формуле:

$$Q = \lambda \frac{2D\tau E\left(\varepsilon_4, \frac{\pi}{2}\right)}{\mathrm{Arth}\,\beta}(t_{c1} - t_{c2}).$$

Запишем частные температурные напоры из формул для количества тепла, осредняя вследствие малости толщины стенки канала эксцентриситеты в этих формулах до эксцентриситета ε_4 (заметим, что $\varepsilon_5 > \varepsilon_4 > \varepsilon_6$, причем разница между ними в среднем составляет 3-5 %):

$$(t_1 - t_{c1}) = \frac{Q}{\alpha_1 4D(c-a)E\left(\varepsilon_4, \frac{\pi}{2}\right)\tau};$$

$$(t_{c1} - t_{c2}) = \frac{Q\,\mathrm{Arth}\,\beta}{\lambda\, 2DE\left(\varepsilon_4, \frac{\pi}{2}\right)\tau};$$

$$(t_{c2} - t_2) = \frac{Q}{\alpha_2 4D(c+a)E\left(\varepsilon_4, \frac{\pi}{2}\right)\tau}.$$

Складывая частные температурные напоры, получаем общий температурный напор:

$$t_1 - t_2 = \frac{Q}{4DcE\left(\varepsilon_4, \frac{\pi}{2}\right)\tau}\left(\frac{1}{\alpha_1(1-\beta)} + \frac{2c\,\mathrm{Arth}\,\beta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2(1+\beta)}\right).$$

Выражая количество тепла, получаем:

$$Q = \frac{4DcE\left(\varepsilon_4, \frac{\pi}{2}\right)(t_1 - t_2)\tau}{\frac{1}{\alpha_1(1-\beta)} + \frac{2c\,\mathrm{Arth}\,\beta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2(1+\beta)}},$$

или $Q = K \cdot S_{сред.} \cdot (t_1 - t_2)t$, где $S_{сред.}$ – площадь среднего цилиндра, K – коэффициент теплопередачи гладкого эллиптического канала, для которого справедливо равенство:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{a_1(1-b)} + \frac{2c\,\mathrm{Arth}\,b}{l} + \frac{1}{a_2(1+b)}. \quad (5)$$

Заметим, что формула (5) для вычисления коэффициента теплопередачи гладкой эллиптической стенки совпадает с формулой для вычисления коэффициента теплопередачи круглой гладкой стенки с внутренним радиусом (c-a) и внешним радиусом (c+a) [6].

Заметим также, что для труб с тонкими стенками при условии $\gamma = \frac{a}{d-a} < 0.3$ расчет теплопередачи можно вести приближенно, пренебрегая кривизной стенки и сводя задачу к расчету коэффициента теплопередачи плоской стенки, имеющей толщину $2a$. При $\gamma > 0.3$ расчет ведется по формулам (5).

III. Металлоемкость эллиптических гладкого и пружинно-витого каналов

Сравнить теоретически полученные формулы (3, 5) для коэффициентов теплопередачи эллиптического пружинно-витого и гладкого каналов не представляется возможным ввиду отсутствия, в частности, универсальных формул вычисления коэффициентов теплоотдачи α_1, α_2 таких каналов. Поэтому ограничимся сравнением металлоемкости этих каналов.

Чтобы эллиптический пружинно-витой канал имел стенку постоянной толщины $2a$, необходимо взять угол намотки равным $\frac{\pi}{2}$. Считаем, что толщина гладкого канала равна $2a$, длина равна $2b$. Тогда массы элементов каналов вычисляются по формулам: $M_{гладкого} = \rho L 4ab$, $M_{витого} = \rho L \pi ab$, где ρ – плотность материала.

Сравнение массы гладкого и витого каналов показывает, что их отношение равно $\frac{M_{гладкого}}{M_{витого}} = \frac{4}{\pi} = 1{,}27$. Это говорит о том, что потребность металла для витой трубы как минимум на 27 % меньше потребности для гладкой трубы.

Заключение

На основании вышеизложенного заключаем, что при замене гладкотрубных теплообменных элементов на пружинно-витые каналы произойдут следующие положительные изменения характеристик теплообменных аппаратов:

1) Наличие спиральных выступов на поверхностях теплообмена пружинно-витой трубы обеспечивает “эффект оребрения”, что увеличивает площадь теплообменной поверхности по сравнению с гладкой трубой в среднем в 1,5-1,7 раза;
2) Существенным образом увеличивается коэффициент теплопередачи (в среднем в 2-2,5 раза) [3, 4];
3) Снижается металлоемкость конструкции теплообменного элемента в среднем на 27 %;
4) Двусторонний эффект интенсификации процессов теплообмена позволит снизить длину проточной части канала теплообменных аппаратов;
5) Снижается скорость солеотложения и накипи на поверхностях пружинно-витого канала.

Литература

1. Назмеев Ю.Г. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в дискретно-шероховатых каналах. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 371 с.
2. Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д. Теплообменный элемент: Патент 64750 на пол. мод. Рос. Федерация. № 2007107173; заявл. 26.02.07; опубл. 10.07.07, Бюл. № 19. – 3 с.
3. Евсеев Е.С., Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д. Высокоэффективные теплообменные аппараты на базе теплообменных элементов в виде пружинно-витых труб // Труды Академэнерго, 2008, № 4. – С. 18-33.
4. Долгов А.Н., Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д. Определение коэффициентов теплопередачи через стенку пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов // Труды Академэнерго, 2008, № 3. – С. 13-28.
5. Вейник А.И. Техническая термодинамика и основы теплопередачи. – М.: Металлургия, 1965. – 375 с.
6. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Альянс, 2006. – 743 с.

УДК 532.5:621.694

Т.В. Белавина – старший преподаватель
Я.Д. Золотоносов – доктор технических наук, профессор
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ПАРОСТРУЙНЫЙ ПОДОГРЕВАТЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЖИЛЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

АННОТАЦИЯ

В работе приведены полные математические модели и результаты численной реализации задачи сопряженного теплообмена в радиально вращающемся криволинейном конвергентном канале, сочлененном с кольцевым насадком. Поверхность криволинейного канала спрофилирована дробно-линейной функцией. Подтверждена адекватность построенных математических моделей путем сравнения полученных значений поля скоростей с результатами, опубликованными в литературе. Расхождения составляют ± 12%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Гидродинамика, сопряженный теплообмен, пароструйный подогреватель, поле температур, теплоснабжение.

T.V. Belavina – senior lecturer
Y.D. Zolotonosov – doctor of technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE HIGHLY EFFECTIVE STEAM-EJECTING HEATER FOR SYSTEMS OF HEAT SUPPLY IN INHABITED AND INDUSTRIAL BUILDINGS

ABSTRACT

IIn the work the full mathematical models and results of numerical realization of a problem of the interfaced heat exchange in radially rotating curvilinear convergent channel, jointed with ring nozzle, are considered. The surface of curvilinear channel is executed by fractional-linear function. The adequacy of constructed mathematical models is confirmed by comparison of the received values of speeds field with the results published in literature. Divergences are at ± 12 % level.

KEYWORDS: Hydrodynamics, interfaced heat exchange, steam-ejecting heater, field of temperatures, heat supply.

Введение

В настоящее время для систем отопления промышленных и жилых зданий широко применяются гравитационные струйные аппараты инжекторного и эжекторного типа. Простота схем включения и конструкций обеспечивают широкую область использования этих аппаратов в системах теплоснабжения [1]. Однако наряду с положительными качествами такие смешивающие устройства обладают и рядом недостатков, а именно: низким КПД [2], малым коэффициентом инжекции, не превышающим в лучших конструкциях значения 0,21 [1], остается актуальной и проблема надежной работы таких аппаратов во всех режимах от запуска до остановки [3].

В связи с этим представляется перспективной попытка использования в современных системах теплоснабжения пароструйного подогревателя центробежного типа [4].

Пароструйный подогреватель (рис. 1) содержит корпус 1 в виде спирального отвода с выходным коноидальным патрубком 2. Внутри корпуса 1 расположен свободно вращающийся ротор 3, состоящий из внешнего корпуса 4, периферийная часть которого завершается насадкой в виде диффузора 5 и жестко связанного с ним перегородками 6, установленными в объеме камеры 9. Криволинейный конвергентный круговой канал 7 смонтирован на приводном валу 11 и жестко связан с коаксиальной цилиндрической трубой 12, выполненной из криволинейных конфузорно-диффузорных элементов. Радиально вращающийся криволинейный конвергентный канал 7 снабжен радиальными лопатками 8, которые используются для снижения эффекта проскальзывания рабочей жидкости в проточной части канала, поддержания заданного напора и увеличения поверхности теплообмена (за счет внутреннего «оребрения»). На выходе из конвергентного канала, для обеспечения тонкого диспергирования жидкости и

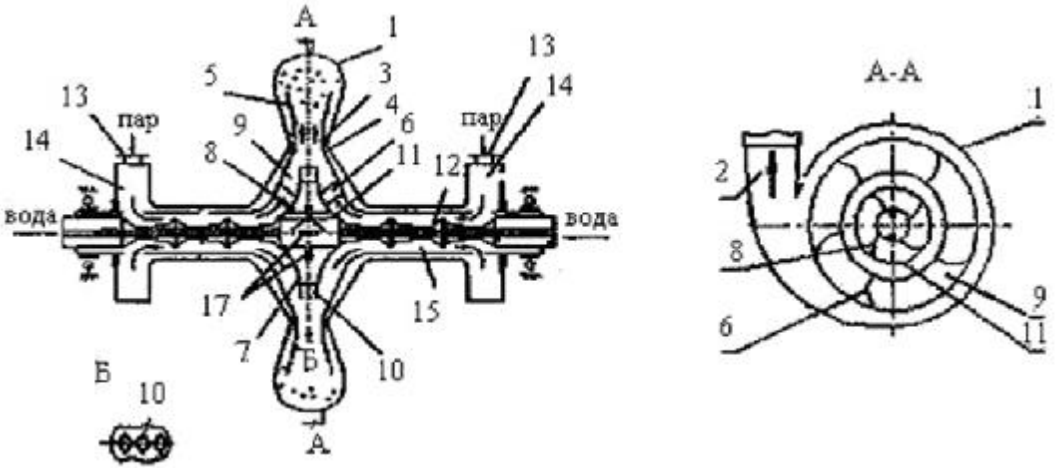


Рис. 1. Центробежный пароструйный подогреватель

интенсификации межфазового взаимодействия, непрерывным рядом по окружности расположены кольцевые насадки 10, выполненные в виде призматических элементов с четырехугольной формой сечения.

Подача инжектирующей жидкости в объем криволинейного конвергентного канала 7 осуществляется через питающие радиальные патрубки 17 трубы 12. Подача инжектируемого пара в камеру 9 осуществляется через штуцера 13 карманов 14 и межтрубному пространству 15.

Существенным преимуществом предлагаемого подогревателя являются высокие коэффициенты инжекции, а также возможность регулирования его производительности без нарушения тепловых и гидродинамических режимов работы.

Однако широкое внедрение аппаратов этой серии в системах теплоснабжения сдерживается отсутствием систематизированных экспериментальных и теоретических исследований, касающихся гидродинамики и теплообмена рабочих сред в проточной части пароструйного подогревателя, в том числе: во вращающихся трубах и конвергентном канале.

Математическая модель, алгоритм численной реализации и анализ результатов задачи сопряженного конвективного теплообмена

Вращающийся конвергентный криволинейный канал, снабженный радиальными лопатками (рис. 2), представляет собой поверхность вращения, заданную дробно-линейной функцией вида: $h(r)=\dfrac{k}{r+m}$, где

$k=z_0 z_1 \dfrac{r_1-r_0}{z_0-z_1}$, $m=\dfrac{z_1 r_1-z_0 r_0}{z_0-z_1}$, $r\in[r_0,r_1]$, r_0, r_1 – радиусы входного и выходного сечений канала,

$z_0=h(r_0), z_1=h(r_1)$ – половина «высоты» входного и выходного сечений канала. На выходе из канала расположена жесткая стенка с ромбовидными отверстиями (рис. 2, вид А). Область отверстий записана следующим образом [5, 6]:

$$D:|z|\le\begin{cases}\dfrac{2h(r_1)(pj-(i-1)y)}{y}, & \dfrac{ш(i-1)}{p}\le j\le\dfrac{y\left(i-1/2\right)}{p}\\[2ex] \dfrac{2h(r_1)(iy-pj)}{y}, & \dfrac{ш\left(i-1/2\right)}{p}\le j\le\dfrac{ш i}{p}\end{cases},\quad i=\overline{1,p}.$$

Здесь $\gamma=\beta-\alpha$ – угол, образованный двумя соседними лопатками, p – число отверстий, i – номер отверстия ($i=\overline{1,p}$), «ширина» одного отверстия равна $ш=\dfrac{г r_1}{p}$.

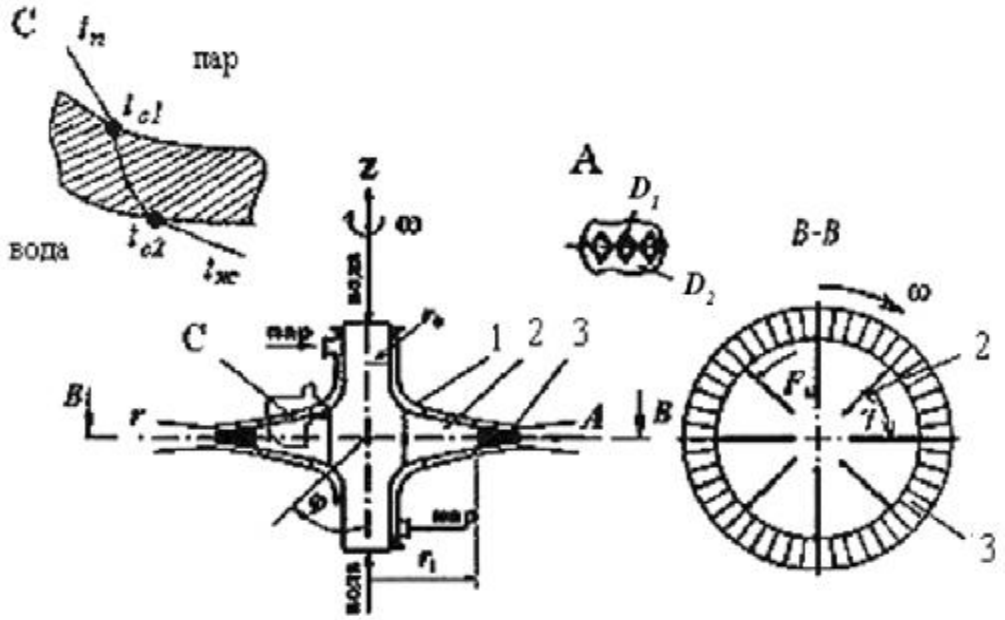


Рис. 2. Элемент центробежного пароструйного подогревателя: 1 – конвергентный криволинейный канал $z = h(r)$; 2 – радиальные лопатки; 3 – кольцевые насадки

Решение задачи сопряженного теплообмена в криволинейном конвергентном канале, снабженном радиальными лопатками, ищем в виде: $V_j = w\,\bar{r} r_0 G(\bar{r}, j, \bar{z})$; $V_r = u_0 f(\bar{r}, j, \bar{z})$; $V_z = u_0 H(\bar{r}, j, \bar{z})$; $p - p_0 = r u_0^2 P(\bar{r}, j, \bar{z})$; $T(\bar{r}, j, \bar{z}) = T_0\, t_{ж}(\bar{r}, j, \bar{z})$; $T_c(\bar{r}, j, \tilde{z}) = T_0\, t_c(\bar{r}, j, \tilde{z})$; $T_л(\bar{r}, j, \bar{z}) = T_c t_л(\bar{r}, j, \bar{z})$.

Система уравнений в цилиндрической системе координат (в безразмерном виде), состоящая из полных уравнений движения, неразрывности, энергии и теплопроводности для стенок канала и радиальных лопаток с учетом центробежных и кориолисовых сил, имеет вид [6]:

$$f\left(\frac{\partial f}{\partial \bar{r}} + \frac{\bar{1}}{\bar{K}}\frac{\partial f}{\partial \bar{z}}\right) + NG\frac{\partial f}{\partial j} + \frac{1}{\bar{h}} H \frac{\partial f}{\partial \bar{z}} - 2fN\sin j = -\left(\frac{\partial P}{\partial \bar{r}} + \frac{\bar{1}}{\bar{K}}\frac{\partial P}{\partial \bar{z}}\right) +$$

$$+\frac{\bar{d}}{\mathrm{Re}}\left\{\frac{\partial^2 f}{\partial \bar{r}^2} + \frac{2\bar{1}}{\bar{K}}\frac{\partial^2 f}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}} + \frac{1}{\bar{r}}\left(\frac{\partial f}{\partial \bar{r}} + \frac{\bar{1}}{\bar{K}}\frac{\partial f}{\partial \bar{z}}\right) + \frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 f}{\partial \varphi^2} + \left(\left(\frac{1}{\bar{h}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{1}}{\bar{K}}\right)^2\right)\frac{\partial^2 f}{\partial \bar{z}^2} - \right. \tag{1}$$

$$\left. -\frac{2N}{\bar{r}}\frac{\partial G}{\partial \varphi} - \frac{f}{\bar{r}^2}\right\} + N^2 \bar{r} G(G + 2\cos\varphi) + N^2 \bar{r}\cos\varphi,$$

$$\left(\left[f\left(\frac{\partial G}{\partial \bar{r}} + \frac{\bar{1}}{\bar{K}}\frac{\partial G}{\partial \bar{z}}\right) + NG\frac{\partial G}{\partial j} + \frac{1}{\bar{h}} H \frac{\partial G}{\partial \bar{z}}\right]\bar{r} + 2fG\right)\bar{r} = -\frac{1}{N}\frac{\partial P}{\partial j} + \frac{\bar{d}\bar{r}^2}{\mathrm{Re}}\left\{\frac{\partial^2 G}{\partial \bar{r}^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{2\bar{1}}{\bar{K}}\frac{\partial^2 G}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}} + \frac{3}{\bar{r}}\left(\frac{\partial G}{\partial \bar{r}} + \frac{\bar{1}}{\bar{K}}\frac{\partial G}{\partial \bar{z}}\right) + \frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 G}{\partial j^2} + \left(\left(\frac{1}{\bar{h}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{1}}{\bar{K}}\right)^2\right)\frac{\partial^2 G}{\partial \bar{z}^2} + \frac{2}{\bar{r}^3 N}\frac{\partial f}{\partial j}\right\} - \tag{2}$$

$$-2f\bar{r}\cos j + 2N\bar{r}^2 G\sin j + N\bar{r}^2\sin j,$$

$$f\left(\frac{\partial H}{\partial \bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial H}{\partial \bar{z}}\right)+NG\frac{\partial H}{\partial j}+\frac{1}{\bar{h}}H\frac{\partial H}{\partial \bar{z}}=-\frac{1}{\bar{h}}\frac{\partial P}{\partial \bar{z}}+\frac{\bar{d}}{\mathrm{Re}}\left\{\frac{\partial^2 H}{\partial \bar{r}^2}+\frac{2\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial^2 H}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}}+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{\bar{r}}\left(\frac{\partial H}{\partial \bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial H}{\partial \bar{z}}\right)+\frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 H}{\partial j^2}+\left(\left(\frac{1}{\bar{h}}\right)^2+\left(\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\right)^2\right)\frac{\partial^2 H}{\partial \bar{z}^2}\right\}, \tag{3}$$

$$\frac{\partial f}{\partial \bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial f}{\partial \bar{z}}+N\frac{\partial G}{\partial j}+\frac{1}{\bar{h}}\frac{\partial H}{\partial \bar{z}}+\frac{f}{\bar{r}}=0, \tag{4}$$

$$f\left(\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{\mathrm{K}}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{z}}\right)+NG\frac{\partial t_{ж}}{\partial j}+\frac{1}{\bar{h}}H\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{z}}=\frac{\bar{d}}{Pe}\left\{\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial \bar{r}^2}+\frac{2\bar{\mathbf{l}}}{\bar{\mathrm{K}}}\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}}+\right.$$
$$\left.+\frac{1}{\bar{r}}\left(\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{\mathrm{K}}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial \bar{z}}\right)+\frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial j^2}+\left(\left(\frac{1}{\bar{h}}\right)^2+\left(\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{\mathrm{K}}}\right)^2\right)\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial \bar{z}^2}\right\}, \tag{5}$$

$$\frac{\partial^2 t_c}{\partial \bar{r}^2}+\frac{2\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial^2 t_c}{\partial \bar{r}\partial \tilde{z}}+\frac{1}{\bar{r}}\left(\frac{\partial t_c}{\partial \bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial t_c}{\partial \tilde{z}}\right)+\frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 t_c}{\partial j^2}+\left(\left(\frac{1}{\bar{h}}\right)^2+\left(\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\right)^2\right)\frac{\partial^2 t_c}{\partial \tilde{z}^2}=0, \tag{6}$$

$$\frac{\partial^2 t_л}{\partial \bar{r}^2}+\frac{2\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial^2 t_л}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}}+\frac{1}{\bar{r}}\left(\frac{\partial t_л}{\partial \bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial t_л}{\partial \bar{z}}\right)+\frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 t_л}{\partial j^2}+\left(\left(\frac{1}{\bar{h}}\right)^2+\left(\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\right)^2\right)\frac{\partial^2 t_л}{\partial \bar{z}^2}=0. \tag{7}$$

Здесь $f, G, H, P, t_{ж}, t_c, t_л$ – безразмерные компоненты скоростей, давления, температур жидкости, стенки канала и радиальных лопаток соответственно; $N=\omega r_0/u_0$ – число закрутки; $\mathrm{Re}=u_0 d_э/\nu$ – число Рейнольдса; $Pe=u_0 d_э/a$ –число Пекле; безразмерные переменные и параметры $\bar{r}=r/r_0$; $\bar{z}=z/h(r)$; $\tilde{z}=(z-h(r))/h(r)$; $\bar{f}=u_{cp}/u_0$; $\bar{R}=r_1/r_0$; $\bar{h}=h(r)/r_0$; $\bar{K}=k/r_0^2$; $\bar{H}=s/h(r)$; $\bar{\mathbf{l}}=z/r_0$; $\bar{d}=d_э/r_0$, σ – толщина стенки канала, $d_э$ – эквивалентный диаметр, вычисляемый [5]:

$$d_э=4\psi\int_{r_0}^{r_1} rh(r)dr \Bigg/ \left(2\int_{r_0}^{r_1} h(r)dr+\psi\int_{r_0}^{r_1} r\sqrt{1+(h'(r))^2}\,dr+\frac{1}{2}\psi r_1 h(r_1)\right).$$

Граничные условия для канала [6]:

$$\bar{r}=1:\ f=1;\ G=1; H=0;\ t=1; \tag{8}$$

$$\bar{r}=\bar{R}:\ \ f=\begin{cases}\bar{f}, z\in D_1\\ 0, z\in D_2\end{cases};\ G=1;\ H=0;\ \partial t_{ж}/\partial\bar{z}=\partial t_c/\partial\tilde{z}=\partial t_л/\partial\bar{z}=0; \tag{9}$$

$$\bar{z}=0:\ \ f=1;\ \ H=0;\ \partial G/\partial\bar{z}=\partial H/\partial\bar{z}=0;\ \partial t_{ж}/\partial\bar{z}=0; \tag{10}$$

$$\bar{z}=1, \tilde{z}=0:\ \ f=H=0;\ G=1;\ t=q_c;\ l\,\partial t_{ж}/\partial\bar{z}=l_c\,\partial t_c/\partial\tilde{z}; \tag{11}$$

$$\tilde{z} = \overline{H}: \ \partial t_c / \partial \tilde{z} = Bi_{к1}(t_n - t_c)\overline{h}; \quad (12)$$

$$j = a: \ f = H = 0; \ G = 1; \ t_{ж} = t_c; \ l\,\partial t_{ж}/\partial \overline{z} = l_c\,\partial t_c/\partial \tilde{z}; \quad (13)$$

$$j = b: \ f = H = 0; \ G = 1; \ t_{ж} = t_c; \ l\,\partial t_{ж}/\partial \overline{z} = l_c\,\partial t_c/\partial \tilde{z}. \quad (14)$$

Для численной реализации сопряженной задачи конвективного теплообмена применен метод конечных элементов (МКЭ) [7].

Разобьем область стенки и проточную часть канала на конечное число непересекающихся призматических элементов. Приближенные значения компонентов скоростей и температур внутри каждого элемента представляются следующими пробными аппроксимациями: $f^{(e)} = [F]\{u\}$; $G^{(e)} = [F]\{J\}$; $H^{(e)} = [F]\{w\}$; $t_{ж}^{(e)} = [F]\{t_{ж}\}$; $t_c^{(e)} = [F]\{t_c\}$; $t_л^{(e)} = [F]\{t_л\}$. Здесь $\{u\}, \{J\}, \{w\}, \{t_{ж}\}, \{t_л\}, \{t_c\}$ – вектор-столбец неизвестных узловых значений функций, $[F] = \left\lfloor F_1^e, F_2^e, \ldots, F_8^e \right\rfloor$ – вектор-строка базисных функций. Для исключения параметра давления из уравнений движения (1-3) применен метод штрафа [8]. Для этого нулевую правую часть уравнения неразрывности (4) представим $\frac{\partial f}{\partial \overline{r}} + \frac{\overline{\mathbf{l}}}{\overline{K}}\frac{\partial f}{\partial \overline{z}} + N\frac{\partial G}{\partial j} + \frac{1}{\overline{h}}\frac{\partial H}{\partial \overline{z}} + \frac{f}{\overline{r}} = -Pe$, где ε – малый штрафной параметр ε(ε→0, $Div\overset{\mathbf{r}}{V} \to 0$). Тогда, проводя ряд преобразований, параметр давления P исключается из числа неизвестных, а для определения неизвестных значений безразмерных параметров скоростей f, G, H и температур $t_{ж}, t_c, t_л$ в узлах элемента записывается локальная система уравнений.

Применяя к уравнениям (1)-(7) метод Галеркина, получим следующую систему:

$$\int_V [F]^T \left(f\left(\frac{\partial f}{\partial \overline{r}} + \frac{\overline{\mathbf{l}}}{\overline{K}}\frac{\partial f}{\partial \overline{z}}\right) + NG\frac{\partial f}{\partial j} + \frac{1}{\overline{h}}H\frac{\partial f}{\partial \overline{z}} - 2fN\sin j \right) dV = \frac{1}{e}\int_V [F]^T \left(\frac{\partial^2 f}{\partial \overline{r}^2} + \right.$$

$$+ \frac{2\overline{\mathbf{l}}}{\overline{K}}\frac{\partial^2 f}{\partial \overline{r}\partial \overline{z}} + \frac{1}{\overline{r}}\left(\frac{\partial f}{\partial \overline{r}} + \frac{\overline{\mathbf{l}}}{\overline{K}}\frac{\partial f}{\partial \overline{z}}\right) - \frac{f}{\overline{r}^2} + \left(\frac{\overline{\mathbf{l}}}{\overline{K}}\right)^2 \frac{\partial^2 f}{\partial \overline{z}^2} + N\left(\frac{\partial^2 G}{\partial \overline{r}\partial j} + \frac{\overline{\mathbf{l}}}{\overline{K}}\frac{\partial^2 G}{\partial \overline{z}\partial j}\right) +$$

$$\left. + \frac{1}{\overline{h}}\left(\frac{\partial^2 H}{\partial \overline{r}\partial \overline{z}} + \frac{\overline{\mathbf{l}}}{\overline{K}}\frac{\partial^2 H}{\partial \overline{z}^2}\right) + \frac{1}{\overline{K}}\frac{\partial H}{\partial \overline{z}} \right) dV + \frac{\overline{d}}{\mathrm{Re}}\int_V [F]^T \left\{ \frac{\partial^2 f}{\partial \overline{r}^2} + \frac{2\overline{\mathbf{l}}}{\overline{K}}\frac{\partial^2 f}{\partial \overline{r}\partial \overline{z}} + \frac{1}{\overline{r}}\left(\frac{\partial f}{\partial \overline{r}} + \frac{\overline{\mathbf{l}}}{\overline{K}}\frac{\partial f}{\partial \overline{z}}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{\overline{r}^2}\frac{\partial^2 f}{\partial j^2} + \left(\left(\frac{1}{\overline{h}}\right)^2 + \left(\frac{\overline{\mathbf{l}}}{\overline{K}}\right)^2\right)\frac{\partial^2 f}{\partial \overline{z}^2} - \frac{2N}{\overline{r}}\frac{\partial G}{\partial j} - \frac{f}{\overline{r}^2} \right\} dV + N^2 \int_V [F]^T \overline{r}\cos j\, dV + \quad (15)$$

$$+ N^2 \int_V [F]^T \overline{r}G(G + 2\cos j)dV - \frac{1}{2}\int_V [F]^T \left(\frac{\partial f}{\partial \overline{r}} + \frac{\overline{\mathbf{l}}}{\overline{K}}\frac{\partial f}{\partial \overline{z}} + N\frac{\partial G}{\partial j} + \frac{1}{\overline{h}}\frac{\partial H}{\partial \overline{z}} + \frac{f}{\overline{r}} \right) f dV,$$

$$\int_V [\Phi]^T \left(\left[f\left(\frac{\partial G}{\partial \overline{r}} + \frac{\overline{\mathbf{l}}}{\overline{\mathrm{K}}}\frac{\partial G}{\partial \overline{z}}\right) + NG\frac{\partial G}{\partial \varphi} + \frac{1}{\overline{h}}H\frac{\partial G}{\partial \overline{z}} \right]\overline{r} + 2fG \right)\overline{r}\, dV = \frac{1}{eN}\int_V [\Phi]^T \left(\frac{\partial^2 f}{\partial \varphi \partial \overline{r}} + \right.$$

$$+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial^2 f}{\partial j\,\partial\bar{z}}+N\frac{\partial^2 G}{\partial j^{\,2}}+\frac{1}{\bar{h}}\frac{\partial^2 H}{\partial j\,\partial\bar{z}}+\frac{1}{\bar{r}}\frac{\partial f}{\partial j}\Bigg)dV+\frac{\bar{d}}{\mathrm{Re}}\int\limits_V \bar{r}^{\,2}[F\,]^T\Bigg\{\frac{\partial^2 G}{\partial\bar{r}^{\,2}}+\frac{2\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial^2 G}{\partial\bar{r}\partial\bar{z}}+$$

$$+\frac{3}{\bar{r}}\left(\frac{\partial G}{\partial\bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial G}{\partial\bar{z}}\right)+\frac{1}{\bar{r}^{\,2}}\frac{\partial^2 G}{\partial j^{\,2}}+\left(\left(\frac{1}{\bar{h}}\right)^2+\left(\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\right)^2\right)\frac{\partial^2 G}{\partial\bar{z}^{\,2}}+\frac{2}{\bar{r}^{\,3}N}\frac{\partial f}{\partial j}\Bigg\}dV-$$

$$-2\int\limits_V [F\,]^T\, f\bar{r}\cos j\,dV+2N\int\limits_V [F\,]^T\,\bar{r}^{\,2}G\sin j\,dV+N\int\limits_V [F\,]^T\,\bar{r}^{\,2}\sin j\,dV- \tag{16}$$

$$-\frac{1}{2N}\int\limits_V [F\,]^T\left(\frac{\partial f}{\partial\bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial f}{\partial\bar{z}}+N\frac{\partial G}{\partial j}+\frac{1}{\bar{h}}\frac{\partial H}{\partial\bar{z}}+\frac{f}{\bar{r}}\right)G\,dV,$$

$$\int\limits_V [F\,]^T\left(f\left(\frac{\partial H}{\partial\bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial H}{\partial\bar{z}}\right)+NG\frac{\partial H}{\partial j}+\frac{1}{\bar{h}}H\frac{\partial H}{\partial\bar{z}}\right)dV=\frac{1}{e}\int\limits_V \frac{1}{\bar{h}}[F\,]^T\Bigg(\frac{\partial^2 f}{\partial\bar{z}\partial\bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial^2 f}{\partial\bar{z}^{\,2}}+$$

$$+N\frac{\partial^2 G}{\partial\bar{z}\partial j}+\frac{1}{\bar{h}}\frac{\partial^2 H}{\partial\bar{z}^{\,2}}+\frac{1}{\bar{r}}\frac{\partial f}{\partial\bar{z}}\Bigg)dV+\frac{\bar{d}}{\mathrm{Re}}\int\limits_V [F\,]^T\Bigg\{\frac{\partial^2 H}{\partial\bar{r}^{\,2}}+\frac{2\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial^2 H}{\partial\bar{r}\partial\bar{z}}+\frac{1}{\bar{r}^{\,2}}\frac{\partial^2 H}{\partial j^{\,2}}+$$

$$+\frac{1}{\bar{r}}\left(\frac{\partial H}{\partial\bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial H}{\partial\bar{z}}\right)+\left(\left(\frac{1}{\bar{h}}\right)^2+\left(\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\right)^2\right)\frac{\partial^2 H}{\partial\bar{z}^{\,2}}\Bigg\}dV-\frac{1}{2}\int\limits_V [F\,]^T\Bigg(\frac{\partial f}{\partial\bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial f}{\partial\bar{z}}+ \tag{17}$$

$$+N\frac{\partial G}{\partial j}+\frac{1}{\bar{h}}\frac{\partial H}{\partial\bar{z}}+\frac{f}{\bar{r}}\Bigg)H\,dV,$$

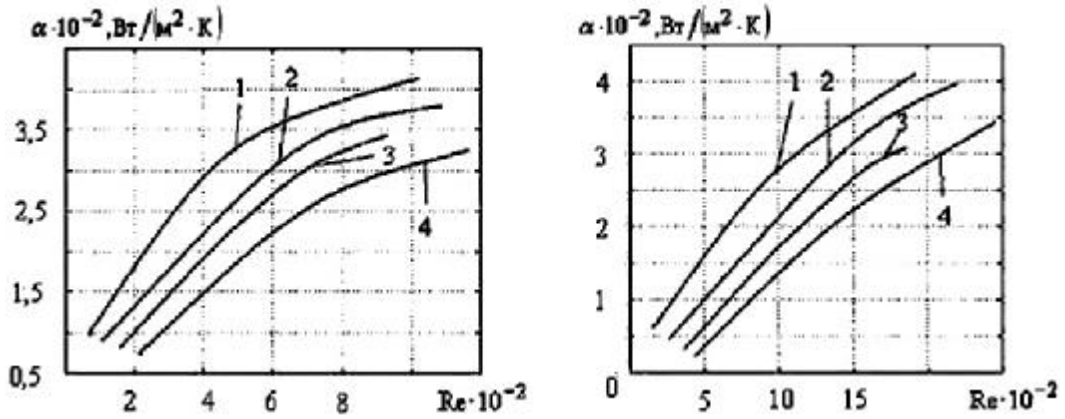
$$\int\limits_V [F\,]^T\left(f\left(\frac{\partial t_{ж}}{\partial\bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial\bar{z}}\right)+NG\frac{\partial t_{ж}}{\partial j}+\frac{1}{\bar{h}}H\frac{\partial t_{ж}}{\partial\bar{z}}\right)dV=\frac{\bar{d}}{Pe}\int\limits_V [F\,]^T\Bigg\{\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial\bar{r}^{\,2}}+$$

$$+\frac{2\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial\bar{r}\partial\bar{z}}+\frac{1}{\bar{r}}\left(\frac{\partial t_{ж}}{\partial\bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial t_{ж}}{\partial\bar{z}}\right)+\frac{1}{\bar{r}^{\,2}}\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial j^{\,2}}+\left(\left(\frac{1}{\bar{h}}\right)^2+\left(\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\right)^2\right)\frac{\partial^2 t_{ж}}{\partial\bar{z}^{\,2}}\Bigg\}dV, \tag{18}$$

$$\int\limits_V [F\,]^T\Bigg(\frac{\partial^2 t_c}{\partial\bar{r}^{\,2}}+\frac{2\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial^2 t_c}{\partial\bar{r}\partial\tilde{z}}+\frac{1}{\bar{r}}\left(\frac{\partial t_c}{\partial\bar{r}}+\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\frac{\partial t_c}{\partial\tilde{z}}\right)+\frac{1}{\bar{r}^{\,2}}\frac{\partial^2 t_c}{\partial j^{\,2}}+$$

$$+\left(\left(\frac{1}{\bar{h}}\right)^2+\left(\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}}\right)^2\right)\frac{\partial^2 t_c}{\partial\tilde{z}^{\,2}}\Bigg)dV=0, \tag{19}$$

а) б)



T_0 = 20 °C; T_0 = 60 °C

Рис. 3. Зависимость значений коэффициентов теплоотдачи от режимов течения (Re) и количества радиальных лопаток (*n*) при различных температурах ($\omega = 50\,c^{-1}$): 1 – *n*=6; 2 – *n*=4; 3 – *n*=8; 4– *n*=2

$$\int_V [F]^T \left(\frac{\partial^2 t_л}{\partial \bar{r}^2} + \frac{2\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}} \frac{\partial^2 t_л}{\partial \bar{r} \partial \bar{z}} + \frac{1}{\bar{r}} \left(\frac{\partial t_л}{\partial \bar{r}} + \frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}} \frac{\partial t_л}{\partial \bar{z}} \right) + \frac{1}{\bar{r}^2} \frac{\partial^2 t_л}{\partial j^2} + \right. \tag{20}$$

$$\left. + \left(\left(\frac{1}{\bar{h}} \right)^2 + \left(\frac{\bar{\mathbf{l}}}{\bar{K}} \right)^2 \right) \frac{\partial^2 t_л}{\partial \bar{z}^2} \right) dV = 0.$$

Для определения значений неизвестных безразмерных параметров скоростей f, G, H и температур $t_ж, t_c, t_л$ во всех узловых точках разбиения области формируется глобальная матрица системы. Линеаризация нелинейной системы уравнений проводится итерационным методом Ньютона. Для решения системы линейных алгебраических уравнений применяется метод сопряженных градиентов. Неизвестные значения параметра давления в каждом элементе определяются из уравнения неразрывности со штрафным параметром e, исходя из полученного поля скоростей.

Построенные математические модели и их численная реализация позволили определить численные значения гидродинамических параметров, а также распределения поля температур в жидкости и стенке радиально вращающегося криволинейного конвергентного канала.

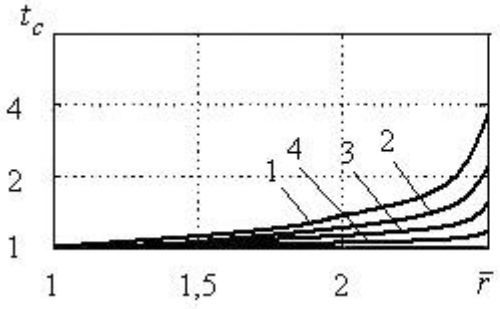
Численные расчеты проводились при следующих исходных данных: рабочая жидкость – вода с начальной температурой на входе $T_0 = 20, 40, 60$ и $80^0 C$; температура пара $T_n = 110^0 C$; расход воды $G = 3{,}0\ м^3/ч$; расход пара $G_n = 0{,}0017\ м^3/ч$; угловая скорость вращения канала $\omega = 30...100 c^{-1}$; угол между лопатками $\varphi = \frac{\pi}{3}$.

Теоретические расчеты, проведенные в работе [5], показали, что с учетом гидродинамических характеристик течения жидкости наиболее оптимальным является установка в проточной части канала шести радиальных лопаток.

Дальнейшие теоретические исследования сопряженного теплообмена позволили подтвердить данное положение и установить, что изменение числа радиальных лопаток приводит к снижению коэффициентов теплоотдачи в среднем на 15-20 %, причем начальная температура жидкости на входе в канал (рис. 3 а, б) существенным образом не влияет на оптимальное количество лопаток (*n* = 6), поскольку коэффициенты теплоотдачи в этом случае всегда остаются наибольшими.

На рис. 4 представлены результаты расчетов распределения поля безразмерной температуры в стенке канала, на рис. 5 – распределение поля безразмерной температуры в радиальных лопатках, а на рис. 6 – распределение поля безразмерной температуры в проточной части межлопаточного пространства криволинейного конвергентного канала. Из рис. 4 следует, что с увеличением начальной температуры жидкости прогрев стенки криволинейного конвергентного канала происходит более интенсивно, как со стороны жидкости (рис. 4 а), так и со стороны пара (рис. 4 б).

а)

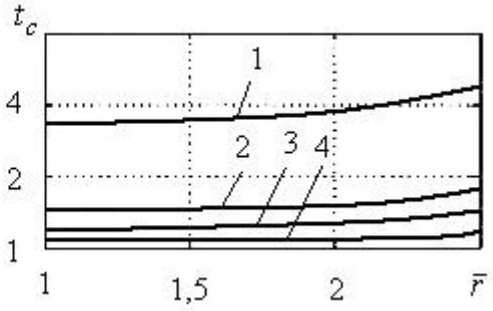


1 – T_0=20°; 2 – T_0=40°; 3 – T_0=60°;

4 – T_0=80°.

$\tilde{z} = 0{,}1$ (со стороны жидкости)

б)



1– T_0=20°; 2 – T_0=40°;

3 – T_0=60°; 4 – T_0=80.

$\tilde{z} = 0,56$ (со стороны пара)

Рис. 4. Распределение безразмерной температуры в стенке криволинейного канала ($w = 50\,c^{-1}$)

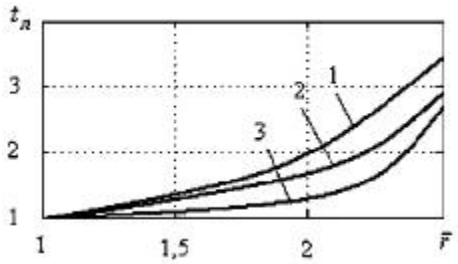
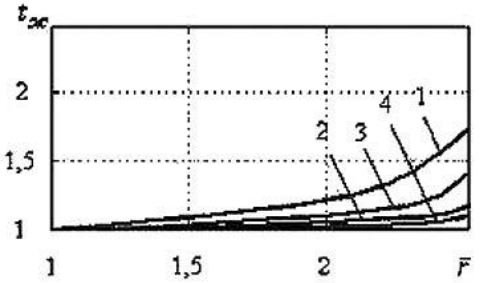


Рис. 5. Температура в стенке радиальной лопатки по длине канала ($w = 50\,c^{-1}$): 1 – $\bar{z} = 0,02$; 2 – $\bar{z} = 0,45$; 3 – $\bar{z} = 0,95$

а) $\tilde{z} = 0{,}02$



б) $\tilde{z} = 0{,}95$

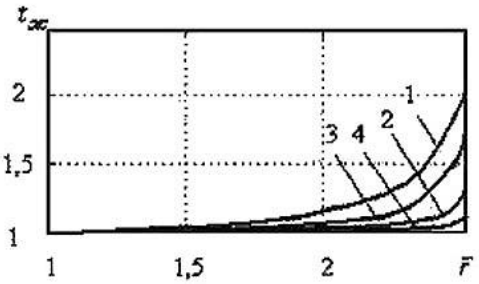


Рис. 6. Распределение безразмерной температуры в жидкости ($w = 50\,c^{-1}$):

1 – T_0=20 °C, 2 – T_0=80 °C – криволинейный конвергентный канал, 3 – T_0=20 ° C,

4 – T_0=80 °C – прямолинейный конвергентный канал

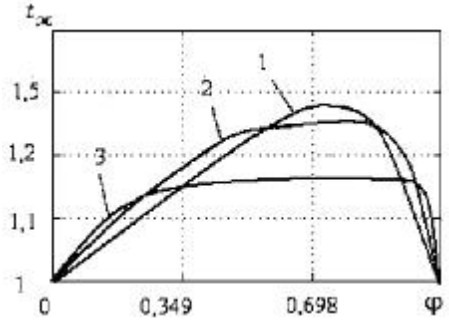


Рис. 7. Распределение безразмерной температуры жидкости между лопатками ($w = 50\,c^{-1}$):

1 – T_0 = 20 °C; 2 – T_0 = 60 °C; 3 – T_0 = 80 °C

На рис. 5, 6 показано, что (вследствие низкой теплопроводности жидкости по отношению к теплопроводности стенки радиальной лопатки) рост температуры в жидкости происходит менее интенсивно по сравнению с изменением безразмерной температуры в стенке лопатки.

На рис. 7 представлены результаты расчета изменения профиля безразмерной температуры в жидкости межлопаточного пространства (вдоль оси j). Исследования показали, что максимальная температура жидкости в межлопаточном канале смещается к рабочей поверхности лопатки, находящейся в зоне большего давления, вызванного, в том числе, и силами Кориолиса.

Кроме того (рис. 7), с увеличением начальной температуры среды происходит трансформация профиля безразмерной температуры и его переход из параболического в трапециедальный закон распределения.

На рис. 8 представлены результаты исследования коэффициентов теплоотдачи при различной температуре, а рис. 9 – при различных угловых скоростях вращения.

Расчеты проводились по методике, разработанной в работе [9]. При этом коэффициенты теплоотдачи рассчитывались по выражению

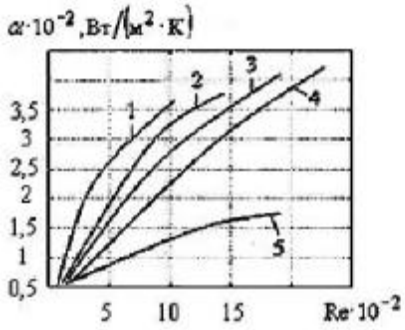
$$Nu = 1{,}72\mathrm{Re}^{0{,}48}\mathrm{Pr}^{0{,}4}e_{вр}^{0{,}36}\left(\mathrm{Pr}_{ж}/\mathrm{Pr}_{c}\right)^{0{,}25},\ e_{вр} = \left(ш d_{э}/u\right)^{-1};\ \mathrm{Re}=150\div6120,\ \mathrm{Pr}=1{,}75\div6{,}8,$$

где $\mathrm{Re} = u_{\mathrm{ср}} d_{э}/n$; $e_{вр}$ – коэффициент, учитывающий влияние вращения, вычисляемый:

$$e_{вр} = \left(ш d_{э}/u\right)^{-1}.$$

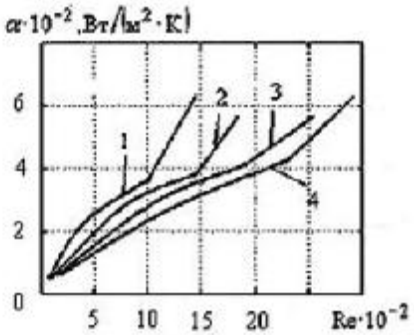
Здесь $d_{э}$ – эквивалентный диаметр [5,6], $u_{\mathrm{ср}}$ – средняя скорость потока в канале.

а)



1 – T_0 = 20 °С; 2 – T_0 = 40 °С;
3 – T_0 = 60 °С; 4 – = 80 °С;
5 – T_0 = 60 °С – прямолинейный конвергентный канал

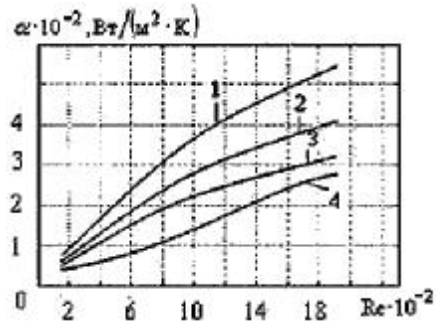
б)



1 – T_0 =20 °С; 2 – T_0 = 40 °С;
3 – T_0 =60 °С; 4 – T_0 = 80 °С

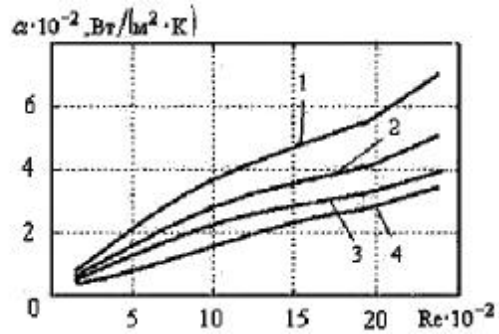
Рис. 8. Коэффициент теплоотдачи в криволинейном конвергентном канале ($w = 50\,c^{-1}$):
а) конвергентный канал с кольцевой щелью; б) конвергентный канал, сочлененный с кольцевым насадком

а)



конвергентный канал с кольцевой щелью;

б)



конвергентный канал, сочлененный с кольцевым насадком

Рис. 9. Коэффициент теплоотдачи в криволинейном конвергентном канале (T_0 = 60 °С):

1 – $\omega = 30\,c^{-1}$; 2. – $\omega = 50\,c^{-1}$; 3 – $\omega = 80\,c^{-1}$; 4 – $\omega = 100\,c^{-1}$

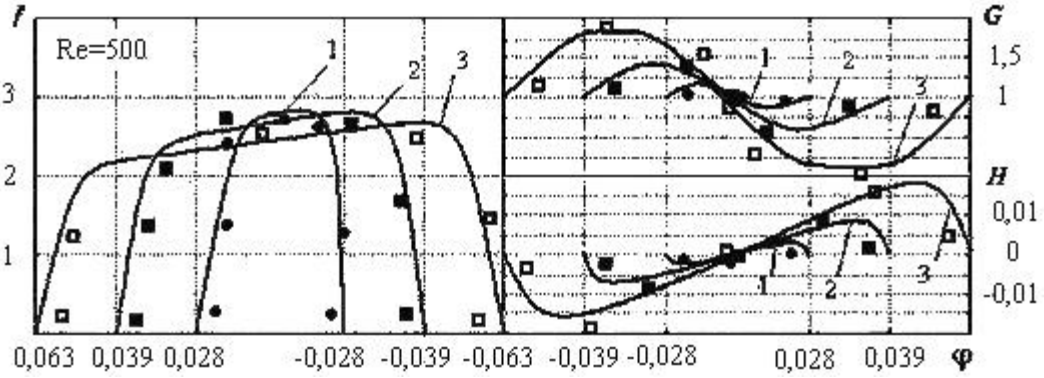


Рис. 10. Распределение радиальной f, тангенциальной G и осевой H скоростей между лопатками ($w = 50\,c^{-1}$): сплошные линии – данные автора; точки – по данным работы [10]: 1 – $\bar{r} = 1{,}25$; 2 – $\bar{r} = 1{,}75$; 3 – $\bar{r} = 2{,}45$

Как видно из приведенных данных (рис. 8, 9), коэффициенты теплоотдачи зависят от угловой скорости вращения канала, причем при постоянных угловых скоростях вращения, с ростом критерия Рейнольдса, наблюдается рост интенсивности теплообмена.

С увеличением угловой скорости вращения интенсивность теплоотдачи уменьшается, что, видимо, связано с общим снижением циркуляции жидкости в межлопаточном пространстве и образованием в его объеме вторичных течений. Это в целом согласуется с результатами исследований процессов теплообмена в радиально вращающихся трубах различной конфигурации [9, 10]. Исследования ламинарных потоков в конвергентном канале с кольцевой щелью (рис. 8а, 9а) показали, что в интервале $w = 30...100\,c^{-1}$ коэффициент теплоотдачи увеличивается в 2-3 раза по сравнению с вращающимися прямолинейными осесимметричными конвергентными каналами, а в случае конвергентного канала, сочлененного с кольцевым насадком, имеет место дальнейший рост коэффициентов теплоотдачи в среднем на 25-30 % (рис. 8б, 9б).

Проверка адекватности построенных математических моделей проводилась путем сравнения поля скоростей, исследованных в работе, с данными, опубликованными в литературе [11]. Как следует из рис. 10, расхождение не превышает ± 12 %.

Заключение

1. На базе полной системы уравнений гидродинамики и теплообмена с учетом условий однозначности построены математические модели сопряженного теплообмена при течении вязкой жидкости в радиально вращающемся криволинейном конвергентном канале, профиль стенок которого очерчен дробно-линейной функцией, снабженном радиальными лопатками и сочлененном с кольцевым насадком, выполненном в виде призматических элементов, расположенных непрерывным рядом по окружности.

2. Теоретические исследования показали, что для рассматриваемого криволинейного канала оптимальным является установка шести лопаток. Дальнейшее увеличение их числа приводит к снижению коэффициента теплоотдачи в среднем на 15-20 %.

3. На базе метода конечных элементов разработан алгоритм численной реализации задачи сопряженного теплообмена в радиально вращающемся криволинейном конвергентном канале и кольцевом насадке, позволивший определить компоненты скоростей и поле температур в стенках и проточной части каналов в зависимости от чисел закрутки, критериев Рейнольдса и Пекле.

4. Установлено, что по мере роста интенсивности вращения нарушается симметрия профиля температур относительно оси канала и происходит трансформация профиля безразмерной температуры, и его переход из параболического в трапециедальный закон распределения.

5. Показано, что коэффициенты теплоотдачи зависят от угловой скорости вращения, при этом в конвергентном канале с кольцевой щелью в интервале $w = 30...100\,c^{-1}$ коэффициент теплоотдачи увеличивается в 2-3 раза по сравнению с вращающимся прямолинейным осесимметричным конвергентным каналом, а в случае конвергентного канала, сочлененного с кольцевым насадком, имеет место дальнейший рост коэффициентов теплоотдачи в среднем на 25-30 %.

6. Подтверждена адекватность математических моделей путем сравнения полученных значений поля скоростей с результатами, опубликованными в литературе. Расхождение составляет ±12 %.

Литература

1. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. – М.: Энергия, 1979. – 287 с.
2. Лямаев Б.Ф. Газоструйные насосы и установки. – Л.: Машиностроение, 1988. – 256 с.
3. Хураев Л.В. Экспериментальное исследование запуска парожидкостного инжектора в закрытом контуре// Исследование по теплообмену и гидродинамике в элементах энергетических установок. – М.: ГНИЭИ,1979. – С 118-129.
4. Аппарат для проведения процессов тепломассообмена: Патент 2306518 F28D 11/08 Рос. Федерация. № 2006105076/06; заявл. 17.02.06; опубл. 20.09.06; Бюл. № 26. – 3 с.
5. Багоутдинова А.Г. Модернизация узла подготовки горячей воды на базе вращающегося малоинерционного теплообменного аппарата в технологии приготовления суспензии стеарата кальция // Дисс. на соиск. степени канд. тех. наук. – Казань, 2007. – 110 с.
6. Белавина Т.В., Золотоносов Я.Д. Исследование конвективного теплообмена при ламинарном течении вязкой жидкости в радиально вращающемся криволинейном ка-нале, сочлененном с кольцевой насадкой // ВИНИТИ. – М., 2007. – 72 с.
7. Сегерлинд Д. Применение метода конечных элементов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 392 с.
8. Пейре Р., Тейлор Т.Д. Вычислительные методы в задачах механики жидкости. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 352 с.
9. Мальцев В.В. Исследование движения газа и теплоотдачи во вращающихся роторах// Вестник электропромышленности, 1962, № 11. – С. 15-22.
10. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. – М: Машиностроение, 1970. – 332 с.
11. Кочубей А.А., Рядно А.А. Численное моделирование процессов конвективного переноса на основе метода конечных элементов. – Днепропетровск: ДГУ, 1991. – 223 с.

УДК 697.9

В.А. Бройда – кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЧИЛЛЕРА С ЕСТЕСТВЕННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ РАСХОДА ХОЛОДНОЙ ВОДЫ

АННОТАЦИЯ

Рассчитываются годовые затраты электроэнергии на работу чиллера с естественным охлаждением и регулированием расхода холодной воды. Учитываются поступления теплоты в помещения, климатические условия, режим работы. Определяются длительности периодов потребления холода, эффективность естественного охлаждения с регулированием расхода, рациональные инвестиции в оборудование.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Чиллер, естественное охлаждение, регулирование расхода, эффективность.

V.A. Broyda – candidate of technical science, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

CHILLER'S EFFICIENCY WITH FREE-COOLING UNDER COLD WATER FLOW REGULATION

ABSTRACT

The annual power consumption for chiller operation with free-cooling and cold water flow regulation is calculated. Heat input, climatic conditions and operation modes are taken into consideration. The length of cold consumption periods, free-cooling efficiency with flow regulation, and rational investments into equipment are determined.

KEYWORDS: Chiller, free-cooling, regulation of flow, efficiency.

Введение

Чиллеры – водоохлаждающие холодильные машины, используемые в системах кондиционирования воздуха, являются наиболее дорогими агрегатами инженерного оборудования здания и крупными потребителями электрической энергии. Естественное охлаждение (Free Cooling – FC) применяется в чиллерах для экономии затрат электроэнергии. Сущность FC заключается в том, что при температуре наружного воздуха ниже, чем температура обратной (отепленной) воды, отключается холодильная машина и циркулирующая вода охлаждается в дополнительном теплообменнике наружным воздухом. Такой чиллер дороже, для его круглогодичной работы применяется не вода, а антифриз – обычно 30 ÷ 40 % раствор этиленгликоля.

При фиксированных температуре и расходе жидкости температурные условия применения FC ограничены, невелика выгода от его использования. Для расширения этих условий можно соответственно снижению нагрузки чиллера рационально уменьшать расход жидкости. Тогда повышается её температура в обратной линии, расширяются температурные границы применения, возрастает эффективность FC. При таком регулировании снижаются затраты энергии на работу циркуляционного насоса.

Целью данного исследования является энергетическая и экономическая оценка эффективности использования чиллеров с естественным охлаждением в годовом цикле при использовании регулирования расхода холодной воды.

Основная часть

Для достижения цели исследования следует: применить соответствующую климатическую модель; применить адекватное описание изменения нагрузки чиллера; выразить потребление электроэнергии основными устройствами чиллера; связать экономию электроэнергии с обоснованными инвестициями в FC.

Приближенной климатической моделью может служить описание годового изменения среднесуточной температуры наружного воздуха

$$t = t_Г + A \cdot Cos(z), \qquad (1)$$

где $t_Г$, A – соответственно, среднегодовое значение и амплитуда отклонения температуры, величины которых могут устанавливаться по данным [1], ^{0}C; z – безразмерная переменная времени $z = Z \cdot 2p / 365$; Z – время, отсчитываемое от годового максимума температуры, сут.

В описании нагрузки чиллера следует указать: постоянные поступления теплоты технологические, от освещения и др.; затраты холода на охлаждение вентиляционного воздуха; трансмиссионные теплопритоки (или теплопотери) через наружные ограждения. Тогда нагрузка чиллера определяется из уравнения теплового баланса

$$\Delta Q = Q - L \cdot c \cdot r \cdot (t_B - t_П) - 3{,}6 \cdot q \cdot V \cdot (t_B - t), \quad (2)$$

где Q – теплопоступления в помещения от оборудования, людей и других источников, кДж/ч; L – расход вентиляционного воздуха, м^3/ч; c, r – соответственно, теплоемкость и плотность воздуха, c =1,005 кДж/(кг·^{0}С), r =1,2 кг/м^3; t_B, $t_П$ – соответственно, температуры внутреннего и приточного воздуха, ^{0}С; q – удельная тепловая характеристика здания, Вт/(м^3·^{0}С); V – объем охлаждаемых помещений, м^3.

Температура приточного воздуха совпадает с температурой наружного воздуха до некоторого значения $t_{ПР}$, которое ограничивается способом воздухораспределения.

Если $t \geq t_{ПР}$, то $t_П = t$, если $t < t_{ПР}$, то $t_П = t_{ПР}$.

Чиллер выбирается по нагрузке, соответствующей максимальным избыткам теплоты ΔQ_{MAX}, которые наблюдаются при максимальной температуре наружного воздуха, $t_{MAX} = t_Г + A$. Этому состоянию соответствуют температуры холодной и обратной жидкости t_{W10} и t_{W20}. Максимальный расход жидкости G_{WMAX} составляет:

$$G_{WMAX} = \Delta Q_{MAX} / (c_W \cdot (t_{W20} - t_{W10})), \quad (3)$$

где c_W – теплоемкость жидкости, для воды c_W =4,19 кДж/(кг·^{0}С), для 30 % раствора этиленгликоля = 3,5 кДж/(кг·^{0}С).

Можно сформулировать условия рационального изменения расхода жидкости: температура холодной воды постоянна $t_{W1} = t_{W10} = const$; разность температур воздуха в помещениях и обратной жидкости изменяется пропорционально меняющейся нагрузке чиллера, откуда:

$$t_{W2} = t_B - (t_B - t_{W20}) \cdot \Delta Q / \Delta Q_{MAX}. \quad (4)$$

Тогда переменный расход холодной воды определится выражением:

$$G_W = \Delta Q / (c_W \cdot (t_{W2} - t_{W1})). \quad (5)$$

Номинальная холодопроизводительность FC – Q_{FCO} обычно приводится при определенной температуре наружного воздуха t_{FCO} и температуре обратной жидкости t_{WFCO}. При иных температурных условиях холодопроизводительность собственно FC (теплообменника FC) можно оценить с помощью выражения:

$$Q_{FC} = Q_{FCO} \cdot (t_{W2} - t) / (t_{WFCO} - t_{FCO}). \quad (6)$$

Возможны три режима работы чиллера с FC:

1 – режим работы холодильной машины при температуре наружного воздуха выше, чем температура обратной жидкости, когда использование FC невозможно. Этот режим реализуется в диапазоне температуры наружного воздуха от t_{MAX} до некоторой температуры t_1

$$t_1 = t_{W2} - (2 \div 3); \quad (7)$$

2 – смешанный режим, используется и FC, и частично холодильная машина, когда с помощью только FC невозможно устранить имеющиеся избытки теплоты. Он реализуется в диапазоне температур наружного воздуха от t_1 до некоторой температуры t_2. Граничная температура t_2 определяется условием

$$Q_{FC} = \Delta Q; \quad (8)$$

3 – режим FC, когда компрессоры холодильной машины полностью отключаются. Температурная граница использования режима FC и, вообще, режима охлаждения помещений (если потребность в холоде не круглогодичная) – t_3 находится из условия

$$\Delta Q = 0. \quad (9)$$

Экономия достигается во 2-м и 3-м режимах, за счет снижения и прекращения затрат электроэнергии на выработку искусственного холода. Кроме того, в режиме FC сберегается ресурс компрессоров.

Временные границы каждого из этих интервалов (соответствующие некоторой j-й температуре) в безразмерном виде определяются формулой:

$$z_J = ArcCos((t_J - t_Г) / A). \quad (10)$$

Во временном интервале 0 – z_1 необходимая мощность холодильной машины чиллера определяется формулой (1) $\Delta Q_C = \Delta Q$, а мощность FC равна 0.

В интервале z_1 – z_2 мощность естественного охлаждения Q_{FC} будет возрастать, а мощность холодильной машины чиллера ΔQ_C – снижаться

$$\Delta Q_C = \Delta Q - Q_{FC}. \quad (11)$$

В интервале z_2 – z_3 мощность холодильной машины чиллера равна 0, вся необходимая мощность охлаждения достигается за счет FC и определяется по той же формуле (1) $\Delta Q_{FC} = \Delta Q$.

Необходимое количество холода (кВт·ч), вырабатываемого чиллером без FC за годовой цикл, определяется формулой:

$$Q_{\Gamma-C} = (365/p)\cdot(x_2 - x_1)\cdot(s/7)/3600\cdot\int_0^{z_3}\Delta Q dz. \quad (12)$$

Необходимое количество холода (кВт·ч), вырабатываемого холодильной машиной при использовании FC за годовой цикл, определяется формулой:

$$Q_{\Gamma-FC} = (365/p)\cdot(x_2 - x_1)\cdot(s/7)/3600\cdot$$
$$\cdot(\int_0^{z_1}\Delta Q dz + \int_{z_1}^{z_2}\Delta Q_C dz), \quad (13)$$

где x_1 и x_2 – время начала и окончания работы чиллера в течение суток, ч; s – число рабочих суток в неделю, сут.

Эффективность выработки холода при использовании FC составляет:

$$h_X = (Q_{\Gamma-C} - Q_{\Gamma-FC})/Q_{\Gamma-C} \quad (14)$$

Затраты электроэнергии на работу чиллера складываются из затрат энергии компрессоров N_K, вентиляторов N_B, насосов N_H.

На выработку 1 кВт холода расходуется, в зависимости от типа компрессоров, хладагента и температурных условий, 0,32 ÷ 0,38 кВт электроэнергии (K_1 =0,32 ÷ 0,38). Повышение температуры холодной воды на 1 ^{0}C, при прочих равных условиях, приводит к снижению потребления энергии компрессором на 1 ÷ 1,5 % (K_2 =0,01 ÷ 0,015).

У чиллера с воздушным конденсатором с понижением температуры воздуха на 1^{0}C затрачиваемая мощность компрессоров уменьшается на 2 ÷ 2,5 % (K_3=0,02 ÷ 0,025). С учетом сказанного, изменение N_K можно описать приближенной зависимостью:

$$N_K = K_1\cdot\Delta Q\cdot((1 - K_2\cdot(t_{W1} - t_{W10}))\cdot$$
$$\cdot(1 - K_3\cdot(t_{MAX} - t)). \quad (15)$$

Зависимость (15) применяется в данном расчете в зоне работы компрессоров без FC, при $t \geq t_1$. В зоне температур $t < t_1$ учитывается только зависимость N_K от ΔQ, остальные параметры сохраняются такими же, как на границе этой зоны.

Мощность вентиляторов чиллера максимальна $N_{BMAX} = k_4\cdot\Delta Q_{MAX}$ при $t = t_{MAX}$. В диапазоне температур от t_{MAX} до t_1 мощность вентиляторов снижается пропорционально уменьшению нагрузки. В диапазоне температур от t_1 до t_2 она максимальна, чтобы полностью использовать возможности FC. При дальнейшем снижении температуры до t_3, величина N_B снижается

$$N_B = K_4\cdot\Delta Q\cdot(t_{W2} - t_2)/(t_{W2} - t). \quad (16)$$

В зависимости от конкретной марки и типоразмера чиллера K_4 ≈0,04 ÷ 0,06.

Мощность циркуляционного насоса при неизменном расходе жидкости постоянна, а при регулируемом расходе она пропорциональна 3-ей степени расхода

$$N_H = K_5\cdot\Delta Q_{MAX}\cdot(G_W/G_{WMAX})^3. \quad (17)$$

Мощность насоса зависит от конструкции гидравлической системы, величина K_5 может варьироваться в широком диапазоне, ориентировочно K_5=0,03 ÷ 0,15.

Общая мощность устройств чиллера, потребляющих электроэнергию при использовании FC и при отсутствии FC, определяется формулой:

$$N = N_K + N_B + N_H, \quad (18)$$

с учетом высказанных выше особенностей включения и регулирования этих устройств.

Годовое потребление электроэнергии чиллера без FC составит:

$$E_{\Gamma-C} = (365/p)\cdot(x_2 - x_1)\cdot(s/7)/3600\cdot\int_0^{z_3}N dz \quad (19)$$

Годовое потребление энергии чиллером с FC определяется формулой:

$$E_{\Gamma-FC} = (365/p)\cdot(x_2 - x_1)\cdot(s/7)/3600\cdot$$
$$\cdot(\int_0^{z_1}N dz + \int_{z_1}^{z_2}N dz + \int_{z_2}^{z_3}N dz) \quad (20)$$

Эффективность энергопотребления при использовании FC составляет:

$$h_E = (E_{\Gamma-C} - E_{\Gamma-FC})/E_{\Gamma-C}, \quad (21)$$

тогда уменьшение затрат электроэнергии выражается формулой:

Таблица

Тем-ры: t_{W10} / t_{W20}, ^{0}C	Клим-мат. усл.: $t_Г$ / A, ^{0}C	Q, Q_{CMAX} кВт	$Q_{Г-C}$, $Q_{Г-FC}$ кВт·ч в год	h_X	$E_{Г-C}$, $E_{Г-FC}$ кВт·ч в год	h_E	Время, Z_1-0, Z_1-Z_2, Z_3-Z_2, сут.	ΔE, тыс. кВт·ч в год	$\Delta Э$, тыс. руб/год $\Delta И$, тыс. руб
10/15	10/25	15,0 20,3	60846 44231	0,27	27362 17901	0,35	147,1 18,3 199,7	9,5	14,9 168,9
		20,0 25,3	92131 58950	0,36	37951 23800	0,37	150,7 23,0 191,3	14,2	29,7 252,5
	5/25	15,0 17,6	49857 34149	0,32	23454 14318	0,39	124,8 21,2 219,0	9,1	19,2 163,1
		1) 20,0 22,6	81142 47104	0,42	34155 19791	0,43	128,5 26,3 210,2	14,9	31,2 265,3
	0/25	15,0 15,0	39551 25051	0,37	19545 10919	0,44	101,1 25,6 238,3	8,6	18,1 154,0
		20,0 20,0	70837 36172	0,49	31399 15890	0,49	104,8 31,4 228,8	15,5	32,6 276,8
10/15	5/25	**2)** 20,0 22,6	81142 47104	0,42	43157 21372	0,51	128,5 26,3 210,2	20,8	45,7 388,7
7/12	5/25	**3)** 20,0 22,6	81142 48629	0,40	34262 20064	0,41	136,5 23,4 205,1	14,2	29,8 253,4

$$\Delta E = E_{Г-C} - E_{Г-FC} = E_C \cdot h_E, \qquad (22)$$

а годовая экономия средств (руб/год), связанная с экономией электроэнергии, равна:

$$\Delta Э = C_E \cdot \Delta E, \qquad (23)$$

где C_E – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч .

При норме дисконта r =0,1, инвестиции в энергосбережение являются перспективными с учетом наращивания получаемых доходов, если срок окупаемости $T_0 \leq 8{,}5$ лет [2]. Тогда, целесообразные инвестиции (удорожание чиллера с FC), оправданные годовой экономией денежных средств, определяются выражением:

$$\Delta И = T_O \cdot \Delta Э \leq 8{,}5 \cdot \Delta Э \qquad (24)$$

Результаты

Разработана компьютерная программа, реализующая расчет по указанным выше зависимостям. В таблице приведены результаты расчетов при следующих значениях исходных величин: V =1000 м^3, L =1000 м^3/ч (1-кратный воздухообмен), t_B =25 ^{0}C, q =0,2 Вт/(м^3·^{0}C). Характерные температуры: $t_П$ = 10 ^{0}C, t_{FCO} =5 ^{0}C, t_{WFCO} = 15,0 ^{0}C; для FC-чиллеров типично $Q_{FCO} \approx 0{,}65 \cdot Q_{CMAX}$. Коэффициенты: K_1 =0,35, K_2 =0,015, K_3 =0,02, K_4 =0,05, K_5 =0,06. Режим работы – круглосуточный ($x_2 - x_1$ =24 ч), число рабочих суток в неделю s = 5 сут. Стоимость электроэнергии – 2,1 руб/кВт·ч. Остальные исходные данные представлены в таблице.

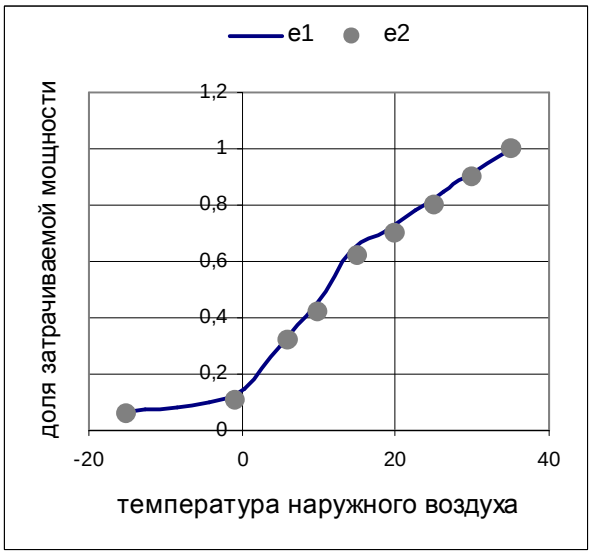


Рис.

Сравнение результатов расчета с данными чиллера KAPPA.V2001/FC [3] при неизменной нагрузке (тестовая кривая): e1 – результаты расчета; e2 – данные [3], совпадение хорошее.

Из расчетов следует, что для применения FC наиболее значимы поступления теплоты и климатические условия. Большим поступлениям теплоты соответствует большая эффективность FC, а более жаркому климату – меньшая эффективность.

Варианты длительности работы, зависящие от числа рабочих часов в сутках и количества рабочих суток в неделю, отдельно не представлены, так как ясно, что большей длительности соответствует больший экономический эффект.

Регулирование расхода холодной воды приводит к повышению эффективности FC за счет экономии энергии на работу и компрессоров, и насоса. Снижение потребления энергии насосом особенно заметно при его повышенной установочной мощности. Условия расчетов, помеченных **1)** и **2),** отличаются только тем, что во втором случае мощность насоса выше, K_5 =0,12. Понижение температур жидкости t_{W10}/t_{W20} несколько понижает эффективность FC. Это видно из сравнения расчетов, помеченных **1)** и **3)**, отличающихся только величинами t_{W10}/t_{W20}.

Эффективность FC с регулированием расхода холодной воды достаточно высока, значительно выше, чем при поддержании постоянной температуры и расхода воды [4].

Заключение

Регулирование расхода воды значительно повышает эффективность чиллеров с FC, расширяет область применения. Полученные результаты дают общую оценку эффективности их использования. Предложенный способ оценки позволяет определять целесообразность применения такого чиллера в конкретных условиях.

Климатическая модель, модель нагрузки чиллера могут совершенствоваться. Уточнение коэффициентов $K_1 \div K_5$ или более точное описание соответствующих зависимостей целесообразно для конкретного типоразмера чиллера, с определенным хладагентом и циркуляционным насосом.

Литература

1. СНиП 23-01-99*. Строительная климатология / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2003. – 70 с.
2. Табунщиков Ю.А., Шилкин Н.В. Оценка экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия // «АВОК», 2005, № 7. – С. 10-16.
3. «BLUE BOX» condizianamento // http:// www.bluebox.ru/Kappa_V_2001_FC_s.pdf. (дата обращения 1.03.2009).
4. Бройда В.А. Оценка эффективности использования чиллеров с режимом свободного охлаждения // Материалы Междунар. научн. конф. «Качество внутреннего воздуха и окружающей среды». – Волгоград, 2007. – С. 121-126.

УДК 628.512.002

М.Г. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент
А.М. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ АВТОСЛОЯ НА ТКАНЫХ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ. ЧАСТЬ 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ И ПРЕПЯТСТВИЯ В ПОТОКЕ

АННОТАЦИЯ

Для уточнения характеристик фильтрации в пористом слое проведены численные исследования модели обтекания препятствия при помощи программного комплекса Fluent. Получены соотношения для определения фракционных параметров сепарации частиц из потока. Посредством сопоставления энергетических характеристик потока, частиц и межмолекулярных сил как дисперсионных взаимодействий получены также параметры, показывающие возможность удержания частиц препятствиями.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Фильтрация, численные исследования, сепарация, фракционный параметр, энергетические характеристики.

M.G. Ziganshin – candidate of technical sciences, associate professor
A.M. Ziganshin – candidate of technical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE HALF EMPIRICAL MODEL OF AUTOLAYER FORMATION ON WEAVERING FILTRATIONAL MATERIALS. A PART 1. RESEARCH OF INTERACTION BETWEEN WEIGHED PARTICLES AND OBSTACLE IN THE FLOW

ABSTRACT

For specification of filtration characteristics in a porous layer the numerical investigations of model of obstacle flow by means of program complex Fluent are carried out. The rations for fractional parameters definition of particles separation from a stream are received. By comparison of energy characteristics of stream, and particles, and intermolecular forces as dispersive interactions, the parameters, showing the possibility to retain the particles by obstacles, are also received.

KEYWORDS: Filtration, numerical investigations, separation, fractional parameter, energy characteristics.

Для фильтрации выбросов с дисперсными загрязнителями повышенной опасности, несмотря на значительные энергетические и материальные затраты, используются в основном волокнистые пористые среды. Принципиально они заменимы на тканые структуры, что открывает возможность радикального решения проблемы ресурсосбережения. Одна из сдерживающих причин кроется в отсутствии подходов к расчетам оптимальных параметров работы тканевых фильтров с реальной структурой, учитывающим образование автослоя. Это стохастический процесс, зависящий от дисперсного состава, слипаемости, морфологии и других свойств пыли, параметров потока, а также заметно меняющихся за срок эксплуатации свойств тканевой подложки. В современной теории фильтрации рассматриваются характеристики эффектов, ведущих к столкновению частицы с препятствием, а энергетика их взаимодействия изучена пока недостаточно. Степень осаждения рассчитывается по эмпирическим зависимостям, полученным на моделях препятствий, превышающих размеры волокон и нитей фильтрующего слоя на 2-3 порядка и вносящих существенные возмущения в поток. При фильтрации в тканево-волокнистом слое размеры препятствий и взвешенных частиц сопоставимы, что позволяет ожидать соизмеримости вносимых возмущений. Поэтому характеристики сепарации частиц нуждаются в корректировке.

Уточненное изучение процесса обтекания препятствий размером менее 10^{-3} м может быть выполнено на основе численного эксперимента методами вычислительной гидродинамики. Были проведены численные исследования двухмерной модели обтекания препятствия при помощи программного комплекса *Fluent*. Исследованы характеристики обтекания препятствий диаметром D_{ob}, равным 100, 200, 500 и 1250 мкм, в границах режимов, определяемых по числу Рейнольдса для препятствия Re_{ob}: от 0,1 (вязкий) до 1000 (переходный к потенциальному). Плотность воздуха ρ = 1,225 кг/м^3, динамический коэффициент вязкости $\eta = 17{,}894 \cdot 10^{-6}$ Па·с. На рис. 1 представлено сравнение результатов опытов по М. Ван-Дайку ([1], фото № 42, Sadatoshi Taneda, 1956) и численного исследования обтекания препятствий, с диаметрами D_{ob} соответственно 0,5 дюйма и 500 мкм, при одинаковом режиме с Re_{ob} = 26.

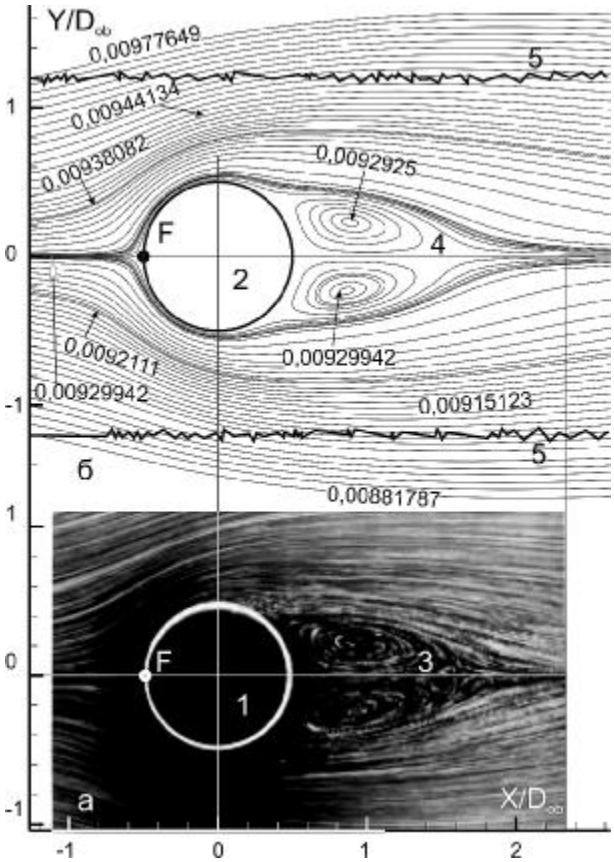


Рис. 1. Обтекание круглого цилиндра в натурном эксперименте по [1] (а) и по результатам численного эксперимента (б): 1, 2 – соответственно, модели препятствия диаметром 0,5 дюйма и 500 мкм; 3, 4 – зоны рециркуляции; 5 – границы зоны 3-кратной адаптации расчетной области в численном эксперименте

Линии тока на фото (рис. 1а) визуализированы с помощью алюминиевого порошка в воде. В обоих случаях обтекание практически симметрично. Наблюдается совпадение опытных и расчетных линий тока перед препятствием, хорошее качественное и количественное соответствие контура рециркуляционной зоны. Опытные и расчетные относительные расстояния по потоку до центров вихрей, рассматриваемые М. Ван-Дайком как характерные для режимов обтекания в пределах $5 < Re_{ob} < 26$, различаются менее чем на 5%. Таков же порядок расхождения и других данных, полученных в численном эксперименте, что позволяет надежно рассчитывать по ним ряд необходимых количественных характеристик течения.

Исследованиями уточнена схема обтекания препятствий размером менее $1250 \cdot 10^{-6}$ м. При любом режиме линии тока изгибаются на расстоянии L не более чем за 1,5 R_{ob} до препятствия. По месту поворота перед препятствием скорость потока и радиусы изгиба линий тока растут от центра к периферии. Это позволяет представить математическую модель потока в виде совокупности некоторого числа линий тока, осесимметрично обращенных относительно касательных в точках поворота. В данной работе рассматривалась совокупность из 33 линий тока, которая включала центральную линию с радиусом изгиба $R_0 = 0$, а также по 16 следующих выше и ниже центральной. Ограничивают модель две характерные (базовые) линии тока, проходящие в невозмущенном потоке на 1/3 R_{ob} выше и ниже центра частицы. На рис. 1б это линии со значениями функций тока 0,0092111 и 0,00938082 кг/с. Радиусы их изгиба R_{16}, R_{32} были приняты за максимальные, с которых еще возможен сход частиц, а их положения считались крайними, с которых сошедшие частицы еще могли попасть на препятствие. Полученным данным соответствует модель вращения $uR^k = const$ с показателем степени $k \approx -0{,}84$. Она близка к модели вращательного движения с постоянной угловой скоростью («квазитвердого» вращения) $\omega = u/R = const$.

По данным численных исследований получен энергетический параметр, лимитирующий сепарацию взвешенных частиц из потока на повороте перед препятствием. В невозмущенном потоке расстояние между базовыми линиями тока равно $2R_{ob}/3$. Расход между ними на 1 м толщины потока $W = 2u_0R_{ob}/3 = 1{,}69 \cdot 10^{-4}$ кг/с $= 1{,}39 \cdot 10^{-4}$ м^3/с. Расход между теми же базовыми линиями на повороте потока перед частицей определится интегрированием по местным скоростям:

$$W = 2\int_0^{R_{16}} u dR = 1{,}087 u R^{-0{,}84} R_{16}^{1{,}84}. \qquad (1)$$

По результатам исследований, при потенциальном режиме обтекания радиусы кривизны $R_{16} \approx R_{32} \approx 1{,}35\, R_{ob}$. Тогда $u = u_0 \left(R/R_{16}\right)^{0{,}84} / 2{,}2$, и радиальный градиент силы f_R с энергетическим параметром a_{rot} [2], можно представить для потока по месту

поворота перед препятствием в виде:

$$f_R = \rho_G u_0^2 R_{16} / 4{,}84 \text{ Па·м} \quad (2)$$

$$a_{rot} = f_R / u_0 = \rho_G u_0 R_{16} / 4{,}84 \text{ Па·с.} \quad (3)$$

Соотнеся a_{rot} с динамическим коэффициентом вязкости потока, получим энергетический параметр вращающегося потока Re_{rot}, обтекающего препятствие, который имеет структуру числа Рейнольдса:

$$\mathrm{Re}_{rot} = a_{rot} / \eta = \rho_G u_0 R_{16} / (4{,}84\eta). \quad (4)$$

Параметр Re_r, выражающий соотношение энергетических характеристик частицы и потока, получен как отношение квадрата инерционного числа частицы $\mathrm{Re}_p^{in} = \sqrt{3\pi}\, u_0 \tau_w / R_{16}$ к Re_{rot}:

$$\left(\mathrm{Re}_p^{in}\right)^2 / \mathrm{Re}_{rot} = 0{,}141 \frac{u_0 \rho_p^2 D_p^4}{\rho_G R_{16}^3 \eta} = 0{,}141 \mathrm{Re}_r. \quad (5)$$

Здесь $\tau_w = \rho_p D_p^2 / (18\eta)$ – время релаксации, с.

Величина Re_r показывает возможность сепарации частицы из криволинейного потока вследствие того, что она продолжает по инерции двигаться в прежнем направлении. Соотношение значений R_{ob} и R_{16}, определенное проведенными исследованиями, позволяет непосредственно сопоставить параметры Re_r и Stk. При вязком режиме обтекания R_{16} составляет от 4,4 до 2,25 R_{ob}, и $\mathrm{Re}_r = (4 \div 8) D_p^2 \mathrm{Stk} / R_{16}^2$. Сопоставление параметров Re_r и Stk при потенциальном режиме обтекания препятствий диаметром до 1250 мкм дает: $\mathrm{Re}_r = 47{,}8 r_p^2 \mathrm{Stk} / R_{16}^2$. С учетом критического значения $\mathrm{Stk}_{cr} \approx 1/8$

$$\mathrm{Re}_r = (5{,}25 - 0.00318 R_{ob}) r_p^2 / R_{ob}^2. \quad (6)$$

Полученное выражение может быть использовано в качестве критической величины, определяющей фракционные параметры сепарации частиц из потока при развитом потенциальном режиме обтекания препятствий диаметром 1250 мкм и менее.

После схода с линий тока частицы, касаясь препятствия, могут удержаться на нем за счет взаимодействия молекул, расположенных на поверхностях, если межмолекулярные силы смогут противостоять действию потока на частицы. Рассматривая действие межмолекулярных сил упрощенно как вандерваальсовых, возникающих при нулевых колебаниях гармонических осцилляторов, можно представить условие образования максимально прочной связи между ними в виде равенства $\lambda = e^2 / 2\pi\varepsilon_0 r^3 m \omega_0^2 = \pm 1$ [3], где r – равновесное расстояние, м; m –приведенная масса осциллирующих атомов, кг; e = 1,602·10^{-19} Кл – заряд электрона; ε_0 = 8,854·10^{-12} Ф/м – электрическая постоянная; $\mathbf{h} = \mathrm{h} / (2\pi)$ Дж·с – постоянная Планка, или квант действия; $\omega_0 = \mathbf{h} / (m_e r_B^2)$ с$^{-1}$ – круговая частота колебаний зарядов несвязанных атомов на боровской орбитали с r_B = 5,2917·10^{-11} м; m_e = 9,108·10^{-31} кг – масса электрона.

Параметр λ можно рассматривать как безразмерное действие вандерваальсовых сил $a_{VdW} = e^2 / 2\pi\varepsilon_0 r \omega_0$, возникающих при квантовых колебаниях электронных облаков возле центров положительных зарядов, масштабом которого принят механический момент количества движения данного атома по отношению к взаимодействующему с ним атому $a_{mec} = m\omega_0 r^2$. Энергия образовавшейся связи (эффективная энергия) определится как

$$E_{eff} = \mathbf{h}\omega_0 \left(1 - \sqrt{2}/2\right). \quad (7)$$

Равновесное расстояние, соответствующее условию λ = 1 как отношению величин a_{VdW} и a_{mec}, r = 3,6164·10^{-10} м. Итак, размеры зоны действия межмолекулярных сил определяются квантом действия, что служит теоретическим подтверждением опытных данных, свидетельствующих об их ограниченности. Результат может быть получен также решением уравнения Шрёдингера при помощи программы, приводимой в работе [4], с уточнением алгоритма по условию (7):

```
Sub; Dim K1(20), K2(20), K3(20), K4(20); Dim Y(20),
Y1(20), D(20), Y9(20)
NL = 6.022E+23; DG = 7.6064E-12; MY = 0.504 / NL; RG
= 0.000000007412
AA = (2 * 3.1415926535) ^ 2 * 131920000000000# * MY
* 131920000000000# / 2; HH = 6.626176E-27; N = 2;
Y1(1) = InputBox( " Пси-функция " , 1) Y1(2) =
InputBox( " Производная пси-функции " , 0)
A = RG;E = RG * 5; N1 = 100; H = (E - R) / N1; GoSub
5100; Exit Sub
5100 For I = 1 To N: Y(I) = Y1(I): Next I; For I9 = 0 To N1
- 1: X = A + I9 * H
X9 = X: For I = 1 To N: Y9(I) = Y(I): Next I; GoSub 10000
For I = 1 To N: K1(I) = H * D(I): Next I;
X9 = X + H / 2: For I = 1 To N: Y9(I) = Y(I) + K1(I) / 2:
Next I ;GoSub 10000
For I = 1 To N: K2(I) = H * D(I): Next I
X9 = X + H / 2: For I = 1 To N: Y9(I) = Y(I) + K2(I) / 2:
Next I; GoSub 10000
For I = 1 To N: K3(I) = H * D(I): Next I
X9 = X + H: For I = 1 To N: Y9(I) = Y(I) + K3(I) / 2: Next
I; GoSub 10000
For I = 1 To N: K4(I) = H * D(I): Next I; For I = 1 To N
Y(I) = Y(I) + (K1(I) + 2 * K2(I) + 2 * K3(I) + K4(I)) / 6;
Next I; GoSub 6000 ' вывод
```

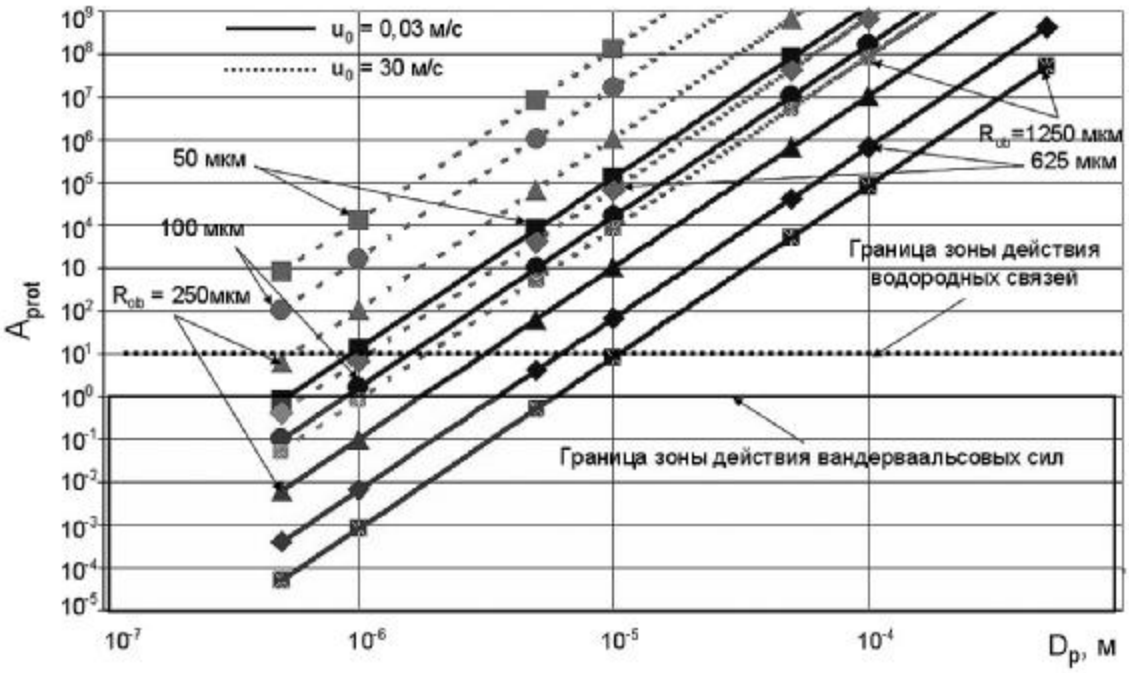


Рис. 2. Зависимость безразмерного энергетического параметра A_{prot} от скорости потока u_0, м/с, и диаметра частиц D_p, м, при размерах препятствий R_{ob} от 50 до 1250 мкм

```
Next I9: Return; 6000 ' Вывод значения пси-функции
Debug.Print " PSI( " ; X; " ) = " ; Y(1), EG, Y(2); Return
10000 ' задать правые части дифференциальных уравнений
D(1) = Y9(2); D(2) = -(EG - FNV(X9)) * 78.952 * MY / HH * Y9(1) / HH
Return; End Sub; Function FNV(R); FNV = AA * (R - RG) * (R - RG)
End Function; ' DG = 7.6064E-12 ' Potential Pit Depth for H2, erg
'MY = 0.504 / NL ' privedennaja massa H2
'RG = 0.000000007412 ' equivalent internuclear distance
'HH = 6.626176E-27 ' Plank`s Const., erg*s
'N = 2 ' Numb. dif. equal.
```

Полученное значение r также показывает, что расстояние, соответствующее максимуму энергии взаимодействия частицы и препятствия, ничтожно мало по сравнению с их размерами как макрообъектами. Поэтому критерий захвата частиц касанием, требующий прохождения частиц от края препятствия на расстоянии не более половины своего размера, является необходимым, но недостаточным условием осаждения. Необходимо еще оценить уровни энергии потока и взаимодействия элементов, находящихся на поверхностях частицы и препятствия. Для $N_A = 6{,}022 \cdot 10^{26}$ элементов, приходящихся на 1 кмоль вещества, величина взаимодействия $a_{p\mu} = N_A h = 3{,}99 \cdot 10^{-7}$ Дж·с/кмоль. Величина действия 1 кмоля потока $a_{rot\mu} = 22{,}4 a_{rot} = 22{,}4 \mathrm{Re}_r \eta$ Дж·с. Энергетический параметр, показывающий соотношение энергии потока и взаимодействия поверхностных элементов, можно представить как $A_{prot} = a_{rot\mu} / a_{p\mu} = 22{,}4 a_{rot}/(N_A h) = 5{,}6 \cdot 10^7 \mathrm{Re}_r \eta$. Параметр A_{prot} позволяет с достаточной для практических целей точностью прогнозировать возможность удержания частиц на препятствиях. Проведены расчеты величины A_{prot} в диапазоне скоростей потока u_0 = 0,03 – 30 м/с, диаметра частиц $(0{,}5\text{-}200) \cdot 10^{-6}$ м и диаметра препятствий 100-2500 мкм. Полученные данные (рис. 2) показывают, что препятствия с характерным для тканых фильтров размером R_{ob} = 50 мкм могут задерживать за счет действия сил водородных связей и вандерваальсовых сил частицы размером около 1 мкм при скорости не выше 0,03 м/с. Частицы со средним для промышленной пыли диапазоном размеров (около 10-40 мкм), могут удерживаться препятствиями с диаметром более 2,5 мм. В целом, возле нитей и волокон тканых фильтров, как препятствий диаметром менее 200 мкм, действие A_{prot}, приобретаемое частицами размером более 5 мкм за счет энергии потока, значительно превосходит действие межмолекулярных сил и превышающих их на порядок сил водородных связей. Удержание таких частиц в пористом слое после касания нитей и волокон может происходить только при существенном вкладе действия других составляющих. Вклад капиллярных сил непостоянен, а магнитных специфичен. Вклад электрических сил при отсутствии внешнего электрического поля не превосходит действия вандерваальсовых сил и может сказаться на задержании частиц до 5 мкм. Для удержания частиц крупнее 5 мкм на препятствиях диаметром до 200 мкм, как следует из рис. 2, потребуется высокопотенциальная энергия,

превосходящая вандерваальсово взаимодействие на 5-6 порядков. Энергия химической связи превосходит энергию межмолекулярной связи на 3-4 порядка. Следовательно, частицы крупнее 5 мкм не смогут удержаться на препятствии после его касания даже при условии образования хемосорбционной связи, что может иметь место при фильтрации в слое материалов из ионообменных волокон.

Таким образом, механизм осаждения взвеси в пористых фильтрах оказывается разным для частиц и препятствий различных размеров. Захват касанием можно считать основным фильтрующим эффектом для частиц размером менее 5 мкм. Они могут быть удержаны на препятствиях после их касания за счет вандерваальсовых сил и силы водородных связей. Частицы промышленной пыли среднего и крупного размера (10-300 мкм) могут задерживаться пористым слоем за счет ситового эффекта (отсева), и для них заведомо непригодны расчетные модели фильтрации в слоях с малой плотностью упаковки волокон. Необходима разработка методов расчета, учитывающих удержание взвеси в слое. Уточнения расчетов осаждения имеют особое значение для повышения эффективности проектирования и эксплуатации систем обеззараживания приточного воздуха и производственных вентиляционных выбросов от радиоактивных, бактериологических и других опасных дисперсных загрязнителей.

Литература

1. Альбом течений жидкости и газа / Сост. М. Ван-Дайк. – М.: Мир, 1986.
2. Зиганшин М.Г., Ежов П.В., Дмитриев А.В. Эффективность очистки газовых выбросов парогенераторов ТЭС в аппаратах вихревого типа // Промышленная энергетика, 2008, № 9. – С. 49-54.
3. Зиганшин М.Г. Анализ упрощений в задачах межмолекулярного взаимодействия газа и поверхности // Известия КазГАСУ, 2008, № 2 (10). – С. 96-99.
4. Эберт К., Эдерер Х. Компьютеры. Применение в химии: Пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 416 с.

УДК 628.512.002

М.Г. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент
А.М. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ПОЛУЭМПИРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ АВТОСЛОЯ НА ТКАНЫХ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ. ЧАСТЬ 2. ОПЫТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ

АННОТАЦИЯ

Проведены опытные исследования образования автослоя на тканом материале при фильтрации слипающейся и слабо слипающейся пыли. На базе полученных данных составлены соотношения для определения параметров формирования структуры автослоя и степени осаждения взвешенных частиц.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Фильтрация, опытные исследования, формирование автослоя, полуэмпирическая модель, степень осаждения, взвешенные частицы.

M.G. Ziganshin – candidate of technical sciences, associate professor
A.M. Ziganshin – candidate of technical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE HALF EMPIRICAL MODEL OF AUTOLAYER FORMATION ON WEAVERING FILTRATIONAL MATERIALS. A PART 2. EXPERIMENTAL RESEARCH OF FILTRATION

ABSTRACT

Experimental investigations of an autolayer formation on fabric material under filtration of sticking and poorly sticking dust are carried. By using of the received data the rations for definition of autolayer structure parameters formation and of degree of the weighed particles sedimentation are created.

KEYWORDS: Filtration, experimental investigations, autolayer formation, half empirical model, degree of sedimentation, weighed particles.

В данном разделе представлены результаты опытного изучения процессов фильтрации. На их основе решается задача моделирования процесса формирования слоя осаждаемых частиц – автослоя – на тканом фильтрующем материале. От характеристик автослоя зависит степень проскока и эффективность работы фильтра. В существующих моделях изменение параметров системы фильтрации в ходе процесса обычно не учитывают, рассматривая вариант с ничтожно малой концентрацией пыли в фильтрующемся потоке. В приложении к реальным выбросам такой вариант приводит к противоположному эффекту: начальный период становится очень длительным, а образование первичного автослоя с перекрытием ячеек межниточного пространства ткани – процессом, лимитирующим степень очистки. Начальный период может не влиять на фильтрацию при другом крайнем варианте – чрезмерно высокой концентрации взвешенных частиц. Однако на практике этот вариант не реализуем: автослой может сформироваться очень быстро, но потребуется почти с такой же частотой проводить регенерацию фильтровального материала. На практике реализуются промежуточные варианты, сочетающие те или иные признаки крайних в зависимости от параметров дисперсной части и дисперсионной среды.

Отсев, который, как было установлено в предыдущем разделе, является основным способом удержания частиц промышленной пыли среднего и крупного размера (10-300 мкм) при фильтрации ткаными материалами, представляет собой достаточно сложный процесс. На чистых клетках, образованных нитями и имеющих размер порядка 100x100 – 200x200 мкм, классифицируются только частицы крупного размера порядка 100-300 мкм (рис. а) и частицы очень мелкого диапазона, непосредственно контактирующие с нитями и волокнами вследствие зацепления, инерции, диффузии, электростатического притяжения (рис. б). Одновременно с этим происходит проскок через клетки частиц размером менее 50 мкм.

а) б)

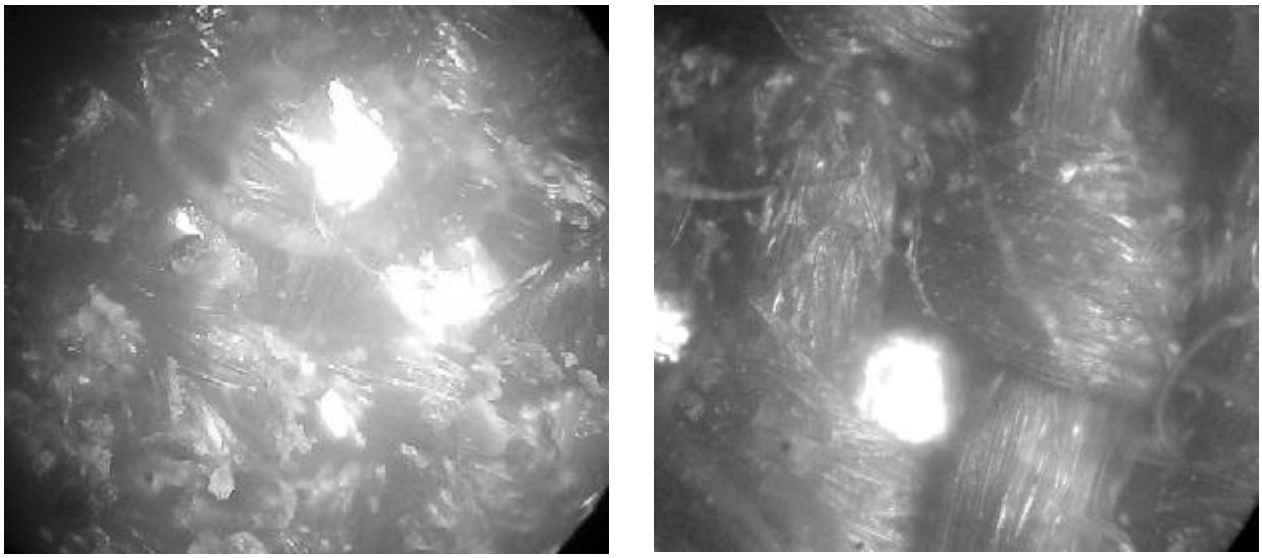


Рис. Фильтрация пыли тканым материалом, начальный период: а – пыль крупная, неслипающаяся; б – пыль мелкая средней слипаемости

Через некоторое время ячейки начинают покрываться частицами пыли. Для перекрытия ячеек с большими просветами необходимо наличие крупных опорных элементов, выходящих в межниточное пространство – осевших частиц или волокон. Мелкие частицы, зацепляясь за опорные элементы и друг за друга, составляют мостики [1], хаотично заполняющие свободное сечение ячейки. Над ними нарастают последующие слои, и формируется первичный пылевой слой, перекрывающий ячейки и часть поверхности ткани – автослой, на котором в дальнейшем происходит осаждение пыли из обрабатываемого потока. По мере продолжения работы плотность ρ и толщина δ автослоя увеличиваются, и сопротивление фильтра растет. Со временем поверхность может быть настолько плотно перекрыта пылью, что из-за высокого перепада давления на фильтре она начнет продавливаться в поры между нитями. Регенерация должна проводиться до наступления такой ситуации.

Начальный размер свободного сечения ячеек и темп их последующего перекрытия являются стохастическими характеристиками. На эффективность осаждения пыли фильтром влияют все стохастические и детерминированные факторы системы. Соответственно этому параметры автослоя (толщина, плотность, проницаемость, укрывистость и др.), будучи стохастическими величинами, являются еще и сложными функциями свойств материала дисперсных частиц. Поэтому для составления нестационарной модели процесса формирования автослоя на тканом материале необходимо использование ряда упрощений и эмпирических данных.

С целью упрощения условно разделяем процесс на 2 этапа – формирования первичного автослоя и его дальнейшего нарастания до останова на регенерацию. Признаком завершения первого этапа будем считать перекрытие ячеек, с сопутствующим ему частичным покрытием поверхности ткани и соответствующим увеличением сопротивления фильтра. На втором этапе с ростом толщины, плотности и снижением проницаемости автослоя перепад давления на фильтре возрастает до величины, при которой система должна быть остановлена на регенерацию. На каждом из этапов масса пыли dm, кг, удаляющаяся вследствие фильтрации за время $d\tau$, с, из потока с постоянным расходом W, м^3/с, и концентрациями до и после фильтра C_b, C_e, кг/м^3, может быть подсчитана как

$$dm = W(C_b - C_e)\,d\tau = W\,\Delta C\,d\tau. \qquad (1)$$

При этом каждому из этапов соответствуют свое характерное время τ и свои параметры процесса. Изменение концентрации пыли в потоке ΔC, кг/м^3, зависит от всех факторов, влияющих на эффективность фильтрации пыли. Значение C_b принимается постоянным. Значение C_e, по опытным сведениям, составляет в начале процесса фильтрации при заправке чистой ткани около $0{,}7C_b$, регенерированной – около $0{,}3C_b$. В конце процесса формирования автослоя $C_e < 0{,}1C_b$, а в конце фильтрации перед регенерацией $C_e < 0{,}005C_b$.

В модели первого этапа процесса фильтрации необходимо отразить характер изменения скорости заполнения пылью свободного сечения ячеек f_{cell}^{fr}, м^2, на 1 м^2 поверхности фильтра f_{tot}, м^2, ($F_{cell}^{fr} = f_{cell}^{fr} / f_{tot}$, м^2/м^2)

и, соответственно, живого сечения поверхности фильтра $F^{fr} = F_{cell}^{fr}$, м²/м². В начале процесса фильтрации площадь запыления $F_{cell}^{dust} = f_{cell}^{dust} / f_{tot}$, м²/м², увеличивается медленно вследствие проскока пылинок через ячейки ткани. По мере образования «мостиков» на клетках степень осаждения возрастает, и скорость заполнения пылью ячеек $dF_{cell}^{dust}/d\tau$ увеличивается вплоть до их перекрытия, т.е. до завершения этапа формирования первичной структуры автослоя. До этого момента производная растет с уменьшением площади свободного сечения ячеек

$$F_{cell}^{fr} = F_b^{fr} - F_{cell}^{dust} \text{ м}^2/\text{м}^2, \qquad (2)$$

где $F_b^{fr} = (1-z)F_{cell}$, м²/м² – относительная начальная площадь свободного сечения межклеточных ячеек ткани; z – коэффициент начального заполнения ячеек (волокнами в чистой ткани и «равновесной» запыленностью после регенерации); F_{cell}, м²/м² – номинальная площадь ячеек на 1 м² поверхности фильтра f_{tot}.

Площадь ячеек на 1 м² ткани определяется как $F_{cell} = 100N \cdot b \cdot h$. Количество ячеек N на 0,01 м² ткани, а также расстояния в свету между нитями основы b, м, и утка h, м, рассчитываются по данным о структурных характеристиках соответствующих видов тканей:

$$N = (\Pi_о - 1) \cdot (\Pi_у - 1);\ b = (0{,}1 - \Pi_о \cdot d_р) / (\Pi_о - 1) \text{ м};$$

$$h = (0{,}1 - \Pi_у \cdot d_р) / (\Pi_у - 1) \text{ м}, \qquad (3)$$

где $\Pi_о$, $\Pi_у$ – плотность ткани по основе и утку, выражаемая числом нитей на 100 мм; $d_р = A\sqrt{T}/31{,}6$, м – расчетный диаметр нити; A – коэффициент, который для фильтровальных тканей может быть принят 1,25; $T = M/L$, мг/м – текс нити; M, мг, и L, м – масса и длина нити.

Начальное живое сечение межниточной ячейки новой ткани составляет в среднем, как показывает изучение различных видов тканых материалов, от 90 % для стеклоткани до 55-80 % для других тканей из натуральных и искусственных волокон. Это позволяет определить начальные площадь свободного сечения F_b^{fr} и свободный (эквивалентный) размер ячеек как долю их номинального размера. По опытным данным, для новых тканей из натуральных и синтетических волокон, исключая стеклянные, металлические и керамические, можно принимать $z \approx 0{,}25 \div 0{,}45$. Для тех же тканей после множества регенераций $z \approx 0{,}7 \div 0{,}8$.

До момента завершения образования автослоя в ячейках производная $dF_{cell}^{dust}/d\tau$ изменяется обратно пропорционально $\left(F_b^{fr} - F_{cell}^{dust}\right)$. Чтобы изменение скорости запыления не зависело от общей площади фильтрации, для составляемой модели в качестве расходной характеристики используем нагрузку на единицу площади поверхности f_{tot}, м², фильтрующего материала – «скорость фильтрации» W/f_{tot}, м³/(м²с). Принимаем также во внимание стохастический характер процесса осаждения частиц пыли на препятствии. Как было показано в первом разделе работы, преимущественным эффектом осаждения частиц среднего размера при фильтрации на тканых фильтрах является ситовой. В таком случае стохастический характер процесса фильтрации при прочих равных условиях будет проявляться в основном через совокупность сочетаний размеров частиц и ячеек сит. Поэтому в качестве параметров, отражающих стохастичность процесса, в модели используются характеристики дисперсного состава пыли и размер межниточных ячеек ткани. Дисперсный состав представлен через медианный диаметр частиц D_m и дисперсию у, а размер ячеек – через их эквивалентный диаметр:

$$D_{eq} = \sqrt{bh}, \text{ м}. \qquad (4)$$

Введение рассмотренных выше допущений позволяет представить зависимость $dF_{cell}^{dust}/d\tau$ в приближенном к реальному процессу виде. С их учетом математическая модель первого этапа оседания пыли на новой и регенерированной ткани может быть представлена в виде линейного дифференциального уравнения первого порядка

$$\frac{dF_{cell}^{dust}}{d\tau} = \frac{W \Delta C D_m \sigma}{f_{tot} \delta \rho D_{eq}} \left(F_b^{fr} - F_{cell}^{dust}\right)^{-1}, \text{ с}^{-1}. \qquad (5)$$

Соотношение $f_{tot}\delta\rho D_b^{eq} / \left(W \Delta C D_m \sigma\right)$ представляет собой временной параметр первого этапа фильтрации τ_{f1}, с, отражающий влияние на степень осаждения основных характеристик потока, частиц и фильтрующей пористой среды. Он равен времени, которое необходимо для образования автослоя толщиной δ, м, и плотностью ρ, кг/м³, на ячейках размером D_b^{eq}, м, при изменении концентрации (при движущей силе, концентрационном напоре) ΔC, кг/м³, диспергированных частиц с характеристиками D_m, м, и у, в потоке с расходом W, м³/с, и при нагрузке W/f_{tot}, м³/(м²с). Запишем выражение (5) в виде:

$$dF_{cell}^{dust}/d\tau = 1 \Big/ \left[\tau_{f1}\left(F_b^{fr} - F_{cell}^{dust}\right)\right]. \qquad (6)$$

Пределы интегрирования определятся из условия, что этап формирования первичной структуры автослоя с перекрытием ячеек $F_{cell}^{dust} = F_b^{fr}$ завершается за время τ_1:

$$\int_0^{F_b^{fr}} \left(F_b^{fr} - F_{cell}^{dust}\right) dF_{cell}^{dust} = \int_0^{\tau_1} d\tau / \tau_{f1}; \qquad (7)$$

$$\tau_1 = \tau_{f1}\left(F_b^{fr}\right)^2 / 2 = f_{tot}\delta\rho D_{eq}\left(F_b^{fr}\right)^2 / \left(2W\Delta C D_m \sigma\right). \quad (8)$$

За это время происходит частичное запыление поверхности нитей фильтрующей ткани. Как показывают опытные исследования, площадь запыления f_{tis1}^{dust}, м², приходящаяся на 1 м² общей площади ткани ($F_{tis1}^{dust} = f_{tis1}^{dust} / f_{tot}$), не превышает 0,25. В целом, масса пыли, уловленная на первом этапе, определится как

$$m_1 = f_{tot}\delta\rho\left(F_b^{fr} + F_{tis1}^{dust}\right), \text{ кг.} \quad (9)$$

Полученные выражения позволяют также определять изменение концентрации пыли в потоке ΔC и степень очистки выбросов для различных моментов времени τ в период с начала фильтрации до перекрытия ячеек автослоем. Расчеты по выражению (8) показывают, что при рекомендуемых [2] скоростях фильтрации от 0,005 м/с для мелких частиц до 0,05 м/с для частиц среднего размера и концентрации менее 10^{-3}кг/м³ время завершения формирования первичной структуры автослоя τ_1 имеет порядок суток и часов. Следовательно, этот этап будет влиять на качество фильтрации в целом и должен учитываться в расчетах. Для крупных частиц (например, пыль процессов деревообработки) или при концентрации загрязнителя более 10^{-3} кг/м³ (например, зола в продуктах сгорания пылевидного топлива, торфа) значение τ_1 имеет порядок минут. Очевидно, в таких случаях необходимости в учете этапа формирования первичной структуры автослоя нет.

На втором этапе, с момента перекрытия ячеек, скорость запыления площади $F_{tis2}^{dust} = f_{tis2}^{dust} / f_{tot}$, м²/м², поверхности ткани становится приблизительно постоянной ($dF_{tis2}^{dust} / d\tau = \text{const}$). В соответствии с данными опытных исследований, приращение массы осаждаемой пыли dm происходит в основном за счет увеличения плотности слоя ρ и нарастания его толщины δ. Ввиду малости прироста толщины слоя и достаточно длинного периода работы фильтров между регенерациями зависимость $\delta = f(\tau)$ без особой погрешности может рассматриваться как линейная. Увеличение плотности автослоя является сугубо стохастической величиной, и зависимость $\rho = f(\tau)$ для тех или иных конкретных случаев может принимать любой вид. Однако при отсутствии внешних полей отсутствуют и процессы, которые могли бы вызвать какие-либо преференции при упаковке частиц в автослое. Поэтому наиболее вероятно прямо пропорциональное увеличение плотности слоя ρ в зависимости от τ.

При условии равномерного распределения по поверхности фильтра массу оседающей из потока пыли можно представить как

$$dm = \rho dV = \rho\delta f_{tot} dF_{tis2}^{dust} \text{ кг,} \quad (10)$$

где V – объем оседающей пыли, м³; δ – толщина слоя, оседающего на поверхности ткани, м; ρ – плотность осевшего слоя пыли, кг/м³.

С учетом (1)

$$dF_{tis2}^{dust} = \left[W\Delta C / \left(f_{tot}\delta\rho\right)\right] d\tau \text{ м²/м²} \quad (11)$$

Принимая во внимание пределы интегрирования по площади запыления – от F_{tis1}^{dust} до 1, по времени – от τ_1 до τ_2, где τ_2 – период между регенерациями, с, получим продолжительность второго этапа $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \left(1 - F_{tis1}^{dust}\right) f_{tot}\delta\rho / \left(W\Delta C\right)$. Здесь временной параметр фильтрации второго этапа τ_{f2}, с, определяется соотношением $f_{tot}\delta\rho / \left(W\Delta C\right)$. Это время образования на поверхности фильтровальной ткани автослоя толщиной δ, м, и плотностью ρ, кг/м³, при нагрузке W/f_{tot}, м³/(м²с) и концентрационном напоре в потоке ΔC, кг/м³. Согласно данным проведенных опытных исследований, при одинаковой скорости фильтрации толщина и плотность оседающего слоя δ, ρ в основном зависят от размеров, слипаемости и морфологии пыли. В данной работе испытаниям были подвергнуты пыли средне-мелкие (D_m около 10 мкм) средней слипаемости ($P \approx 250$ Па) и компактной формы (коэффициент формы $\Phi \approx 0{,}9$), а также крупные (D_m около 50 мкм) неслипающиеся ($P < 100$ Па) и не совсем компактной формы ($\Phi \approx 0{,}7$), что, в принципе, охватывает большинство видов пылей по указанным свойствам.

Результаты исследований позволяют провести эмпирическую оценку пределов изменения параметров δ, ρ. Плотность с осевшего слоя исследованных видов пылей изменялась в период между регенерациями от 0 начале фильтрации до $0{,}40 \div 0{,}65$ от насыпной плотности ρ_a в конечном состоянии. Толщина слоя пыли также изменяется в процессе от 0 до максимального значения при остановке на регенерацию. По опытным данным, конечная толщина слоя осевшей компактной пыли среднего размера и средней слипаемости имеет порядок 10^{-3} м, причем по объему автослоя частицы распределены неравномерно. Принимая зависимость изменения ρ от времени прямо пропорциональной, можно брать в расчетах ее среднюю величину, которая находится в пределах соответственно от 20 % до 32,5 % ρ_a.

Вместе с тем, из опыта эксплуатации тканевых фильтров известно, что в целом при постоянной нагрузке их сопротивление в период между регенерациями растет приблизительно пропорционально времени работы. Это позволяет упростить задачу и принимать в расчетах среднее значение произведения $\delta \cdot \rho$. Принимая среднюю величину $\rho_m = (0{,}2 \div 0{,}325)\rho_a$, кг/м³, и оценочную

величину δ_m = 10^{-3} м, получим окончательное выражение для расчета продолжительности периода между регенерациями:

$$\tau_2 = \left(2 \div 3,25\right) \cdot 10^{-4} \rho_a f_{tot} \left(1 - F_{tis1}^{dust}\right) \Big/ \left(W \Delta C\right) + \tau_1 . \quad (12)$$

Таким образом, в результате решения задачи образования автослоя на тканом материале получены выражения, которые позволяют находить основные характеристики, необходимые для рационального конструирования и эксплуатации фильтрационных очистных систем – степень осаждения взвеси и продолжительность периода между регенерациями. В существующих на настоящее время методиках проектирования и контроля систем фильтрации (см., например, [2, 3, 4, 5] и др.) такие расчеты отсутствуют. Требуемые характеристики определяются на практике по паспортам заводов-изготовителей и результатам испытаний систем после их сооружения.

Литература

1. Зиганшин М.Г. Теоретические основы пылегазоочистки. – Казань: КазГАСУ, 2005. – 262 с.
2. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под общ. ред. Русанова А.А. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
3. Алиев Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справочник. – М.: Металлургия, 1986. – 628 с.
4. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справ. изд.: В 2-х ч. Ч. 2 / Под ред. Калверта С., Инглунда Г.М. – М.: Металлургия,1988. – 712 с.
5. Ужов В.Н, Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Решидов И.К. Очистка промышленных газов от пыли. – М.: Химия, 1981. – 392 с.

УДК 644.1

И.И. Полосин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой отопления и вентиляции
С.Н. Кузнецов – кандидат технических наук, доцент
А.В. Портянников – инженер
А.В. Дерепасов – инженер
Воронежский государственный архитектурно-строительный университет (ВГАСУ)

ПОСТРОЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ВОЗДУХООБМЕНА ДЛЯ ПОМЕЩЕНИЙ ПРОИЗВОДСТВ С МЕСТНОЙ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

АННОТАЦИЯ

Рассмотрена двухмерная модель распространения стационарных воздушных потоков в помещении, основанная на системе стационарных уравнений неразрывности и Навье-Стокса с использованием стандартной k-ε модели турбулентности. Математическая модель и алгоритмы ее решения реализованы на ЭВМ в виде программы. Проанализированы результаты расчетов воздухообменов в помещении с местной вытяжной вентиляцией и выбрана наиболее эффективная схема воздухообмена.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Вентиляция, вредные вещества, распределение воздуха, математическая модель.

I.I. Polosin – doctor of technical sciences, professor, head of Heating and Ventilation department
S.N. Kuznetsov – candidate of technical sciences, associate professor
A.V. Portjannikov – engineer
A.V. Derepasov – engineer
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE)

CONSTRUCTION OF EFFECTIVE AIR EXCHANGE FOR FACTORY PREMISES WITH LOCAL EXHAUST VENTILATION USING MATHEMATICAL MODEL

ABSTRACT

A two-dimensional model of distribution of stationary air streams in premise based on a system of steady-state equations of continuity and Navier-Stokes using a standard k-ε turbulence model has been considered. A mathematical model and algorithms of its solution have been implemented as a computer program. Results of calculations of air exchange in premise with local exhaust ventilation have been analyzed and the most effective air exchange scheme has been selected.

KEYWORDS: Ventilation, harmful substances, distribution of air, mathematical model.

Разработка энергоэффективных схем организации воздухообмена в гальванических цехах требует учета характера движения воздуха в помещении, который зависит от выбранного типа воздухораспределения. Стоимость и трудоемкость исследований воздухообмена в натурных условиях или на воздушно-тепловых моделях очень высоки, поэтому в настоящее время для решения этой задачи все чаще используется метод математического моделирования [5].

Математическая модель вентиляционного процесса распространения воздуха основана на уравнении неразрывности, системе осредненных по Рейнольдсу стационарных уравнений Навье-Стокса и уравнениях k-ε модели турбулентности [1]. Рассмотрим основные уравнения модели.

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho \bar{u}_i\right) = 0, \qquad (1)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м^3; x_i – i–я пространственная координата, м; u_i – компоненты скорости течения воздуха, м/с.

Уравнения Навье-Стокса:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j\right) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\mu\left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3}\delta_{ij}\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i}\right)\right) -$$

$$\Big| -\delta_{i3}\rho g + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\rho\overline{u_i'u_j'}\right), \qquad (2)$$

$$-\rho\overline{u_i'u_j'} = \mu_t\left(\frac{\partial\overline{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial\overline{u}_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}\left(\rho k + \mu_t\frac{\partial\overline{u}_i}{\partial x_i}\right)\delta_{ij}, \qquad (3)$$

где p – давление, Па; μ – динамическая вязкость, кг/м·с; μ_t – турбулентная динамическая вязкость кг/м·с; g – ускорение свободного падения, м/с^2; k – кинетическая энергия турбулентности, м^2/с^2; j = 1, 2, 3; δ_{ij} – символ Кронекера.

Перенос кинетической энергии турбулентности в стандартной k-е модели определяется уравнениями:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho k u_j\right) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right) + G^k + G^b - \rho\varepsilon, \qquad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho\varepsilon u_j\right) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j}\right) + \rho C_1 S_{ij}\varepsilon -$$

$$-\rho C_2\frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\mu\varepsilon}} + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}C_{3\varepsilon}G^b, \qquad (5)$$

где ε – скорость диссипации энергии турбулентности, м^2/с^3; C – константы модели турбулентности; μ_t – турбулентная динамическая вязкость, кг/м·с; σ_k и σ_e – турбулентные числа Прантля для k и ε.

Скорость образования турбулентности:

$$G^k = 2\mu_t\left(\sum_i\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right)^2\right) + \mu_t\left(\sum_{i>j}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)^2\right), \qquad (6)$$

$$G^b = \mu_t g\frac{1}{\rho}\frac{\partial\rho}{\partial x_3}. \qquad (7)$$

Величина C_1 определяется выражением:

$$C_1 = max\left[0{,}43, \frac{\eta}{\eta + 5}\right],$$

$$\eta = \rho S\frac{k}{\varepsilon}.$$

Турбулентная динамическая вязкость определяется уравнением:

$$\mu_t = \rho C_\mu\frac{k^2}{\varepsilon}. \qquad (8)$$

Константа C_μ определяется выражением:

$$C_\mu = \frac{1}{A_0 + A_s\dfrac{kU^*}{\varepsilon}},$$

где

$$U^* = \sqrt{S_{ij}S_{ij} + \tilde{\Omega}_{ij}\tilde{\Omega}_{ij}},$$

$$\tilde{\Omega}_{ij} = \Omega_{ij} - 2\varepsilon_{ij},$$

$$\Omega_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial\overline{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial\overline{u}_i}{\partial x_j}\right).$$

Константы A_0 и A_s определяются как:

$$A_0 = 4{,}04,$$

$$A_s = \sqrt{6}\cos\varphi,$$

где

$$\varphi = \frac{1}{3}\cos^{-1}\left(\sqrt{6}W\right),$$

$$W = \frac{S_{ij}S_{jk}S_{ki}}{\tilde{S}},$$

$$\tilde{S} = \sqrt{S_{ij}S_{ij}},$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_j} + \frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right).$$

Для констант k-е модели турбулентности принимались следующие значения [1]:

$$C_{1e} = 1{,}44;\ C_{3e} = 1{,}40;\ C_2 = 1{,}9;\ s_k = 1{,}0;\ s_e = 1{,}2.$$

Рассматриваются два типа границ: твердые стенки и свободные границы. Скорость и кинетическая энергия турбулентности на границе равны нулю, для давления выполняются условия Неймана. Коэффициент диссипации турбулентной энергии определяется непосредственно функциями пограничного слоя.

На свободной границе давление равно атмосферному, нормальные к свободной поверхности градиенты компонент скорости равны нулю. Граничными условиями для входящего потока будут условия Дирихле со значениями переменных в окружающей среде, а для выходящего потока – условия Неймана.

Для решения системы уравнений (1-8) использован метод конечных разностей с предварительным расщеплением их по физическим процессам [2] и использованием метода фиктивных областей. Подобные методы решения подробно рассмотрены в [2, 3, 4]. Решение строится с помощью двухциклической схемы покомпонентного расщепления с использованием неявной монотонной разностной схемы второго порядка.

Полученные алгоритмы решения уравнений (1-8) реализованы на ЭВМ в виде программы на языке С++.

В настоящее время уже известны подобные программные продукты, разработанные в СПбГАСУ для численного моделирования аэрации корпуса электролиза алюминия, позволяющие установить характер движения воздуха в сечении модуля корпуса. Разработанная нами математическая модель и программа, в отличие от известных, позволяют получить устойчивое решение в зонах больших градиентов скоростей течений воздуха вблизи бортовых отсосов. При помощи разработанной программы изучалось распределение двухмерных стационарных воздушных потоков в поперечном сечении цеха с местными отсосами с целью определения влияния способа подачи приточного воздуха на циркуляцию воздушных потоков.

В качестве объекта исследования рассмотрено двухмерное сечение цеха бесконечной длины с промышленными ваннами наружных размеров: ширина – 1100 мм и высота – 1000 мм. Ванны размещались в два ряда в поперечном сечении цеха и оборудованы двухсторонним бортовым отсосом. Помещение цеха имеет ширину 18,0 м и высоту 12,0 м. Расчетная кратность воздухообмена составляла 10 $ч^{-1}$. Температура ограждающих конструкций помещения и приточного воздуха принята равной 18 °С.

Исследовалось три варианта подачи приточного воздуха на высоте 0,8h (9,6 м) от пола:

- плоскими струями с подачей воздуха вертикально вниз;
- плоскими струями с использованием перфорированного воздуховода круглого сечения, с углом раскрытия струи 45° и подачей воздуха вниз;
- плоскими струями с подачей воздуха вертикально вниз по центру помещения и под углом 20° к вертикали по сторонам помещения.

Схемы подачи приточного воздуха приведены на рис. 1.

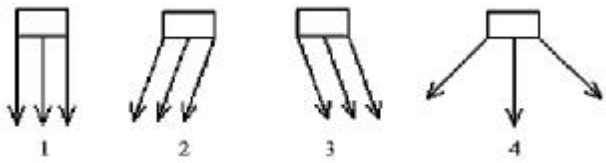


Рис. 1. Схемы подачи приточного воздуха:
1– плоская струя; 2, 3 – плоская струя с подачей воздуха под углом 20° к вертикали;
4 – подача через перфорированный воздуховод

Удаление загрязненного воздуха из помещения цеха осуществлялось бортовыми отсосами от ванн в объеме 90 % от общего количества приточного воздуха и 10 % из верхней зоны через отверстие в перекрытии цеха (см. рис. 2).

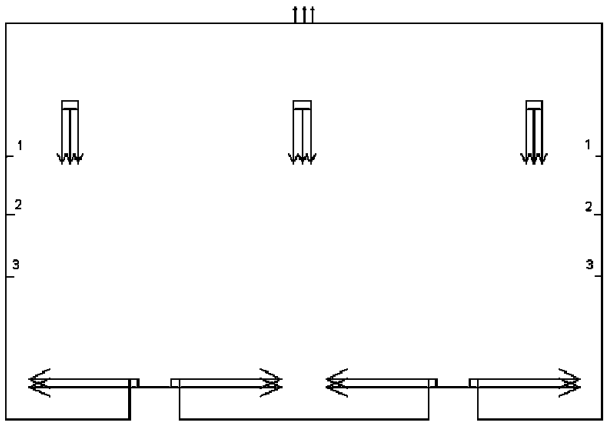


Рис. 2. Схема помещения. Стрелками показаны места подачи и удаления воздуха: 1-1, 2-2, 3-3 – сечения, в которых исследовалась вертикальная составляющая скорости воздуха

Анализ полученных результатов, приведенных на рис. 3-4, позволяет сделать ряд выводов. Поток воздуха от воздухораспределителей движется вниз, взаимодействует с зонами циркуляции и ограждающими конструкциями, отражается от пола, разворачивается и, отдавая часть воздуха местным отсосам, поднимается вверх. Во всех вариантах по обе стороны от нисходящих приточных струй образуются зоны циркуляции. Размер зон циркуляции по горизонтали примерно равен половине расстояния между воздухораспределителями, а по вертикали – высоте установки воздухораспределителей.

Вдоль стен помещения во всех случаях наблюдается низкоскоростной восходящий воздушный поток, направленный к местам удаления воздуха в верхней зоне помещения.

Сравнение двух первых вариантов подачи приточного воздуха показало, что использование плоских струй с подачей воздуха вертикально вниз даёт схожую картину распределения воздушных потоков и скорости движения воздуха, как в объеме помещения, так и в рабочей зоне.

В реальном помещении струи приточного воздуха от воздухораспределителей находятся в условиях стеснения строительными конструкциями и технологическим оборудованием. Воздух вокруг струй находится не в состоянии «покоя», а движется навстречу, в результате чего профиль скоростей струи сильно деформируется. Скорость воздуха на оси струй зависит от типа воздухораспределителя на расстояниях до 4,6 м от воздухораспределителя. При больших расстояниях от воздухораспределителя скорость воздуха на оси струй слабо зависит от типа воздухораспределителя.

Местные отсосы сильно изменяют направление движения струи. Так, при расстоянии от воздухораспределителя 5,6 м отклонение оси струи может достигать 0,7 м, а в рабочей зоне – 2 м. В

а) б)

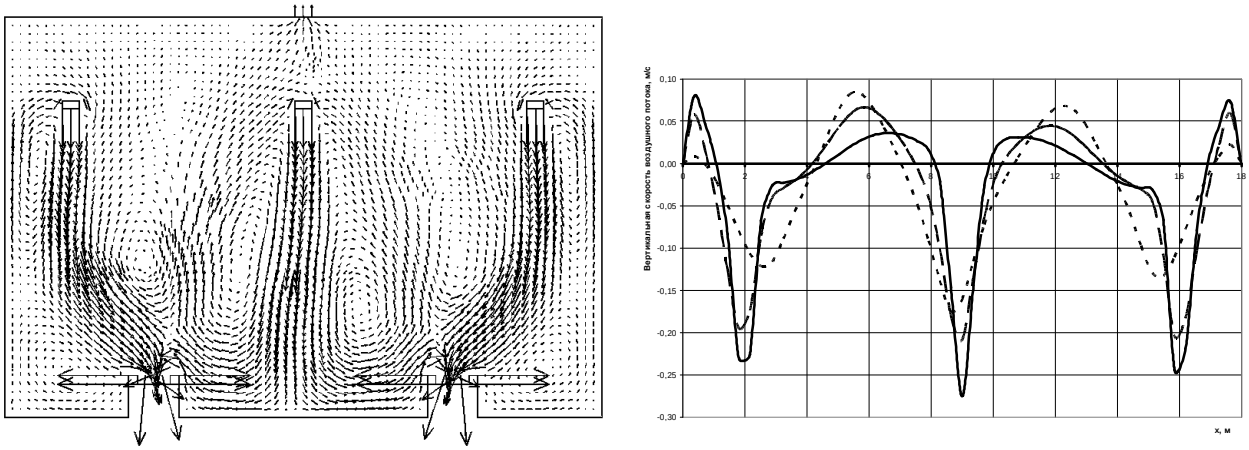


Рис. 3. Подача воздуха плоскими струями вертикально вниз: а) векторное поле скоростей воздушных потоков; б) вертикальная составляющая скорости воздуха: _____ – на высоте 8 м от уровня пола (сечение 1-1); _ _ – на высоте 6 м от уровня пола (сечение 2-2); ..... – на высоте 4 м от уровня пола (сечение 3-3)

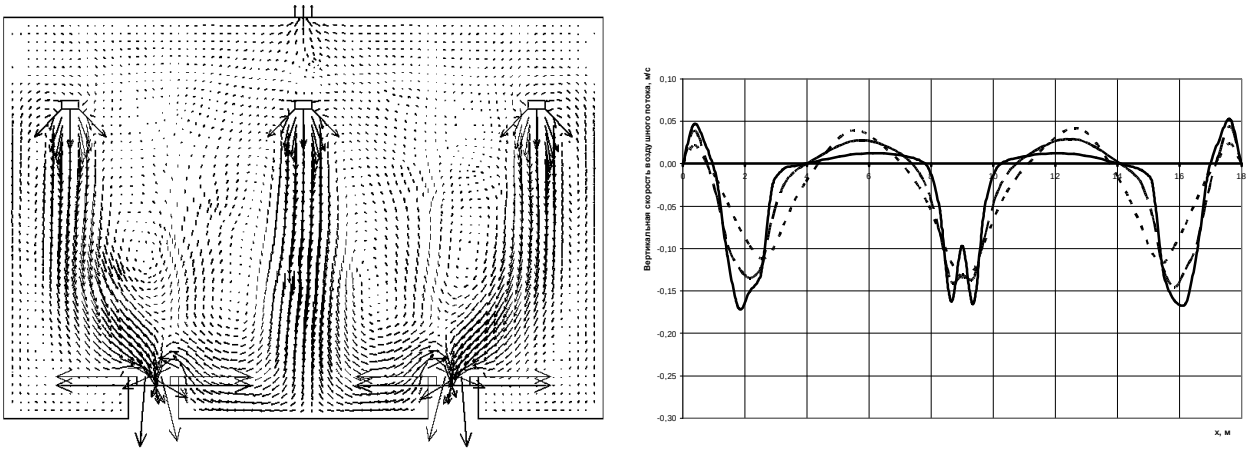


Рис. 4. Подача воздуха через перфорированный воздуховод вертикально вниз: обозначения те же, что и на рис. 3

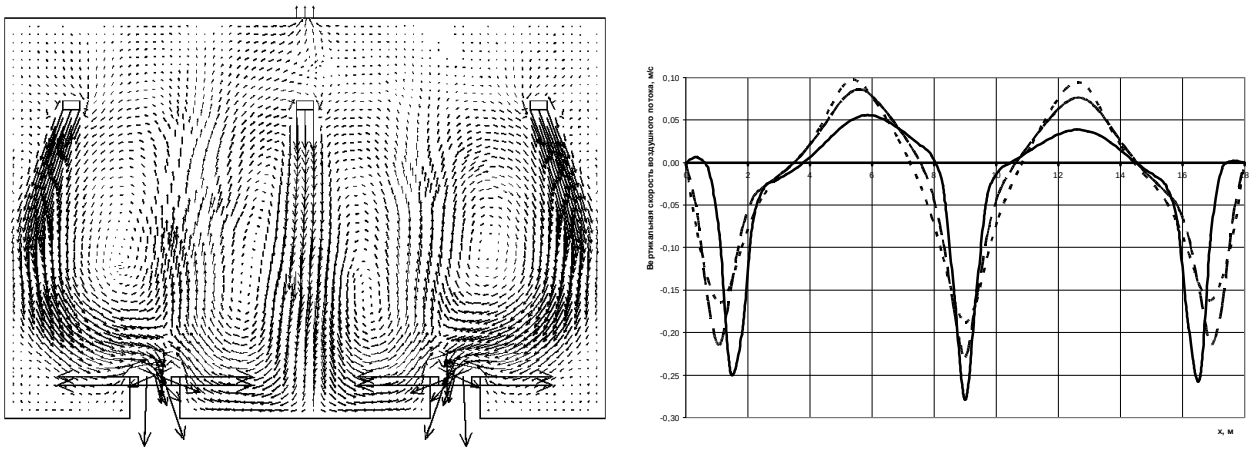


Рис. 5. Подача приточного воздуха плоскими струями вертикально вниз по центру помещения и под углом 20° к вертикали по сторонам помещения: обозначения те же, что и на рис. 3

результате чистый воздух поступает не в рабочую зону, а к местным отсосам и удаляется ими.

Кроме 1 и 2 вариантов, исследовались также другие способы подачи приточного воздуха. Наиболее эффективным оказался вариант с подачей приточного воздуха плоскими струями вертикально вниз по центру помещения и под углом 20° к вертикали по сторонам помещения (см. рис. 5).

Чистый воздух подается на рабочие места и только затем поступает в зону действия местных отсосов. Восходящие потоки находятся над ваннами и выносят вредные вещества из рабочей зоны в верхнюю зону помещения.

Таким образом, установлено, что при взаимодействии со строительными конструкциями и местными отсосами происходит сильная деформация струй. Видимо, корректнее говорить не о струях, а о воздушных потоках.

Для исследования концентрации вредных веществ в рабочей зоне важно знать, как в рабочую зону поступает чистый воздух и как удаляется из нее загрязненный. Первые два варианта создают неэффективный воздухообмен, т.к. чистый воздух удаляется местными отсосами и не поступает в рабочую зону. В третьем случае чистый воздух поступает в рабочую зону и только затем удаляется местными отсосами. Восходящие потоки находятся над ваннами и выносят вредные вещества из рабочей зоны в верхнюю зону помещения.

Предложенный подход позволяет рассчитать и выбрать систему воздушных потоков в помещениях, наиболее эффективно использующую приточный воздух и повысить эффективность действиявентиляции.

Литература

1. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. –М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.
2. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1977. – 456 с.
3. Иванов М.Я., Крупа В.Г., Нигматулин Р.З. Неявная схема С.К. Годунова повышенной точности для интегрирования уравнений Навье-Стокса // Журнал вычислит. математики и математич. физики, 1989, т. 29, № 6. – С. 888-901.
4. Мелькумов В.Н., Кузнецов И.С. Расчет нестационарного поля концентраций двухкомпонентной газовой смеси // Вестник ВГТУ. Сер. Энергетика, 2006, т. 2, № 6. – С. 125-127.
5. Посохин В.Н., Зиганшин А.М. Численное моделирование конвективных течений над протяженными теплоисточниками // Известия КазГАСУ, 2005, № 1 (3). – С. 136-140.

УДК 621.181.7

Р.А. Садыков – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплоэнергетики
Д.Н. Антропов – кандидат технических наук, старший преподаватель
Д.В. Крайнов – аспирант
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)
Ю.Л. Линючкин – аспирант
Исследовательский центр проблем энергетики, Казанский научный центр при РАН (ИЦПЭ КазНЦ РАН)

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИМУЛЯЦИЯ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК

АННОТАЦИЯ

На основе материального и теплового балансов жидкости и газовых фракций разработана математическая модель (ММ) и создан компьютерный симулятор водогрейного котла.

Предлагаемая ММ, симулятор и автоматизированный микропроцессорный комплекс (АМК) реализованы в промышленной энергетике для оптимизации параметров управления теплогенерирующих установок, исследования поведения систем управления при критических и аварийных ситуациях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Теплогенерирующие установки, котел, паровой котел, водогрейный котел, компьютерная симуляция, компьютерное моделирование.

R.A. Sadykov – doctor of technical sciences, professor, head of Heat-Power Engineering department
D.N. Antropov – candidate of technical science, senior lecturer
D.V. Krainov – post-graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)
Yu.L. Linyuchkin – post-graduate student
Research Center of Energetic Problems, Kazan Scientific Center on the ground of Russian Academy of Science (RCEP Kazan SC RAS)

COMPUTER-BASED SIMULATION OF HEAT-GENERATING PLANTS

ABSTRACT

On the base of material and heat balances of liquid and gas fractions the mathematical model and computer simulator of water-heating boiler were developed.

The above-mentioned mathematical model simulator, and automatized microprocessor-based complex are realized in industrial power engineering for optimization of factors of heat-generating plants operation, and investigation of control-systems' behavior in critical and emergency situations.

KEYWORDS: Heat-generating plants, boiler, steam-boiler, hot-water boiler, computer-based simulation, computer-based modelling.

При автоматизации промышленных производств для тестирования и наладки систем управления, проверки их в реальных, «полевых» условиях необходимо наличие объекта управления или непосредственное присутствие наладчиков на предприятии. Объект управления зачастую невозможно доставить наладчикам, а присутствие на предприятии связано с дополнительными расходами. Намного лучше и экономичнее, если все подготовительные и тестовые работы группа наладчиков осуществляет на своем рабочем месте. В этом им может помочь компьютерное моделирование объектов управления.

В нашем случае объектом управления является водогрейный (или паровой) котел.

На данный момент описано множество компьютерных тренажеров для обучения персонала котельных работе с оборудованием и правильному поведению при аварийных ситуациях.

Целью же настоящей работы является разработка компьютерного симулятора реального времени для промышленных котельных установок с возможностью

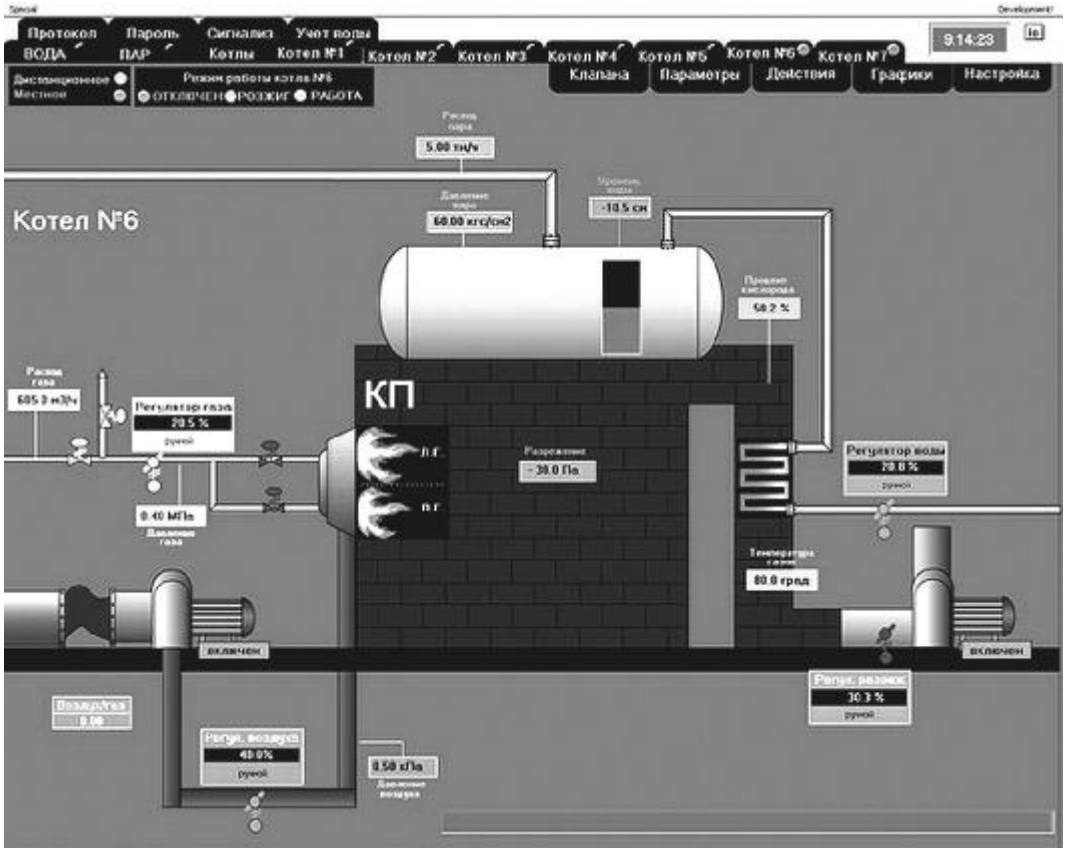


Рис. 1. Функциональная схема парового котла (АРМ оператора котельной)

тестирования систем автоматизации. Для решения этой проблемы необходимы конкретные компьютерные математические модели функционирования отдельных ключевых узлов котельной установки (КУ), программные средства и симулятор КУ.

Рассмотрим устройство КУ. В качестве примера на рис. 1 представлена функциональная схема парового котла.

Наиболее распространенным теплоносителем является пар (или вода), который получают в паровых (или водогрейных) котлах. В состав котельной установки входят: *топливный тракт*, *воздушный тракт*, *газовый тракт*, *пароводяной тракт (или водяной тракт)*.

Количество тепла, выделившегося в топке при сгорании топлива, усваивается парообразующей частью котлоагрегата и идёт на нагрев питательной воды, парообразование и перегрев пара.

Для описания КУ разделим ее на функциональные блоки по трактам (рис. 2). Каждый блок моделируется отдельно. Он имеет набор входных и выходных параметров, содержит необходимые уравнения материального и теплового балансов, что облегчает моделирование и программирование [1, 2].

Технологический процесс в КУ в первом приближении представляется в виде упрощенной ММ, но она в целом отражает протекание основных процессов.

К количественному параметру относится нагрузка котла, которая может меняться в широких пределах в зависимости от графика нагрузок потребителей, а к качественному параметру относится температура воды.

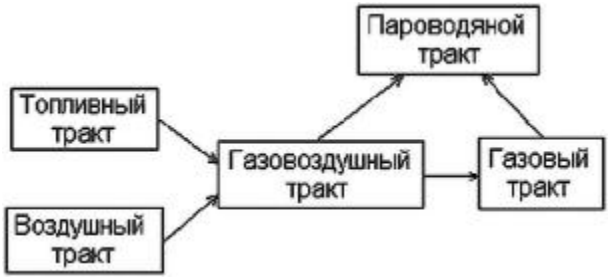


Рис. 2. Общая блок-схема котельной установки

Рассмотрим водяной тракт. В барабане котла происходит нагрев жидкости до температуры T_2, тепловым потоком Φ_1. К известным нам граничным условиям можно добавить: объем в барабане V_1, температуру входящих газовых потоков $T_{вх}$.

Уровень воды в барабане, постоянный, а значит $V_1 = const$.

Упрощенный материальный баланс емкости барабана котла можно представить в виде:

$$\frac{dV_1}{dt} = F_B - F_2 = 0. \qquad (1)$$

Здесь F_B – входящий поток жидкости; F_2 – выходящий поток жидкости из барабана котла, эти потоки равны, т.е. в котле жидкость не скапливается, и нет утечек, t – время.

Уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

[скорость накопления тепла в емкости] = [приход тепла] + [приход тепла с тепловым потоком] – [отвод тепла].

$$\frac{d}{dt}(V_1 \cdot c \cdot r \cdot T_2) = F_B \cdot T_1 \cdot c \cdot r + \Phi_1 - F_2 \cdot T_2 \cdot c \cdot r, \quad (2)$$

где c, c – соответственно теплоемкость и плотность жидкости, T_1, T_2 – температуры входящего и выходящего потоков жидкости, Φ_1 – тепловой поток, поступающий от сгорания топлива.

Из уравнения теплового баланса (2) можно определить температуру T_2.

Тепловой поток Φ_1 определяется:

$$\Phi_1 = k \cdot S_1 \cdot (T_{BX} - T_2), \quad (3)$$

где k – коэффициент теплопередачи через стенку;

S_1 – площадь поверхности теплообмена.

Для отчетливого представления связей между составленными уравнениями ММ на рис. 3 представлена блок-схема модели водогрейного котла.

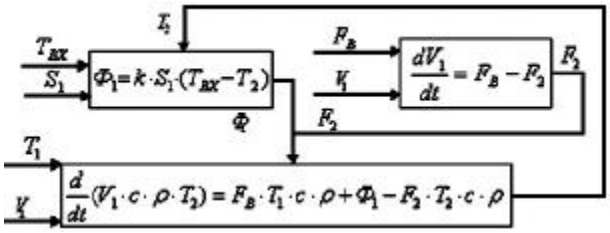


Рис. 3. Блок-схема модели водогрейного котла

Рассмотрим газо-воздушный тракт. При рассмотрении газодинамики в топочном пространстве были приняты следующие допущения:

1. Топочное пространство условно разбито на три части (рис. 4): I – область смешивания газов; II – область горения газов; III – область теплообмена;
2. В каждой области среда принимается гомогенной;
3. Поперечные сечения областей одинаковы.

Тогда материальный баланс областей можно записать в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} \dfrac{dm_I}{dt} = F_{газ} + F_{возд} - v_I S r_I \\ \dfrac{dm_{II}}{dt} = v_I S r_I - v_{II} S r_{II} \\ \dfrac{dm_{III}}{dt} = v_{II} S r_{II} - F_{дым} \end{cases}, \quad (4)$$

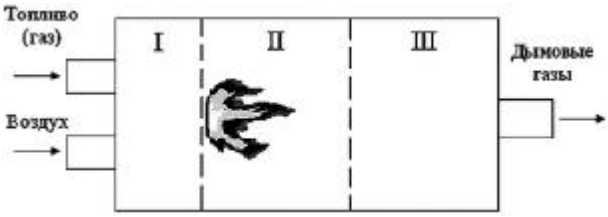


Рис. 4. Блок-схема модели водогрейного котла

где m_I, m_{II}, m_{III} – массы, v_I, v_{II}, v_{III} – скорости потоков, c_I, c_{II} – плотности газов в соответствующих областях, S – площадь поперечного сечения топочного пространства, $F_{газ}$, $F_{возд}$ – потоки топливного газа и воздуха.

Тепловой баланс областей:

$$\begin{cases} \dfrac{d}{dt}(c_I m_I T_I) = c_{газ} F_{газ} T_0^{газ} + c_{возд} F_{возд} T_0^{возд} - c_I F_I T_I \\ \dfrac{d}{dt}(c_{II} m_{II} T_{II}) = c_I F_I T_I + q F_I - c_{II} F_{II} T_{II} \\ \dfrac{d}{dt}(c_{III} m_{III} T_{III}) = c_{II} F_{II} T_{II} - Q^{нагр} - c_{дым} F_{дым} T_{III} \end{cases}, (5)$$

где c_I, c_{II}, c_{III}, T_I, T_{II}, T_{III} – теплоемкости и температуры газов в соответствующих областях, $c_{газ}$, $c_{возд}$ – теплоемкости топливного газа и воздуха, $T_0^{газ}$, $T_0^{возд}$ – начальные температуры топливного газа и воздуха, $F_{дым}$ – поток дымовых газов, F_I, F_{II} – потоки смеси газов из первой и второй областей соответственно, q – удельная теплота сгорания топливного газа, $Q^{нагр}$ – определяется из теплового баланса в барабане котла ($Q^{нагр} = \Phi_1$, $T_{II} = T_{BX}$).

Схема управления котлом следующая: информация с датчиков, расположенных в основных узлах котла, поступает в шкаф системы управления. Далее она поступает на АРМ оператора, где отображается на мнемосхемах.

Схема управления моделью котла такая же, за исключением того, что показания датчиков котла моделируются в реальном времени симулятором (рис. 5).

Системы управления не знают, чем они управляют – реальным объектом или его компьютерной моделью, и будут работать одинаково. Также на моделях можно тестировать системы управления в различных критических режимах и проверять работу при аварийных ситуациях.

Выбор средств моделирования очень широк. В нашем случае моделирование производится в системе LabView, математический аппарат программируется в системе MATLAB. При помощи плат сбора данных фирмы ICP DAS: PIO-DA8 и PIO-D48, сигналы с цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) от компьютерной модели подаются на входы системы управления, которая воспринимает их как сигналы измерительных

Рис. 5. Схема управления моделью котла

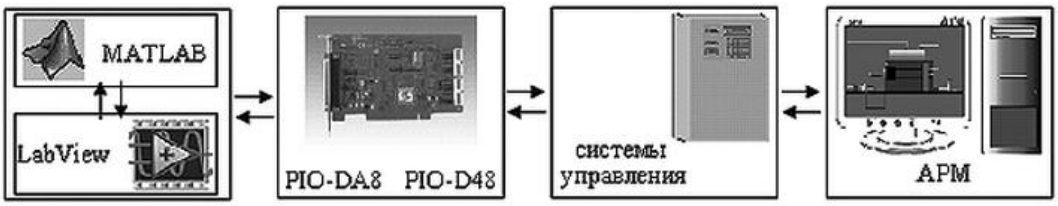


Рис. 6. Развернутая схема управления моделью котла

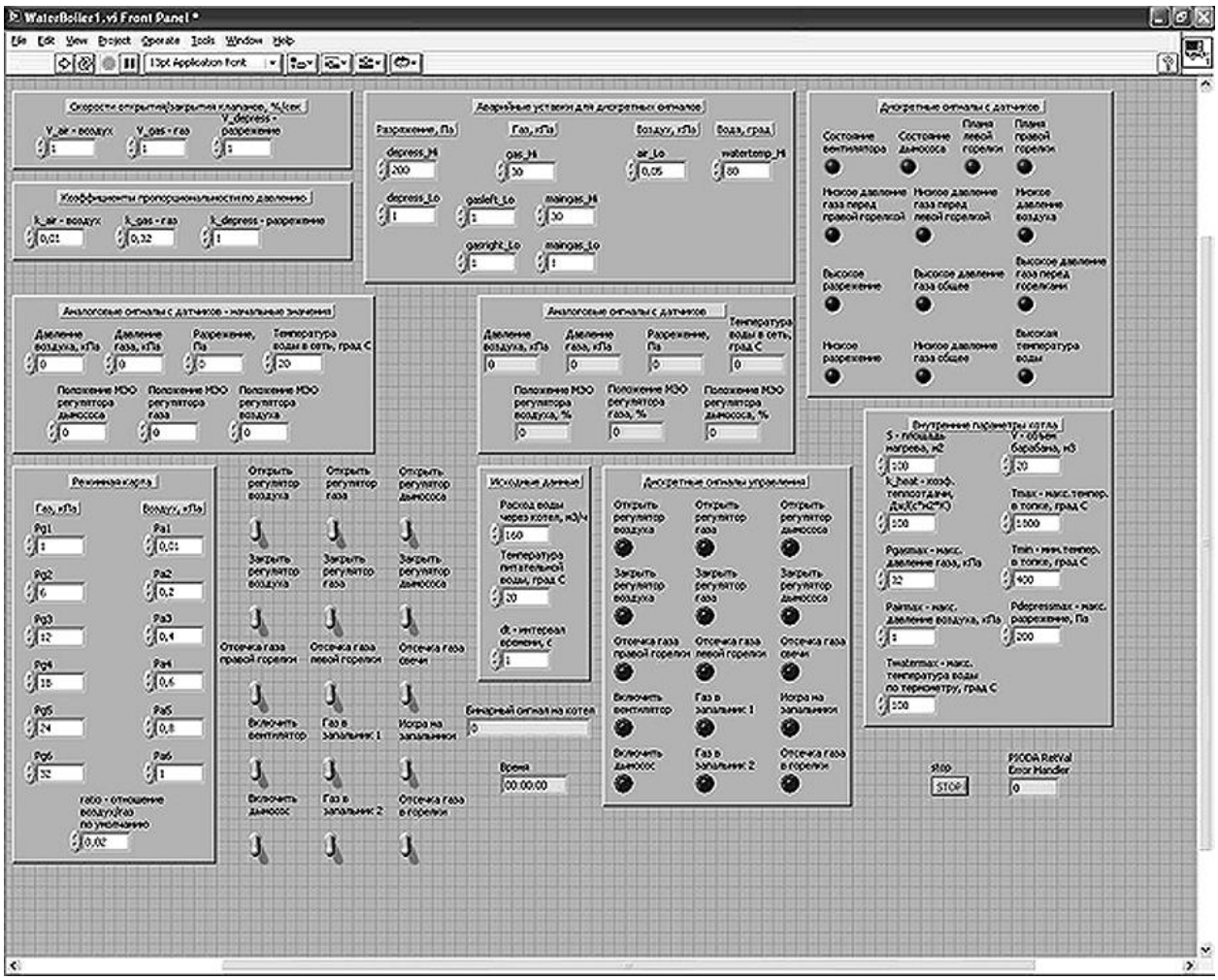


Рис. 7. Экранный интерфейс симулятора

приборов в котельной установке. Управляющие сигналы подаются с выходов системы управления на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) плат сбора данных (рис. 6). На компьютере АРМ оператора происходит визуализация процесса.

В настоящее время разработан симулятор, экранный интерфейс которого показан на рис. 7. Он отражает протекание процесса в первом приближении и подобен ранее разработанным и представленным в работах [2, 3].

В дальнейшем предлагаемая ММ по мере накопления результатов исследований и проведения натурных экспериментов в промышленных масштабах может корректироваться и использоваться для более широкого круга котлоагрегатов.

Нахождение значений параметров ММ работы котлоагрегата, при которых энтальпия теплоносителя будет максимальная, а минимальными будут приведённые затраты на природный газ, питательную воду, качественное соотношение регулирования газ-воздух, позволяет управлять процессом в оптимальном режиме, улучшить процесс горения, уменьшить выброс вредных газов от отработанного топлива в атмосферу, снизить расходные нормы газа на производство оптимального количества теплоносителя, и в конечном итоге уменьшить себестоимость получаемого теплоносителя.

Разработанные системы управления котлоагрегатами с применением автоматизированных микропроцессорных комплексов (АМК-1) внедрены в структурных подразделениях Азнакаевского и Мамадышского предприятий тепловых сетей, ОАО «Казэнерго», ОАО «Татнефть», НГДУ «Бавлынефть» и др. предприятиях энергетического комплекса [3-5]. Экономический эффект на различных типах теплогенерирующих установок составляет от 65 до 130 тыс. м^3 в год на один агрегат за отопительный период.

Кроме того, полученные результаты исследований служат развитию общей теории компьютерного моделирования, полезны при постановке экспериментальных исследований по энерго- и массопереносу, расчете обменных процессов при проектировании; позволяют значительно сократить объем необходимых экспериментальных исследований или полностью заменить натурные эксперименты на численные.

Литература

1. Беспалый П.А. Моделирование процесса парообразования в технологическом котле // Труды Пермского государственного технического университета. – Пермь, 2005. – С. 85-91.
2. Антропов Д.Н. Энергосберегающие режимы работы теплоэнергетических установок с применением микропроцессорных комплексов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Казань, 2007. – 22 с.
3. Садыков Р.А., Антропов Д.Н. Оптимальное управление и автоматизация технологии сушки биоактивных продуктов // Известия академии наук, Энергетика, 2005, № 6. – С. 92-99.
4. Антропов Д.Н., Садыков Р.А. и др. Многопараметрический интеллектуальный датчик давления и температуры (МД) для теплогенерирующих установок. Программа инновационных проектов «Идея-1000», диплом по номинации «Старт – 1». – Казань, 2008.
5. Садыков Р.А. и др. Водоподогреватель. Патент на изобретение РФ № 2351857 от 10.04.2009.

УДК 628.3.622.5

А.А. Адельшин – аспирант, инженер
А.Б. Адельшин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения
Р.А. Каюмов – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов и основ теории упругости
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ УСТАНОВКИ С ЗАКРУЧЕННЫМ ТЕЧЕНИЕМ

АННОТАЦИЯ
Исследованиями создана технология очистки нефтепромысловых сточных вод (НСВ), которая предусматривает предварительное разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти, укрупнение и уменьшение полидисперсности капель нефти за счет гидродинамической обработки исходной НСВ в закрученных потоках аппарата, включающего: гидроциклон, цилиндрические камеры на сливах гидроциклона (ГКС). Получены математические модели гидродинамики аппарата ГКС и установки, включающей блок гидроциклон – камеры сливов – отстойник (БГКО). Экспериментами показана адекватность разработанных математических моделей гидродинамики аппарата ГКС и в целом по БГКО.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Установка, очистка воды, закрученный поток, распределение, капля.

A.A. Adelshin – post-graduate student, engineer
A.B. Adelshin – doctor of technical sciences, professor, head of Water Supply and Water-Drainage department
R.A. Kayumov – doctor of physical-mathematical sciences, professor, head of Materials Resistance and Foundations of the Elasticity Theory department
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF HYDRODYNAMICS OF SWIRLING FLOWS PLANT

ABSTRACT
The technology for oil-field sewage (OFS) cleaning was developed. It provides preliminary destruction of armoring shells on the oil drops, agglomeration and decreasing of polydispersiveness of the oil drops by hydrodynamic treatment of initial OFS in swirling flows of plant, including hydrocyclone, cilindric chambers at the hydrocyclone discharges (HCD). The mathematical models of hydrodynamics of HCD and block of hydrocyclone - the discharges chambers - a Sedimentation tank (BHCS) have been developed. The adequacy of developed mathematical models of hydrodynamics of HCD and BHCS plants has been shown.

KEYWORDS: Plant, water purification, swirling flow, distribution, drop.

Исследованиями создана технология очистки нефтепромысловых сточных вод (НСВ) для утилизации их в системах заводнения нефтяных пластов. Технология предусматривает предварительное разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти, укрупнение и уменьшение полидисперсности капель нефти гидродинамической обработкой исходной НСВ в закрученных потоках [1-8].

Технология реализована в установках очистки НСВ по схеме: «гидроциклон – цилиндрические камеры на верхнем и нижнем сливах гидроциклона – отстойник» (установки типа БГКО) [9-16]. При этом различные схемы «гидроциклон – камеры сливов» [7] в сущности образуют гидродинамические центробежные каплеобразователи (в дальнейшем сокращенно аппарат ГКС), которые конструктивно скомпонованы в единый блок с отстойниками установки БГКО. В составе установки БГКО (в т.ч. ГКС) гидроциклон служит для предварительной гидродинамической обработки НСВ: разрушения стабилизированных частиц примесей, бронирующих оболочек нефтяных капель и их коалесценции и уменьшения полидисперсности капель нефти, а также для получения закрученного потока в камерах сливов. С целью увеличения времени наиболее

полной эффективной гидродинамической обработки НСВ в объеме закрученного потока в составе аппарата ГКС предусмотрены цилиндрические камеры на сливах гидроциклона. Длина и диаметр камер устанавливаются в зависимости от геометрических и технологических параметров гидроциклона [1, 2, 7].

После гидроциклона в камерах его сливов осуществляется гидродинамическая обработка НСВ последовательно во всех областях турбулентного закрученного потока – в зонах: расширения закрученной струи, стабильного закрученного течения, затухания закрученного течения, переходного и осевого потенциального течения, циркуляционных и тороидальных. В сливных камерах НСВ подвергается наиболее универсальной комплексной обработке по наиболее полным числу и количеству различных видов сил воздействия на частицы нефти в НСВ, что способствует интенсификации коалесценции капель нефти. При этом теоретическими исследованиями получены дифференциальные функции распределения времени пребывания жидкости в рабочем объеме аппаратов ГКС и в целом для установки БГКО [4, 8].

Для подтверждения результатов теоретических исследований процессов гидродинамики создана экспериментальная установка (рис. 1), состоящая из узлов: гидроциклон 1, цилиндрическая камера нижнего слива 2, цилиндрическая камера верхнего слива 3, емкость исходной воды 4, центробежный насос 5, отстойник 6, дозирующее устройство 7, контрольно-измерительных приборов, запорно-регулирующей арматуры. Масштаб линейных и угловых размеров гидроциклона в модели и в натуральных условиях приняты 1:1. Геометрические размеры гидроциклона: диаметр D = 75 мм, угол конусности a = 5^0; диаметры: входного патрубка $d_{вх}$ = 15 мм, верхнего слива $d_{в.сл.}$ = 20 мм, нижнего слива $d_{н.сл.}$ = 26 мм, глубина погружения верхнего патрубка $h_п$ = 48 мм, высота цилиндрической части гидроциклона $H_ц$ = 48 мм; гидроциклон скомплектован насадками диаметрами: для верхнего слива 20, 20.5, 21, 21.5, 22 мм; для нижнего слива 16, 18, 20, 22, 24 мм. Камеры 2 и 3 оборудованы пробоотборниками с вентилями П-1, П-3, П-4, П-6, установленными на расстоянии 70 мм от начала и конца камер 2 и 3, и пробоотборниками с вентилями П-2, П-5 на расстоянии 1000 мм от начала камер и П-7 на входе гидроциклона 1, а также образцовыми манометрами 8, установленными на расстоянии 200 мм от начала и конца камер 2 и 3, и манометрами 9 и 10 на напорном трубопроводе 11 насоса 5 и на отстойнике 6 соответственно.

Емкость исходной воды 4 размерами 1040×1020×800 мм служит для накопления необходимого количества воды при опытах.

Центробежный насос 5 производительностью до 10 м/ч, напором до 6 кгс/см, при числе оборотов в минуту 2500. На всасывающем трубопроводе 12 насоса 5 установлено устройство для дозирования 7 через шаровой кран К13. Устройство 7 представляет собой градуированный по объему (в миллиметрах) прозрачный сосуд высотой 250 мм, диаметром 100 мм и служит для дозированного ввода раствора (импульсного ввода индикатора) в исходную воду, подаваемую насосами 5 из емкости 4 в гидроциклон 1.

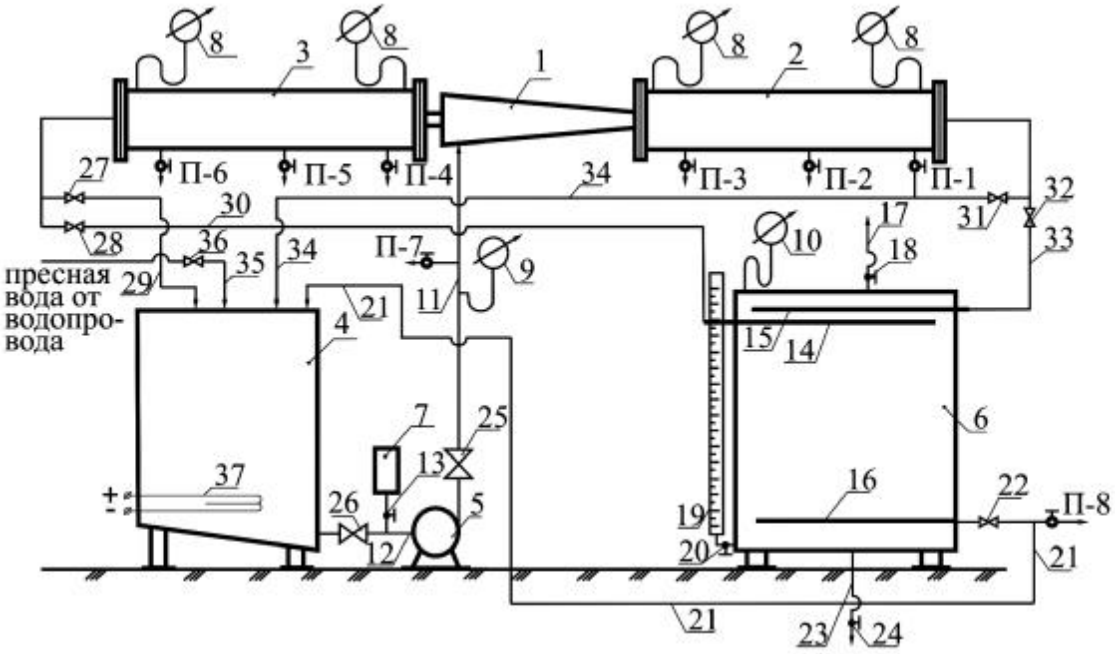


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

Отстойник 6 напорный, диаметром 800 мм, высотой 1250 мм оборудован: трубчатыми перфорированными распределителями потоков из верхнего слива 14 и из нижнего слива 15, трубчатым перфорированным устройством 16 для сбора очищенной воды, патрубком 17 с вентилем 18 для удаления воздуха, мерным стеклом 19 с миллиметровой градуировкой по высоте и с вентилем 20; водоотводящими трубопроводами 21, задвижкой 22 с пробоотборником с вентилем П-8, патрубком 23 с вентилем 24 для опорожнения отстойника 6.

Экспериментальная установка оборудована также задвижками: 25 на напорном трубопроводе насоса 5, 26 на всасывающем трубопроводе насоса 5; 27 и 28 на водоотводящих трубопроводах 29 и 30 камеры 3 верхнего слива гидроциклона 1; 31 и 32 на водоотводящих трубопроводах 33 и 34 камеры 2 нижнего слива гидроциклона 1; а также трубопроводом 35 пресной воды от водопровода с задвижкой 36; водонагревателем 37.

В процессе исследований использованы следующее оборудование и приборы: расход жидкости определялся объемным способом при помощи мерных цилиндров (ГОСТ 17770-74) и секундомера СОП ПР-2а-3-000 «Агат» 4282 (ГОСТ 5079) с погрешностью хода ±0,4 с. При измерении расхода жидкости делалось не менее трех замеров. Общий расход жидкости через гидроциклон – камеры сливов – отстойник определялся как сумма расходов камер нижнего и верхнего сливов и проверялся на выходе из отстойника.

Измерение давления на входе в гидроциклон 1, на выходе сливов гидроциклона 1 (т.е. в начале камер сливов), на выходе камер верхнего 3 и нижнего 2 сливов, в отстойнике 6 осуществлялось образцовыми манометрами типа МО модели 11202 верхним пределом измерения 1,0 МПа (10 кгс/см), класс точности 0,4.

Температура жидкости измерялась ртутным термометром (ГОСТ 823-73) с ценой деления 0,1^0 С.

При исследованиях в качестве индикатора использовался химически чистый хлористый натрий (NaCl). Концентрация индикатора в воде определялась с помощью кондуктометра типа АНИОН 4120, обеспечивающего измерение значений величин: степени минерализации растворов в пересчете на хлористый натрий в пределах от 1 мг/л до 20 г/л с погрешностью ±5%; автоматической температурной компенсации результатов измерений; вывод результатов измерений в единицах мг/л, мСм/см; цифрового представления результатов измерения.

В соответствии с теоретическими исследованиями [4, 8], эксперименты проводились по технологическим схемам (см. рис. 1): а) емкость 4 – насос 5 – гидроциклон 1 – камера нижнего слива 2; б) емкость 4 – насос 5 – гидроциклон 1 – камера верхнего слива 3; в) емкость 4 – насос 5 – гидроциклон 1 – камеры нижнего 2 и верхнего 3 сливов – отстойник 6.

Перед проведением опытов система заполнялась пресной водопроводной водой, затем включался в работу насос 5 и система вводилась в режим циркуляции по указанным выше технологическим схемам продолжительностью 8-10-кратного обмена суммарного объема гидроциклона 1 и камер нижнего 2 и верхнего 3 сливов. Далее система вводилась в соответствующий режим работы: задвижкой 25 устанавливался расход воды, при этом давление на вводе 11 в гидроциклон 1 фиксировалось манометром 9.

Навеска NaCl растворялась в 500 мл воды и тщательно перемешивалась до получения насыщенного раствора. Полученный раствор индикатора заливался в дозирующую емкость 7. Ввод индикатора в систему производился импульсным методом [17], сущность которого заключалась в том, что в момент времени $\tau = 0$ на всас 12 насоса 5 залпом вводилась доза NaCl. Для этого открывался шаровой кран 13 и под действием вакуума на участке всасывающего трубопровода 12 перед насосом 5 происходило мгновенное опорожнение дозирующей емкости 7 до заданной нижней отметки; продолжительность процесса ввода индикатора не превышала 2 секунд, в то время как продолжительность пребывания жидкости в системе составляла десятки секунд.

Отбор проб воды из пробоотборников П-1 и П-6, установленных в конце цилиндрических камер 2 и 3, производился с момента ввода индикатора с интервалом в 1 секунду, а из патрубка пробоотборника П-8, установленного на выходе из отстойника 1, – через 20 секунд.

В результате экспериментальных исследований, проведенных для величины давления на входе в гидроциклон 0,4 МПа с противодавлением 0,2 МПа, получены опытные точки дифференциальных функций $\overline{C}(\tau)$ распределения времени пребывания жидкости на выходах из цилиндрических камер нижнего 2 и верхнего 3 сливов гидроциклона 1 (рис. 2, 3), а также на выходе из отстойника 6 (рис. 4). На рисунках 2-4 представлены графики функций $\overline{C}(\tau)$, на которых сплошной линией показаны теоретические кривые, построенные по уравнениям дифференциальных функций распределения времени пребывания жидкости [4, 8], и нанесены опытные точки.

Сравнение опытных кривых с теоретическими показывает, что закономерность их изменения практически одинакова.

Как видно из рис. 2, 3, 4, результаты экспериментальных данных и теоретических расчетов близки. Для качественной оценки понятия «близость» необходимо вводить некоторые нормы для отклонений функций друг от друга, а также для самих функций. Поскольку обычные статические оценки здесь

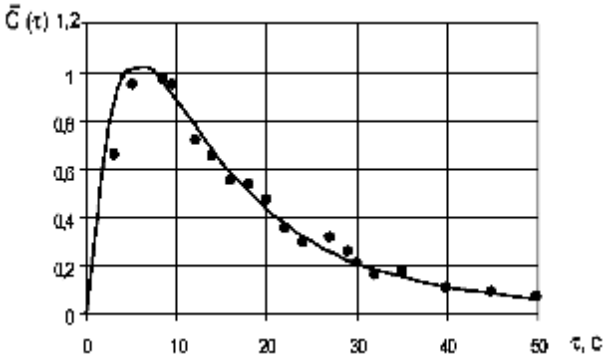


Рис. 2. — – теория; ● – эксперимент

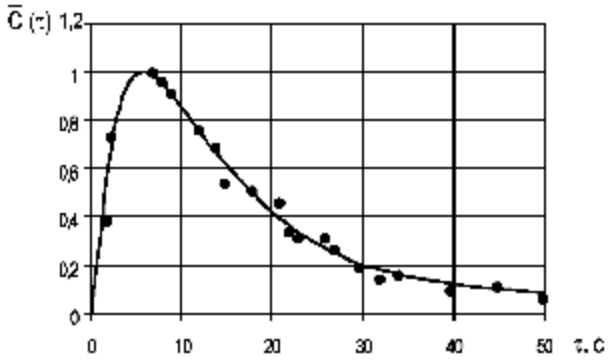


Рис. 3. — – теория; ● – эксперимент

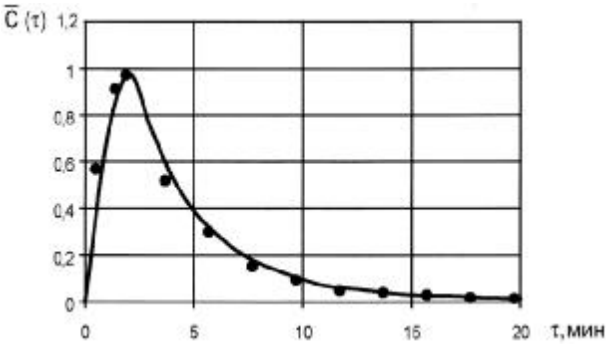


Рис. 4. — – теория; ● – эксперимент

провести невозможно, то введем следующие нормы. Во-первых, отклонения экспериментальных результатов от теоретических будем оценивать параметром (m - нормой) [18]:

$$\left\|\Delta\overline{C}\right\|_m = \left(\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{C}_i^{\text{эксп.}} - \overline{C}_i^{\text{теор.}}\right)^m \Big/ n\right)^{1/m}$$

Здесь n – число экспериментальных точек.

Во-вторых, некое осредненное значение функции распределения $\overline{C}$ на рассматриваемом интервале по времени определим аналогичной p – нормой:

$$\left\|\Delta\overline{C}\right\|_p = \left(\sum_{i=1}\left(\overline{C}_i\right)^p \Big/ n\right)^{1/p}.$$

Параметры p, m выбираются в зависимости от экспертных предпочтений. При больших p, m предпочтение отдается наибольшим значениям функции $\overline{C}_i$ и отклонениям $\left|\overline{C}_i^{\text{эксп.}} - \overline{C}_i^{\text{теор.}}\right|$.

Относительное отклонение теоретических результатов от экспериментальных можно оценить теперь по формуле:

$$\Delta\% = \left(\left\|\Delta C\right\|_m \Big/ \left\|\Delta C\right\|_p\right)\cdot 100\%.$$

Ниже в таблице представлены значения D% при сравнении результатов, приведенных на рис. 2-4, для различных m и p.

Вычисления при других значениях m, p показали, что относительное отклонение D не превышает

Таблица

m, p	m = 1, p = 1	m = 1, p = 2	m = 2, p = 1	m = 2, p = 2
рис. 2	5,4 %	4,5 %	7,6 %	6,4 %
рис. 3	7,0 %	5,8 %	9,9 %	8,2 %
рис. 4	12,3 %	9,0 %	21,3 %	15,6 %

значений, полученных при m = 2, p = 1. Таким образом, даже в случае наиболее жесткой оценки результатов только в третьем эксперименте отличие теоретических расчетов от результатов натурных испытаний превышает 10 %. Все это свидетельствует о качественном и количественном, адекватном описании математическими моделями [4, 8] гидродинамики ГКС и БГКО по принятым технологическим схемам.

Литература

1. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Ланцов М.В., Адельшин А.А. Параметры закрученных струй на сливах гидроциклона // «Исследования проблем водоснабжения, водоотведения и подготовки специалистов». Межвуз. сб. научн. трудов. – Казань: КазГАСА, 1999. – С. 137-142.
2. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Хисамеева Л.Р., Шешегова И.Г. К основным положениям разработки блочных установок очистки нефтепромысловых сточных вод с использованием закрученных потоков. – М.: Технология нефти и газа, 2007. – С. 13-17.
3. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Хисамеева Л.Р., Шешегова И.Г. Аппарат очистки нефтепромысловых сточных вод на основе использования закрученных потоков с целью заводнения нефтяных пластов // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал. – Уфа, 2007. – 12 с.
4. Адельшин А.А. Дифференциальная функция распределения времени пребывания жидкости установки БГКО // Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования. – М.: Академия наук о Земле, 2004. Том. 2. – С. 104-105.
5. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Каюмов Р.А. Численные эксперименты по моделированию процессов коалесценции капель нефти в закрученных потоках установки БГКО // Известия КазГАСУ, 2008, № 1 (8). – С. 141-144.
6. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Каюмов Р.А. Дифференциальные функции распределения капель нефти в закрученных потоках // Поволжский научный журнал, 2008, № 4. – С. 158-163.
7. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Андреев С.Ю., Гришин Б.М. Новые технические решения для очистки нефтесодержащих сточных вод с использованием закрученных потоков // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск, 2008, № 10. – С. 64-69.
8. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Каюмов Р.А. Дифференциальные функции распределения времени пребывания жидкости в аппарате с закрученным течением // Известия КазГАСУ, 2008, № 2 (10). – С. 115-120.
9. Патент РФ №2189360. Бюл. № 26 от 20.09.2002 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
10. Патент РФ № 2227791. Бюл. №12 от 27.04.2004 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А., Каюмов Р.А.
11. Патент РФ № 2248327. Бюл. №8 от 20.03.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
12. Патент РФ № 2253623. Бюл. №16 от 10.06.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
13. Патент РФ № 2255903. Бюл. №19 от 10.07.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А., Каюмов Р.А., Урмитова Н.С.
14. Патент РФ № 2257352. Бюл. №21 от 27.07.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
15. Патент РФ № 2303002. Бюл. №20 от 20.07.2007 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Адельшин А.А.
16. Патент РФ №2313493. Бюл. №36 от 27.12.2007 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Файзуллин Р.Н., Сахапов Н.М.
17. Закгейм А.Ю. Введение в моделирование химико-технологических процессов. – М.: Химия, 1973. – 224 с.
18. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функции и функционального анализа. – М.: Наука, Физматлит, 1976. – 543 с.

УДК 628.1+725.74

А.Б. Адельшин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения
С.В. Леонтьева – старший преподаватель
К.А. Ежова – аспирант
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ОЧИСТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОДЫ ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА НА НАМЫВНЫХ ФИЛЬТРАХ

АННОТАЦИЯ
Предложена технология водоподготовки плавательных бассейнов с использованием намывных фильтров. Создана опытно-промышленная установка. Целью экспериментальных исследований являлось определение параметров фильтрования воды, необходимых для расчета намывных фильтров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Водоподготовка, плавательный бассейн, намывной фильтр, вспомогательные фильтровальные вещества, качество воды.

A.B. Adelshin – doctor of technical sciences, professor, head of Water Supply and Water-Drainage department
S.V. Leonteva – senior lecturer
K.A. Ezhova – post-graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

PURIFICATION OF SWIMMING POOL PROCESS WATER BY USING PRECOAT FILTERS

ABSTRACT
The technology of water conditioning for swimming pool by using precoat filters is suggested. The pilot plant is created. The purpose of experimental research is determination of water filtering parameters, required for calculation of precoat filters.

KEYWORDS: Water conditioning, swimming pool, precoat filter, additive filtering compounds, quality of water.

Эпидемическая безопасность и высокое качество воды в плавательных бассейнах обеспечивается фильтрованием технологической воды с добавлением тонкодисперсных вспомогательных фильтрующих веществ, обладающих высокой пористостью. Процесс реализуется на намывных фильтрах. При этом снижается цветность, мутность воды, бактериальные загрязнения, содержание железа и марганца, что особенно важно в технологии водоподготовки плавательных бассейнов.

Намывные фильтры отличаются компактностью, высоким эффектом очистки воды, незначительным расходом промывной воды, не более 1 % пропускной способности фильтра [1]. Пропускная способность этих фильтров в 4-6 раза больше, чем у кварцевых скорых напорных фильтров того же диаметра. Применение намывных фильтров позволяет отказаться от использования дефицитного коагулянта. При этом себестоимость обработки воды снижается в среднем в 2 раза.

Применение намывных фильтров для водоподготовки плавательных бассейнов рекомендуется [2]. Однако в справочной и нормативной литературе отсутствуют подробные достаточно обоснованные данные, необходимые для проектирования и эксплуатации плавательных бассейнов с использованием намывных фильтров.

С целью решения этой проблемы предложена технология и установка для очистки циркулирующей воды плавательного бассейна [3, 11]. Технологическая схема установки показана на рис 1.

Установка работает следующим образом: загрязненная вода из бассейна самотеком поступает в префильтр для предочистки, далее вода насосом подается на очистку в намывной фильтр. Очищенная вода (фильтрат) обеззараживается, подогревается и подается в бассейн.

Для приготовления суспензии фильтровального вспомогательного вещества используется вода и порошкообразный активированный уголь. Перед

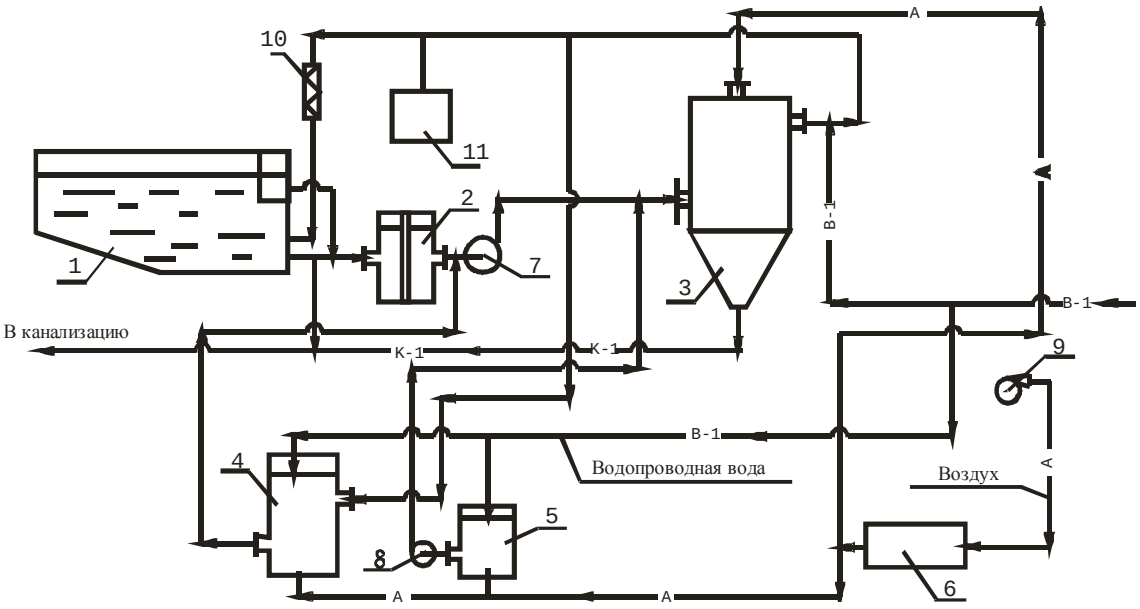


Рис. 1. Технологическая схема установки очистки циркуляционной воды:
1 – бассейн; 2 – префильтр; 3 – намывной фильтр; 4 – ёмкость для приготовления первичной суспензии; 5 – ёмкость для приготовления добавочной суспензии; 6 – рессивер; 7 – циркуляционный насос; 8 – насос-дозатор; 9 – компрессор; 10 – водонагреватель; 11 – обеззараживающая установка; трубопроводы: водопровод В-1, канализация К-1, воздухопровод А

пуском установки в работу производится приготовление указанной суспензии в суспензаторе 4. Для пуска фильтра в работу его заполняют водой и производят намыв слоя фильтровального вспомогательного вещества по замкнутой схеме: суспензатор 4 – насос 7 – фильтр 3 – суспензатор 4 до тех пор, пока все вещество не будет перенесено на фильтрующую перегородку, а в суспензаторе 4 остается чистая вода. После окончания намыва начинают подавать в исходную воду добавочное вспомогательное фильтрующее вещество насосом 8 из суспензатора 5 в напорный трубопровод насоса 7.

Фильтр отключают на промывку при достижении заданного перепада давления на фильтрующем слое или при снижении качества фильтрата. Промывка фильтра производится водопроводной водой с использованием сжатого воздуха, по программе: 1 – продувка воздухом; 2 – водо-воздушная промывка; 3 – водяная промывка. Промывная вода сбрасывается в канализацию.

Обеззараживание воды осуществляется при помощи раствора анолита нейтрального [4-6] . В отличие от раствора хлора, анолит не оказывает раздражающего действия на кожу и слизистые посетителей и благотворно воздействует на структуру воды, делая её мягче. Раствор анолита подается в очищенную воду.

Оборотная система очистки и подготовки воды обеспечивает качество воды, отвечающее современным требованиям санитарных и гигиенических норм [12, 13]. Установка высокоиндустриальна в изготовлении и монтаже, полного заводского изготовления.

Намывной фильтр состоит из вертикального цилиндрического корпуса, внутри которого размещены фильтрующие элементы патронного типа. Патроны представляют собой металлические перфорированные трубы, экипированные рукавом из фильтровальной ткани. В начале рабочего цикла путем предварительной подачи суспензии на поверхности патрона создается первичный намывной слой. При работе фильтра вода бассейна проходит через первичный слой, для увеличения продолжительности фильтрования добавляется вспомогательное вещество, создающее вторичный намывной слой.

На кафедре водоснабжения и водоотведения КазГАСУ создана опытно-промышленная установка для очистки воды плавательных бассейнов с применением намывных фильтров (рис. 2).

Техническая характеристика фильтра: поверхность фильтрования – 0,38 м^2; количество фильтровальных элементов (патронов) – 5; диаметр патрона – 50 мм; объем корпуса – 0,07 м^3.

Целью экспериментальных исследований было определение параметров фильтрования воды для получения данных, необходимых при расчёте сооружений водоподготовки плавательных бассейнов.

Эффективность работы намывных фильтров в значительной степени зависит от качества фильтрующих порошков.

Как в нашей стране, так и за рубежом выпускают активированный уголь различных марок, основным свойством которых является размер частиц.

Распределение размеров частиц является более важной характеристикой сорта вспомогательного

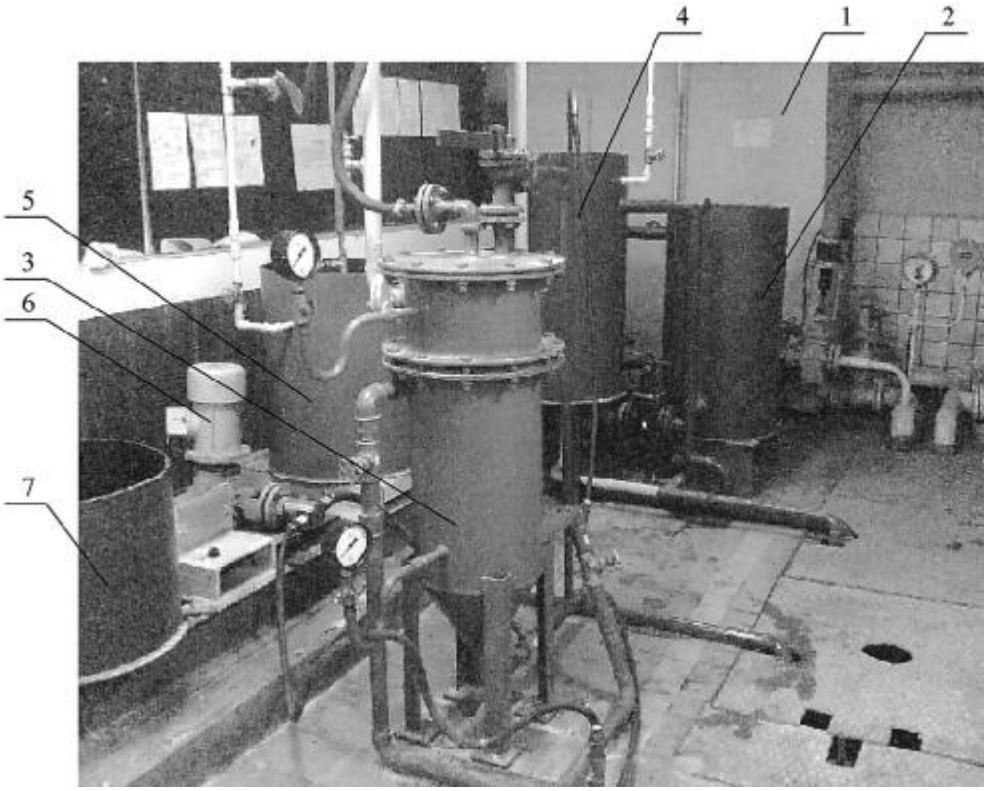


Рис. 2. Опытно-промышленная установка для очистки воды плавательных бассейнов с применением намывных фильтров. 1 – бак исходной воды; 2 – префильтр; 3 – намывной фильтр; 4 – ёмкость для приготовления первичной суспензии; 5 – ёмкость для приготовления добавочной суспензии; 6 – насос-дозатор; 7 – емкость для обеззараживающего реагента

вещества, чем средний размер частиц, так как частицы, находящиеся в одном размерном интервале, но обладающие различным распределением размеров внутри этого интервала, способны образовывать осадки с различными свойствами [8].

Порошкообразный активированный уголь для водоподготовки в бассейнах по требованиям немецких стандартов [7] имеет следующие характеристики: йодное число – 900 мг/г; проницаемость – 4 дарси; гранулометрический состав – частицы размером больше 71 мкм должны составлять меньше 25 % массовой доли фильтрующей фракции, а частицы мельче 45 мкм должны составлять больше 50 %.

Значение размера частиц обозначают при помощи D_{90} или D_{50}. Значение D_{90} в размере 70 мкм, показывает, что 90 % всех частиц меньше 70 мкм. Использование угля, имеющего меньшие размеры частиц, является фактором более быстрой адсорбции.

Для намывных фильтров нужен уголь, который имеет большую долю мелких фракций, так как намывной слой должен характеризоваться максимально высокой степенью проницаемости – для обеспечения продолжительности фильтроцикла.

В связи с тем, что выпускаемые порошкообразные активированные угли имеют размер частиц от 4 до 150 мкм, что позволяет использовать их в намывных фильтрах с горизонтально расположенными элементами, в фильтре патронного типа это может привести к сползанию намывного слоя. Наилучшие результаты показывает уголь с размером частиц менее 50 мкм. Для получения вспомогательного вещества с необходимым размером частиц производили предварительный помол гранулированного активированного угля. Уголь размалывался с различной продолжительностью от 10 до 100 секунд.

Для определения распределения размеров частиц вспомогательного вещества проведены эксперименты на лазерном микроанализаторе частиц «Analysette 22» – это устройство универсального применения для определения распределения по размерам частиц твердого вещества или аэрозолей в жидкости или газах (суспензии, эмульсии или аэрозоли). Также на этой установке была определена плотность и удельная поверхность. Плотность активированного угля – 1 г/см^3, удельная поверхность опытных образцов – 1,03-1,48 м^2/г. Экспериментальное распределение размеров частиц активированного угля представлено в табл. и рис. 3. В каждом случае был получен требуемый результат. Активированный уголь с любой продолжительностью помола показал высокий результат при фильтровании воды.

От распределения размеров частиц вспомогательных веществ зависит скорость фильтрования, качество получаемого фильтрата и режим ведения процесса фильтрования. Необходимая толщина предварительного слоя и концентрация

Таблица

Экспериментальное значение размеров частиц активированного угля

Распределение размеров частиц, мкм	Количество частиц, находящихся в данном размерном интервале, при продолжительности помола, %				
	10 с	20 с	30 с	50 с	100 с
> 40	1,50	9,50	11,50	5,60	7,00
20-40	28,50	19,30	14,65	13,4	15,42
10-20	27,90	24,90	16,83	23,16	21,76
6-10	13,60	17,50	13,02	19,84	17,82
2-6	21,40	21,70	32,00	28,00	28,00
< 2	7,10	7,10	12,00	10,00	10,00

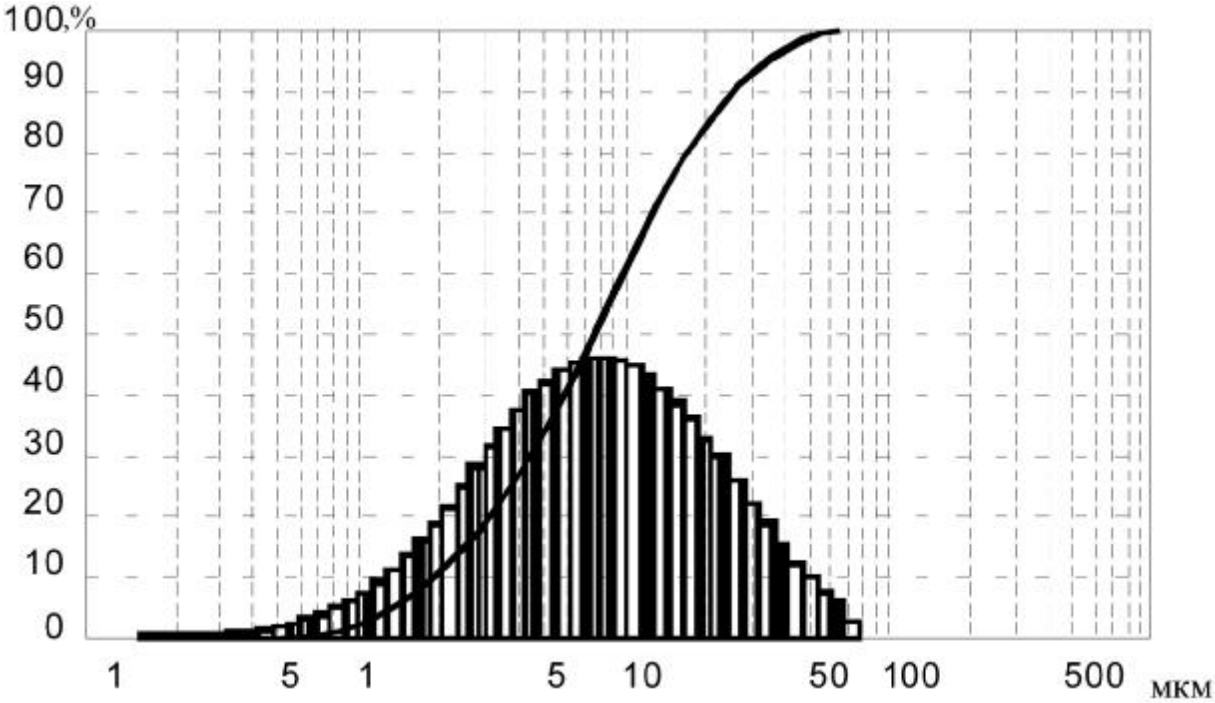


Рис. 3. Экспериментальное распределение размеров частиц активированного угля

вспомогательного вещества в разделяемой суспензии существенно зависят от распределения размеров частиц применяемого сорта фильтровспомогателя [8].

Скорость фильтрования на намывных фильтрах, большинством авторов [1, 9, 10] рекомендуется от 1-4 м/ч, расход фильтровального вспомогательного вещества – 300-600 г на 1 м^2 фильтрующей поверхности, расход добавочного вещества – 3-10 г/м^3.

Эксперименты показали, что скорость фильтрования при применении активированного угля составляет 0,95-2,85 м/ч в зависимости от концентрации вспомогательного вещества. Установлено, что лучшим из исследованных фильтровальных веществ является активированный уголь (применяли диатомит сырой и различных фирм производителей) с оптимальным первичным расходом порошка 500 г на м^2 фильтрующей поверхности.

В ходе проведения экспериментальных исследований было подтверждено преимущество намывных фильтров по высокому эффекту очистки фильтруемой воды [11]. Мутность очищенной воды составила 0,1-0,2 мг/л, что значительно превышает требования [12] к качеству воды питьевой – 1,5 мг/л и воды плавательных бассейнов – 2 мг/л по требованиям [13].

Предложенная технология позволяет менять количество вспомогательного вещества в зависимости

от назначения бассейна (повышенные требования к качеству воды в период проведения спортивных соревнований); возраста, контингента купающихся и увеличения пропускной способности. В отличие от существующих технологий, предложенная нами позволяет вносить изменения с учетом качества исходной водопроводной воды, меняющегося по сезонам года (ухудшение в период паводка, аварии), путем изменения количества вспомогательного фильтрующего вещества для первичного и добавочного слоя.

Данный метод подготовки воды рекомендуется для общественных и демонстрационно-спортивных бассейнов.

Литература

1. Кедров В.С., Рудзский Г.Г. Водоснабжение и водоотведение плавательных бассейнов. 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1991. – 160 с.
2. Справочное пособие к СНиП. Проектирование бассейнов / Центр. науч.-исслед. и проект. институт типового и экспериментального проектирования комплексов и зданий культуры, спорта и упр. им. Б.С. Мезенцева. – М.: Стройиздат, 1991, – 64 с.: ил.
3. Адельшин А.Б., Бусарев А.В., Леонтьева С.В., Селюгин А.С. Установка «Оздоровительный мини-бассейн с оборотной системой водоснабжения» // Информ. Листок, 2002, №1. – Казань: Тат. ЦНТИ, 2002. – 3 с.
4. Методические указания по использованию анолита, вырабатываемого в установке СТЭЛ-60 и СТЭЛ-80 для дезинфекции воды в плавательных бассейнах, утвержденные Главным Государственным санитарным врачом городского центра Госсанэпидемнадзора г. Санкт-Петербурга Курчановым В.И. 21 июля 1995 г., № 1305. – 8 с.
5. Бахир В.М. Медико-технические системы и технологии для синтеза электрохимически активированных растворов. Учебно-методическое пособие. – М.: ВНИИИМТ, 1998. – 66 с.
6. Бахир В.М. Современные технические системы для обеззараживания, очистки и активирования воды. – М.: ВНИИИМТ, 1999. – 84 с.; ил.
7. DIN 19 643 «Подготовка воды для плавательных и купальных бассейнов», стандарт Германии, 1997.
8. Лейчкис И.М. Фильтрование с применением вспомогательных веществ. – «Техніка», 1975. – 192 с.
9. Малиновская Т.А., Кобринский И.А., Кирсанов О.С., Рейнфарт В.В. Разделение суспензий в химической промышленности. – М.: Химия, 1983. – 264 с.
10. Жужиков В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1980. – 400 с.
11. Адельшин А.Б., Леонтьева С.В. Перспективы использования намывных фильтров в техническом водоснабжении плавательных бассейнов // Известия КазГАСУ, 2008, № 1 (9). – С. 145-151.
12. СанПиН 2.1.4.1074-01. Вода питьевая. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2001. – 117 с.
13. СанПиН 2.1.2.1188-03. Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2003. – 27 с.

УДК 628.258:625.1/5

П.А. Горшкалев – аспирант
Самарский государственный архитектурно-строительный университет (СГАСУ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СТОКА И ВЫВОД ФОРМУЛЫ РАСХОДА ЛИВНЕВЫХ ВОД

АННОТАЦИЯ

В представленной работе разработана формула, позволяющая определить величину расхода ливневых сточных вод с железнодорожных путей, учитывающая степень загрязненности балластной призмы железнодорожного пути. Определен коэффициент стока ливневых сточных вод со склонов балластной призмы железнодорожных путей, зависящий от степени загрязненности балласта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Расход ливневых вод, формула расчета расхода, степень загрязненности балласта, коэффициент стока ливневых вод, ливневая вода с железнодорожного пути.

P.A. Gorshkalev – post-graduate student
Samara State Architecturally-Building University (SSABU)

DEFINITION OF DRAIN FACTOR AND FORMULA DERIVATION OF STORM WATERS FLOW

ABSTRACT

The formula determining the value of sewage storm water flow from railway tracks with consideration for pollution intensity of ballast prism of railway track is developed. The drain factor of sewage storm waters from the ballast prism's slopes of railway tracks is defined; it depends on pollution intensity of ballast.

KEYWORDS: Storm waters flow, calculation formula of flow, pollution intensity of a ballast, drain factor of sewage storm waters, storm water from railway track.

Расход ливневых сточных вод определяется по формуле, учитывающей коэффициент стока с площади водосбора. Общая формула для определения расхода дождевых вод (в л/с) представлена В.С. Дикаревским в работах [1, 2] в виде:

$$Q = q \cdot F \cdot y \cdot h, \qquad (1)$$

где q – расчетная интенсивность дождя, л/с на га;

F – площадь стока, с которой стекает дождевая вода, га;

ш – коэффициент стока с площади водосбора;

з – коэффициент, учитывающий неравномерность выпадения дождя на площади стока.

На кафедре водоснабжения и водоотведения СГАСУ выполнялись исследования, направленные на определение коэффициента стока с балластной призмы железнодорожных путей. Рассмотрим представленные в формуле составляющие.

ш – коэффициент стока с площади водосбора. Известно, что дождевая вода, попадая на поверхность различных покрытий, стекает с них не полностью. Количество воды, стекающее с покрытия, определяется коэффициентом стока, приводимым в [3 и 4]. Коэффициент стока для щебенчатых покрытий составляет 0,4 [3, 4]. Так как балластная призма состоит из щебня, устроенного на грунтовом основании, то коэффициент стока будет определяться в зависимости от коэффициента стока с щебня и коэффициента стока с грунта. Коэффициент стока для грунтовых покрытий составляет 0,2 [3, 4].

Балластная призма имеет склоны, по которым часть осадков стекает к ее подножью, но основная часть осадков, проходя через балласт, попадает на грунт. Для определения количества ливневых сточных вод, стекающих по склону балластной призмы, были проведены опыты на экспериментальной установке, схема которой приведена на рисунке.

Суть эксперимента заключается в том, что с помощью оросителя достигается равномерное распределение осадков. Создавая подобие дождя, видно, что основная часть равномерно распределенных осадков проходит в тело балластной призмы, но некоторая их часть стекает по склону к подножью устроенной балластной призмы. Таким образом, часть воды, попавшая в резервуар 6, является частью осадков, стекающих по склону балластной призмы.

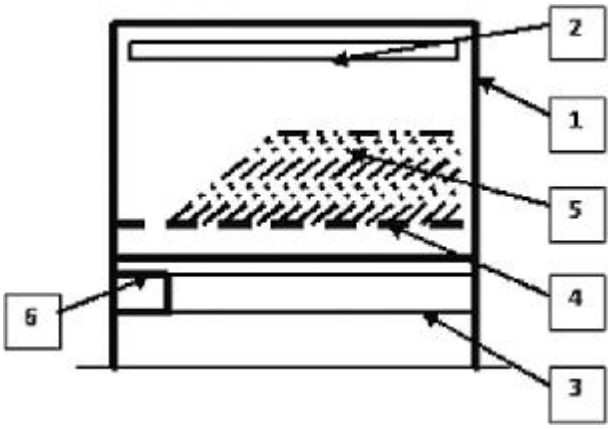


Рис. Схема экспериментальной установки
1 – корпус установки, 2 – ороситель,
3 – поддон для сбора сточной воды, 4 – решетка,
5 – щебень, имитирующий балластную призму,
6 – резервуар для сбора части ливневой воды,
стекающей по склону балластной призмы

Для правильного определения коэффициента стока с балластной призмы железной дороги вводится новый коэффициент, показывающий количество воды, стекающее по склонам балластной призмы. Данный коэффициент получил название коэффициента стекания. Он был определен практическим путем на экспериментальной установке: сравнив количество воды, поданное на ороситель, и количество воды, попавшее в резервуар 6, найдем коэффициент стекания воды по склону балластной призмы ($К_с$).

Первые опыты проводились на чистом щебне, то есть имитация балластной призмы на установке была создана из нового, не эксплуатируемого щебня. Был проверен ряд опытов, математическая обработка которых показала, что по склону балластной призмы стекает 13,5 % ливневой воды. Вторые опыты были проведены на загрязненном щебне. В этом случае количество стекающей воды составило 35,5 %. Таким образом, коэффициент стекания воды по склонам уже эксплуатируемой и загрязненной балластной призмы составляет: $К_с = 0,355$.

Также определим коэффициент инфильтрации в тело балластной призмы, он будет равен $К_{ин} = 1 – К_с$, для загрязненного балласта он будет составлять $К_{ин} = 1 – 0,355 = 0,645$.

Разработана формула, позволяющая определить коэффициент стока с железнодорожного пути, с учетом предложенного коэффициента стекания воды по склонам балластной призмы:

$$y_{ж/д} = K_c + y_{щ} \cdot (1 - K_c) \cdot y_{гр}, \quad (2)$$

где $К_с$ – коэффициент стекания воды по склону балластной призмы;

$ш_{щ}$ – коэффициент стока с щебня;

$ш_{гр}$ – коэффициент стока с грунтового покрытия.

Итак, коэффициент стока для балластной призмы, созданной из нового, чистого щебня, будет составлять:

$$y = 0,135 + 0,4 \cdot (1 - 0,135) \cdot 0,2 = 0,204.$$

А коэффициент стока для балластной пизы, уже бывшей в работе, будет равен:

$$y = 0,355 + 0,4 \cdot (1 - 0,355) \cdot 0,2 = 0,407.$$

Необходимо адаптировать формулу, представленную В.С. Дикаревским для расчета расхода ливневой воды, собираемой с железнодорожного пути.

Q – расчетная интенсивность дождя, л/с на га. Интенсивность дождей изменяется от 0,25 (моросящий) до 100 мм/час (ливень). В метеорологии интенсивность обычно выражается в мм/мин, а в инженерных расчетах – в л/с на 1 га, поэтому выражаем q (л/с на 1 га) через i (мм/мин):

$$q = \frac{0,001 \cdot 10000 \cdot 1000 \cdot i}{60} = 166,7 \cdot i, \quad (3)$$

где i – интенсивность дождя, мм/мин.

По результатам многолетних наблюдений, приведенных в нормативных документах, методических и учебных пособиях для расчета дождевого стока, известно, что для средней части Волги характерно:

а – средняя интенсивность (мм/мин):

- для дождя продолжительностью менее 60 мин составляет 0,15 мм/мин;
- для дождя продолжительностью от 61 до 180 мин – 0,07 мм/мин;
- для дождя продолжительностью более 180 мин – 0,03 мм/мин.

б – максимальная интенсивность (мм/мин):

- для дождя продолжительностью менее 60 мин составляет 2,1 мм/мин;
- для дождя продолжительностью от 61 до 180 мин – 4,6 мм/мин;
- для дождя продолжительностью более 180 мин – 1,48 мм/мин.

F – площадь стока, с которой стекает дождевая вода, га. К расчету принимается площадь территории, с которой происходит водосвор. В приведенной формуле, представленной В.С. Дикаревским, площадь измеряется в га, для дальнейших расчетов это неприемлемо. Поэтому для переведения значений площадей в км^2 в формуле, определяющей расход ливневых сточных вод, площадь умножается на переводной коэффициент, равный 100, (1 км^2 = 100 га).

з – коэффициент, учитывающий неравномерность выпадения дождя на площади стока. Для определения расчетных расходов ливневых сточных вод неравномерность выпадения осадков по площади целесообразно выражать через среднюю из максимальных интенсивностей выпадения осадков по

всему бассейну водосбора. В таком случае коэффициент неравномерноти з можно определить по формуле, представленной в работе [33-5]:

$$h = \frac{8,4}{F^{0,9}} + \frac{0,0192}{F^{0,22} \cdot i_{макс}^{0,5}}, \qquad (4)$$

где F – площадь водосбора, км^2;

$i_{макс}$ – максимальная интенсивность в точке, мм/мин.

После подробного рассмотрения всех параметров и определения их значений вводим их в основную формулу:

$$Q_{ж/д} = 166,7 \cdot i \cdot (F \cdot 100) \cdot$$
$$\cdot (K_c + y_{щ} \cdot (1 - K_c) \cdot y_{гр}) \cdot$$
$$\cdot (\frac{8,4}{F^{0,9}} + \frac{0,0192}{F^{0,32} \cdot i_{макс}^{0,5}})$$

Раскрыв скобки получим:

$$Q_{ж/д} = 100 \cdot (1400 \cdot i \cdot F^{0,1} + \frac{3,2 \cdot i \cdot F^{0,68}}{i_{макс}^{0,5}}) \cdot$$
$$\cdot (K_c + y_{щ} \cdot (1 - K_c) \cdot y_{гр}) \qquad (5)$$

Получившаяся формула очень громоздка и загружена, поэтому приводим ее к более приемлемому виду:

$$Q_{ж/д} = 320 \cdot i \cdot y_{ж/д} \cdot$$
$$\cdot (437,5 \cdot F^{0,1} + i_{макс}^{-0,5} \cdot F^{0,68}) \qquad (5а)$$

Подставив значение коэффициента стока с железной дороги, бывшей в работе, в полученную формулу, получим:

$$Q_{ж/д} = 130,24 \cdot i \cdot$$
$$\cdot (437,5 \cdot F^{0,1} + i_{макс}^{-0,5} \cdot F^{0,68}), \qquad (5б)$$

где i – интенсивность дождя, мм/мин;

F – площадь стока с которой стекает дождевая вода, км^2;

$i_{макс}$ – максимальная интенсивность дождя, мм/мин.

При проведении корреляционного анализа формулы, представленной В.С. Дикаревским, и формулы, полученной авторами, получается корреляционная сходимость 99,3 %. Это расхождение можно считать незначительным, потому что несоответствие на 0,7 % вызвано округлением значений при расчетах.

Разработанная формула позволяет определить расход ливневой сточной воды непосредственно с железнодорожного пути. Ее преимуществом является то, что можно определить расход ливневой воды непосредственно с интересующего нас участка железнодорожного пути. В формулу введен коэффициент стока с балластной призмы, который, в свою очередь, рассчитан с учетом экспериментально установленного коэффициента стекания со щебня балластной призмы, что позволяет более точно определить расход ливневой воды, поступающей с участка пути или железнодорожной станции. Определен коэффициент инфильтрации ливневой сточной воды в тело балластной призмы. Представленная формула учитывает степень загрязненности балласта при расчете стока с железнодорожного пути.

Литература

1. Дикаревский В.С., Таубин А.П. Расчет дождевых сетей канализации с помощью ЭВМ: (Для раздельной и полураздельной систем). – М.: Стройиздат, 1980. – 144 с.
2. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: Учеб. пособие для вузов/ В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1990. – 224 с.
3. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты / Федеральное агентство Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству (Росстрой) / ФГУП «НИИ ВОДГЕО». – М., – 2006. – 56 с.
4. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с.
5. Алексеев М.И., Курганов А.М. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий: Учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ; СПб.: СПбГАСУ, 2000. – 352 с.

УДК 579.222

О.В. Жукова – аспирант
Н.В. Морозов – доктор биологических наук, профессор
Татарский государственный гуманитарно-педагогический университет (ТГГПУ)
Р.Х. Хузаянов – начальник очистных сооружений
В.Н. Кудряшов – заместитель генерального директора
ОАО "Казаньоргсинтез"

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА БИООЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОКОВ, ОСНОВАННАЯ НА ПРИМЕНЕНИИ ОТСЕЛЕКТИРОВАННЫХ УГЛЕВОДОРОДОКИСЛЯЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ

АННОТАЦИЯ

Целью данной работы является оптимизация условий биодеградации нефтепродуктов с применением аборигенных форм углеводородокисляющих микроорганизмов, путем увеличения контакта их с очищающей нефтесодержащей сточной водой, распыленной на значительной поверхности, и создание благоприятной среды, обеспечивающей управляемое обезвреживание стоков до норм СНИП и выше. Объектом исследования служили нефтесодержащие сточные воды ОАО «Казаньоргсинтез», в состав которых входили нефтепродукты, фенол, СПАВ, моно – ди, триэтиленгликоли и другие органические загрязняющие примеси. Физические и химические показатели смешанных производственных сточных вод, поступающих в общую канализационную объединения, колеблятся: температура – 22-24 °С, pH – 7,2-9,2, ХПК – 604,8-1858 мг/л, кислород в концентрации (O_2) от 1,5 до 6 мг/л, сумма неорганических форм азота (NH_4, NO_2,NO_3) – 10-35 мг/л, фосфор (P2O5) – 0,3-2,2 мг/л, нефтепродукты превышают 183 мг/л, фенол – до 20мг/л, гликоли – до 250 мг/л, СПАВ – до 20мг/л.

Максимальная эффективность деструкции нефтепродуктов в струйно-отстойном аппарате достигается при времени биоокисления 1,2 часа, соотношение биогенных элементов 100:5, концентрации индуцирующих соединений $35 \cdot 10^{-6}$ М.

Дополнительное внесение в очищаемую сточную жидкость индуцирующих соединений повышает интенсивность биологического окисления нефтепродуктов до 75 % по сравнению с контролем, где эффективность окисления остаётся на стабильно низком уровне 40 %.

Применение метода доочистки путем отстоя во вторичном отстойнике, длительностью в пределах 1,5-2 часа повышает эффективность биодеградации нефтепродуктов до 82 %.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Биологическая очистка (биоочистка), углеводородокисляющие (нефтеокисляющие) микроорганизмы, аэротенк, струйно-отстойный аппарат, технологическая схема, сток, отселектированный, биогенные элементы, индуцирующие соединения, индуцибельные вещества, химическое потребление кислорода (ХПК).

O.V. Zhukova – post-graduate student
N.V. Morozov – doctor of biological sciences, professor
Tatar State Humanitarian Pedagogical University (TSHPU)
R.Kh. Khuzayanov – the chief of cleaning construction department factory
V.N. Kudryashov – assistant general director
OSC «Kazanorgsynthesis»

TECHNOLOGICAL SCHEME OF BIO-CLEANING OF OIL CONTAINING MANUFACTURE STOCKS, BASED ON USING OF SELECTED SOUR CARBO-HYDROGEN MICROORGANISMS

ABSTRACT

The purpose of this work is optimization of conditions of petroleum bio-decomposition by application of aboriginal hydrocarbon-oxidizing microorganisms, and analysis of impact of nutrients and biocatalyst compounds on the efficiency of bio-oxidation. The research object is oil-contained sewage water of OSC «Kazanorgsynthesis», which is contaminated by petroleum products, phenol, surfactants, and other organic pollutants. Physical and chemical characteristics of mixed plant sewage: temperature 22-24 °C, pH 7,2-9,2, chemical oxygen demand (COD) from 604,8 to 858 mg/dm^3, O_2 concentrations at 1,5-6 mg/dm^3, sum of non-organic nitrogen (NH_4, NO_2 and NO_3) 10-35 mg/dm^3, phosphorus (P2O5) –

0,3-2,2 mg/dm^3, petroleum products level more than 183 mg/dm^3, phenol concentration – up to 20 mg/dm^3, glycols - up to 250 mg/dm^3, surfactants - up to 20 mg/dm^3. The efficiency maximum of petroleum products degradation is achieved at 1,2 hours of bio-oxidation; the concentration ratio of biogenic compounds is 100:5, the concentration of inductive compounds is at $35 \cdot 10^{-6}$ M. The additional inclusion of inductive compounds into cleaning sewage results in increased intensity of biological oxidation of oil products - up to 75 % compare to control, where the oxidation efficiency is at low level in 40 %. After-treatment of waste based on precipitation in the secondary tank for 1,5-2 hours increases the efficiency of oil-products biodegradation up to 82 %.

KEYWORDS: Biological cleaning (bio-cleaning), sour oil microorganisms (sour carbo-hydrogen microorganisms), aerotank, inkjet storage apparatus, technological scheme, stock, selected, biogenic elements, inductive compounds, inducible substances, oxygen chemical consumption.

Разработка методов очистки природных вод и производственных стоков от нефти и нефтепродуктов представляет собой активно развивающееся направление экологии и биотехнологии, но проблема повышения эффективности очистки сточных вод от углеводородов нефти по-прежнему очень актуальна.

Одним из перспективных направлений очистки сточных вод является управляемая интенсификация биодеградации нефти и ее производных путем целенаправленного применения биогенных элементов и индуцирующих соединений (ИС). При оптимальном выборе их вида и концентрации удается ускорить бактериальное разложение нефти и продуктов её переработки до углекислого газа и воды [1].

Целью настоящей работы является оптимизация условий биологической деградации нефтепродуктов в высококонцентрированном производственном стоке (первая ступень подготовки сточных вод перед подачей на основные биологические очистные сооружения – аэротенки) аборигенными углеводородокисляющими микроорганизмами по схеме очистки, включающей: отстой, нейтрализацию, осветление в горизонтальном отстойнике длительностью 1,5-2 часа, очистка загрязнений на специальной опытной установке, представляющей собой струйно-отстойный аппарат (СОА), и последующее двухчасовое осветление во вторичном отстойнике.

Объектом исследования служили нефтесодержащие сточные воды ОАО «Казаньоргсинтез», в состав которых входили нефтепродукты, фенол, СПАВ, моно – ди, триэтиленгликоли и другие органические загрязняющие примеси. Физические и санитарно-химические показатели смешанных производственных сточных вод, поступающих в общую канализационную объединения, колеблются: температура – 22-24°С, pH – 7,2-9,2, ХПК – 04,8 -1858 мг/л, O_2 от 1,5 мг/л до 6 мг/л, сумма неорганических форм азота (NH_4, NO_2, NO_3) – 10-35 мг/л, фосфор (P_2O_5) – 0,3-2,2 мг/л, нефтепродукты превышают 183 мг/л, фенол – до 20, гликоли – до 250, мг/л, СПАВ – до 20 мг/л.

Биодеградацию нефтепродуктов в сточной жидкости проводили в специально созданном для этой цели струйно-отстойном аппарате (СОА) с применением вновь созданного консорциума аборигенных штаммов нефте- и углеводородокисляющих микроорганизмов (авторы: Морозов Н.В., Жукова О.В., Кудряшов В.А., Хузаянов Р.Х.) с общей численностью на входе от 107 до 162 млн кл/мл. По принятой технологической схеме искомая биомасса популяции получена в условиях хемостатного культивирования на АНКУМ-2М.

Варианты полупроизводственных испытаний включали:

1. Смешанная сточная вода (СВ) без внесения биомассы микроорганизмов, биогенных элементов и индуцирующих соединений (ИС) (контроль).

2. Смешанная сточная вода с внесением биомассы микроорганизмов и биогенных элементов – азота и фосфора неорганического (N, P) из расчета:

$БПК_{полн}$:N:P 100:N 2,5: P 0,5

$БПК_{полн}$:N:P 100:N 5: P 1,0

$БПК_{полн}$:N:P 100:N 10: P 2,0

$БПК_{полн}$:N:P 100:N 20: P 4,0

3. Смешанная сточная вода с внесением биомассы микроорганизмов (консорциума), биогенных элементов и индуцирующих соединений (ИС) в соотношениях:

$БПК_{полн}$ 100:N 5: P 1: ИС $35 \cdot 10^{-6}$M;

$БПК_{полн}$ 100:N 5: P 1: ИС $70 \cdot 10^{-6}$M;

$БПК_{полн}$ 100:N 5: P 1: ИС $150 \cdot 10^{-6}$M.

Время очистки нефтесодержащих стоков принято равным – 0,8; 1; 1,2; 1,4; 2; 3 и 4 часам. Длительность культивирования в режиме хемостатного

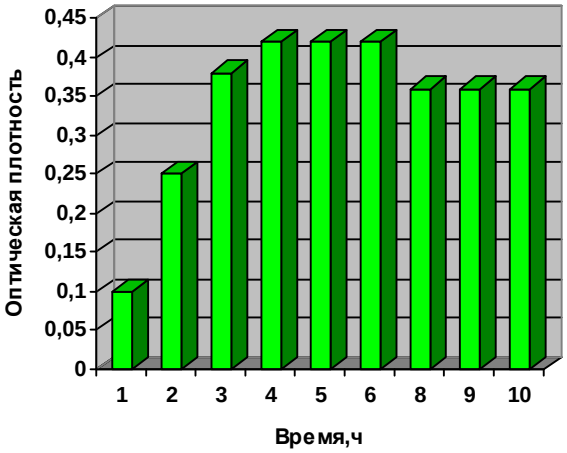


Рис. 1. Динамика роста численности УОМ в ферментере

Таблица 1

Параметры и условия выращивания аборигенных форм углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ) на АНКУМ-2М

№ культур	Условия			t, °C	pH	Плотность max.	Количество, кл/мл	O_2 мг/л	
	Соляровое масло	Биогенные элементы $БПК_{полн}$:N:P	Индуцирующие соединения					Начало опыта	Конец опыта
1	20мг/л	-	-	28	7,2	0,08	$61 \cdot 10^6$	10,2	7,0
2	20мг/л	100:05:01	-	28	7,8	0,11	$76 \cdot 10^6$	8,7	4,3
3	20мг/л	-	$35 \cdot 10^{-6}$М	28	7,3	0,23	$153 \cdot 10^6$	8,9	5,6
4	20мг/л	100:0.1:0.1	$35 \cdot 10^{-6}$М	28	7,4	0,14	$76 \cdot 10^6$	9,8	3,5
5	10мг/л	100:2.5:0.5	$17,5 \cdot 10^{-6}$М	28	7,5	0,13	$99,7 \cdot 10^6$	10,7	4,4
6	20мг/л	100:05:01	$35 \cdot 10^{-6}$М	28	7,4	0,34	$260 \cdot 10^6$	10,9	3,1
7	20мг/л	100:05:01	$70 \cdot 10^{-6}$М	28	7,3	0,45	$345 \cdot 10^6$	8,3	7,0
8	20мг/л	100:05:01	$150 \cdot 10^{-6}$М	28	7,5	0,12	$92 \cdot 10^6$	9,5	8,1
9	20мг/л	100:10:0.2	$35 \cdot 10^{-6}$М	28	7,7	0,14	$107 \cdot 10^6$	8,8	7,3

Примечание: 1) БПК полн. – биохимическое потребление кислорода за 20 суток; 2) N – азот неорганический; 3) P – фосфор неорганический.

выращивания равнялась 4 часам и она держалась на оптимальном уровне в течение двух часов (рис. 1).

При плотности суспензии углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ) численность их составила от $76 \cdot 10^6$ кл/мл до $345 \cdot 10^6$ кл/мл. Заражение сточной жидкости (УОМ) в каждом варианте производственных испытаний осуществлено 4-5-часовой смешанной культурой с численностью клеток в пределах $162 \cdot 10^6$ кл/мл.

Основные параметры и условия выращивания популяции нефтеокисляющих бактерий, использованных для очистки сточной жидкости, представлены в табл. 1.

Режим очистки смешанной заводской сточной жидкости по принятой технологической схеме осуществляли, соблюдая следующие условия: сточную воду пропускали через нефтеловушку, освобождали от грубых взвесей, пленки нефтепродуктов и далее отстаивали в течение 2-х часов в горизонтальном отстойнике, затем осветленную сточную жидкость насосом подавали в струйный элемент струйно-отстойного аппарата (рис. 2). Одновременно туда же из дозирующего устройства (рис. 3) направляли реагенты, содержащие сульфат аммония, суперфосфат и индуцирующие соединения в различных соотношениях (см. варианты испытаний) и расчетное количество суспензии нефте- и углеводородокисляющих микроорганизмов (НиУОМ).

Подаваемая в струйный элемент сточная вода с добавленными веществами, распространяясь вдоль оси струйного элемента, образовывала в нем прямой и обратный потоки и вследствие разряжения, создаваемого струёй через отверстия в боковой поверхности верхней части цилиндра, поступала внутрь струйного элемента. Из-за значительных градиентов скорости и сдвиговых напряжений осуществляется разрыв бронирующих оболочек на каплях эмульгированной нефти и углеводородов, оставшихся в сточной воде после отстоя, осветление и дробление капель. Остальной объём СОА в зоне струйного элемента и внешнего рецикла образует зону, обеспечивающую развитую поверхность контакта между компонентами жидкости и микроорганизмами, с одной стороны, и углеводородами – с другой. После выхода из струйного элемента распыленная жидкость постепенно осаждается и скапливается в нижней части аппарата, где происходит ее отстой и осветление. В силу возникающих условий в СОА создается эффективная биодеградирующая система, обеспечивающая ускорение биоокисления растворенных и взвешенных нефтепродуктов [2]. Скорость потока в пилотной установке принимали от 0,015 до 0,03 м/сек. и время пребывания от 1 до 1,5 часов. В случае превышения нагрузки по ХПК 1000 мг/л и более время пребывания сточной воды увеличивали от 1,3 до 2 часов при сохранении давления подаваемого стока до 2,0 атм. Скорость движения стока при этом составляла в пределах 0,031-0,045 м/сек.

Нами выявлено, что оптимальное время пребывания сточной воды в СОА приближается к 1,2 ч., что соответствует скорости подачи сточной воды в струйно-отстойный аппарат 8 л/мин. При этом эффективность окисления нефтепродуктов составляла 63%, а в контроле не превышала 40% (табл. 2).

Установлено, что степень и эффективность биоокисления нефтепродуктов зависят от концентрации загрязняющих воду углеводородов и

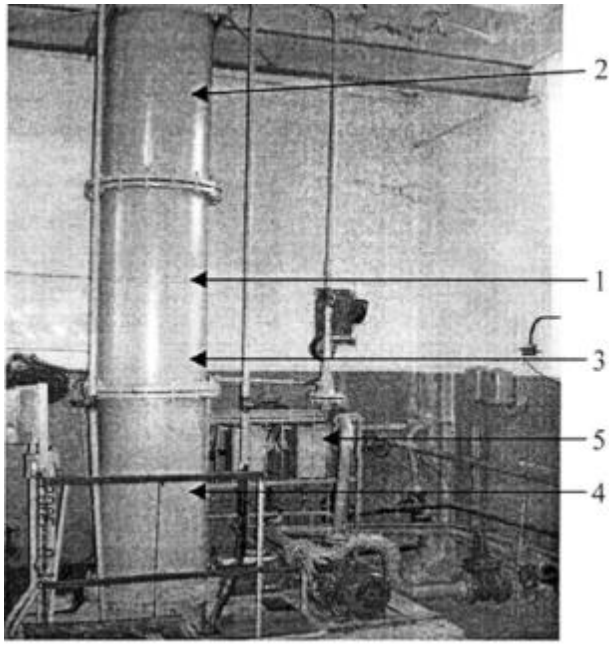


Рис. 2. Струйно-отстойный аппарат (СОА): 1 – установка; 2 – струйный элемент (зона смешения); 3 – зона оседания частиц потока; 4 – зона отстоя; 5 – биодозаторы

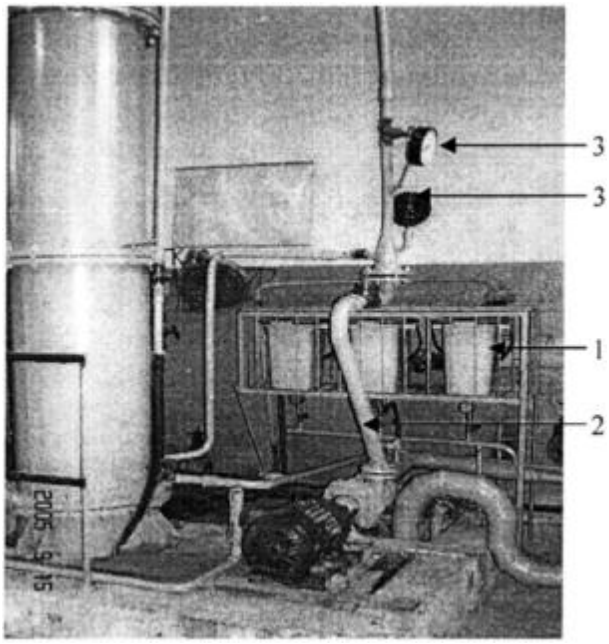


Рис. 3. Элементы СОА: 1 – дозатор; 2 – арматура для подачи и отвода сточных вод; 3 – манометры стабильной работы системы

Таблица 2

Очистка нефте- и углеводородсодержащих сточных вод в зависимости от времени пребывания стока в СОА

Условия опыта	Контроль, время окисления 1,4 ч		% окис-ления	Время окисления 1,4 ч		% окис-ления	Контроль, время окисления 1,2 ч		% окис-ления	Время окисления 1,2 ч		% окис-ления
Анализы	вход	выход		вход	выход		вход	выход		вход	выход	
Микроорганизмы, 10^6 кл/мл	107,0	130,0		146,0	199,0		110,2	138,2		135,0	150,0	
ХПК, мг/л	757,2	643,6	**15,0**	757,2	605,8	**20,0**	1036,5	641,0	**38,0**	789,0	160,0	**28,0**
Нефтепродукты, мг/л	0,153	0,125	**18,0**	0,734	0,47	**36,0**	2,226	1,34	**40,0**	1,0	601,9	**34,0**
NO_2, мг/л	0,304	0,456	-	0,364	0,182	**50,0**	1,17	1,0	**15,0**	0,6	1,23	**28,0**
NO_3, мг/л	0,11	0,1	**9,0**	0,05	0,045	**10,0**	0,075	0,05	**33,0**	0,09	0,421	**25,0**
NH_4, мг/л	26,38	23,28	**12,0**	31,8	27,7	**13,0**	29,5	20,4	**31,0**	31,0	30,52	**24,0**
P_2O_5, мг/л	1,13	0,85	**25,0**	1,37	0,93	**32,0**	1,9	1,4	**26,3,**	0,23	0,18	**22,0**
Условия	Контроль, время окисления 1 ч		% окисле-ния	Время окисления 1 ч		% окис-ления	Контроль, время окисления 40 мин.		% окис-ления	Время окисления 40 мин.		% окис-ления
Анализы	вход	выход		вход	выход		вход	выход		вход	выход	
Микроорганизмы, 10^6 кл/мл	115,0	132,2		150,2	190,1		100,2	115,1		144,3	169,2	
ХПК, мг/л	946,5	830,1	**12,0**	984	786,0	**20,0**	518,3	442,0	**15,0**	851,2	666,3	**22,0**
Нефтепродукты, мг/л	1,35	1,15	**15,0**	1,033	0,709	**31,4**	1,52	1,32	**13,0**	1,03	1,25	**29,0**
NO_2, мг/л	0,24	0,21	**12,5**	0,182	0,182	**0**	0,1824	0,14	**25,0**	0,58	0,456	**21,0**
NO_3, мг/л	1,5	1,30	**13,0**	2,10	2,0	**4,8**	0,07	0,05	**36,0**	0,09	0,97	**23**
NH_4, мг/л	36,5	32,5	**10,7**	52,0	41,5	**20,0**	33,4	28,6	**14,0**	38,0	31,1	**24**
P_2O_5, мг/л	1,75	1,25	**29,0**	3,75	2,56	**32,0**	0,28	0,19	**32,1**	0,31	0,25	**20**

Таблица 3

Биоокисление нефтесодержащих сточных вод в зависимости от соотношений биогенных элементов

(БПК полн.:N:P 100:2,5:0,5)							**(БПК полн.:N:P 100:5:1)**					
Условия	контроль		% окис-ления	культура и биогены		% окис-ления	контроль		% окис-ления	культура и биогены		% окис-ления
Анализы	Вход	выход		вход	выход		вход	выход		вход	выход	
Микроорганизмы, 10^6 кл/мл	120,0	140,0		148,0	256,0		126,0	148,0		162,1	325,1	
ХПК, мг/л	780,36	582,96	**25,0**	1198,4	771,2	**36,0**	716,0	547,4	**24,0**	929,2	400,76	**57,0**
Нефтепродукты,мг/л	1,85	1,24	**33,0**	2,321	1,343	**42,0**	3,226	2,021	**37,0**	3,429	1,041	**70,0**
NO_2, мг/л	0,17	0,1	**41,0**	0,31	0,17	**46,9**	0,41	0,1	**75,6**	0,26	0,08	**70,0**
NO_3, мг/л	1,5	1,2	**20,0**	1,4	1,3	**7,0**	4,55	4,15	**8,7**	4,5	4,3	**5,4**
NH_4, мг/л	29,5	25,4	**14,0**	37,2	24,9	**33,0**	16,2	15,4	**13,1**	24,6	16,8	**56,0**
P_2O_5, мг/л	0,42	0,33	**21,0**	2,78	1,42	**49,0**	0,23	0,15	**3,2**	4,3	1,4	**67,4**
(БПК полн.:N:P 100:10:2)							**(БПК полн.:N:P 100:20:4)**					
Условия	контроль		% окис-ления	культура и биогены		% окис-ления	контроль		% окис-ления	культура и биогены		% окис-ления
Анализы	Вход	выход		вход	выход		вход	выход		вход	выход	
Микроорганизмы, 10^6 кл/мл	126,0	152,0		160,3	232,0		115	147,2		142,0	199,0	
ХПК, мг/л	1023,0	821,8	**20,3**	1048,0	780,3	**26,2**	680,4	500,3	**26,5**	780,7	623,5	**20,6**
Нефтепродукты,мг/л	1,894	1,29	**32,4**	2,123	1,29	**39,0**	2,89	1,94	**33,0**	2,35	1,64	**3,0**
NO_2, мг/л	0,23	0,21	**9,1**	0,24	0,23	**4,0**	0,6	0,5	**16,6**	0,41	0,41	**0**
NO_3, мг/л	1,53	1,25	**18,0**	2,3	2,2	**13,3**	2,5	2,4	**4,0**	2,6	2,6	**0**
NH_4, мг/л	59,0	43,5	**26,0**	75,6	53,4	**29,2**	10,5	9,3	**14,0**	63,0	57,5	**9,0**
P_2O_5, мг/л	0,25	0,17	**32,0**	14,0	7,4	**47,1**	0,15	0,11	**27,0**	15,3	14,5	**5,0**

времени их глубокой биодеградации в СОА. Это связано с доступностью нефтепродуктов для микробной атаки и, в конечном итоге, с возможностью использования их микроорганизмами в качестве единственного источника углерода и энергии.

При варьировании добавок биогенных элементов (рис. 4) было выявлено, что оптимальное соотношение $БПК_{полн.}$:N:P для окисления углеводородов микроорганизмами в СОА составляет 100:5:1, что подтверждает полученные нами ранее данные при окислении солярового масла микроорганизмами в «АНКУМ-2М» (табл. 3). Как видно из таблицы 3 и рис. 4, при соотношении к азоту и фосфору 5:1 достигается оптимальное нарастание популяции нефтеокисляющих микроорганизмов в очищаемой сточной жидкости (за время контакта в 1,2 часа число бактерий удваивается и достигает 325 $\cdot 10^6$ против 162 $\cdot 10^6$ кл/мл) и происходит интенсивная биодеградация нефтепродуктов. Наибольший рост наблюдается в вариантах, где биогенные элементы (N, P, K) взяты в количестве, соответствующем содержанию азота 10-20 мг/л, фосфора 5-9 мг/л, калия 5-10 мг/л. Степень трансформации углеводородов при этом достигает до 70%, а суммы загрязняющих веществ (по ХПК) до 57 %. В контроле без добавления культуры микроорганизмов показатели очистки стоков значительно ниже: ХПК снизилось на 24, а количество углеводородов на 37 %.

Анализ содержания азота, нитратов, фосфора в конце эксперимента по этим вариантам показал, что ни в одном из опытов не происходит накопления вышеуказанных элементов.

Изменение дозы неорганического фосфора, азота и калия в среде для роста нефтеокисляющих микроорганизмов как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения не дает видимого эффекта нарастания биомассы культуры. При увеличении дозировки биогенных элементов выше оптимального уровня наблюдалось угнетение роста популяции микроорганизмов до 199 млн. кл/мл и соответственно снижение эффективности биоокисления на 40%.

Вместе с тем, в производственных опытах установлено, что корректировка биогенных элементов (N, P) в сточной жидкости, подаваемой в СОА, позволяет повысить нагрузку по ХПК до 1000 мг/л. Последний факт является очень положительным в процессе подготовки первичных углеводородсодержащих сточных вод до норм отвода для дальнейшей глубокой очистки или доочистки.

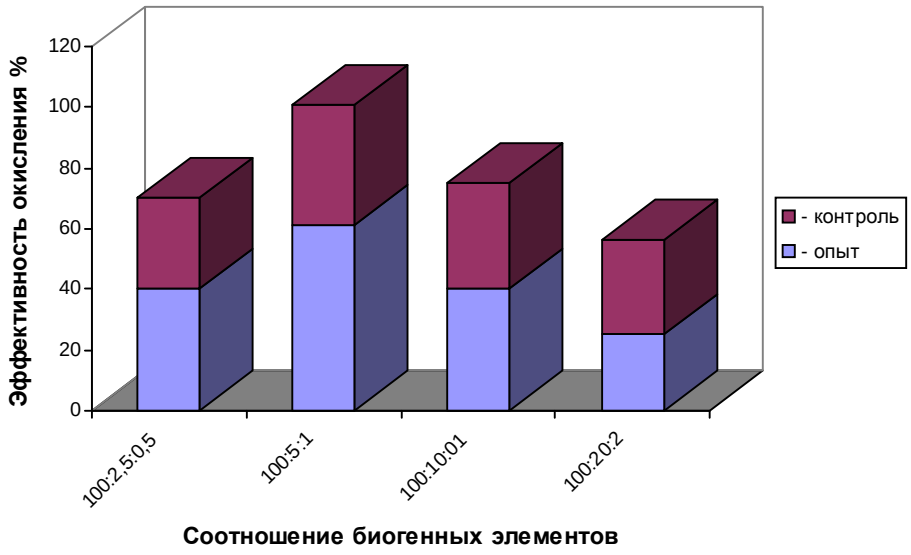


Рис. 4. Эффективность биоокисления нефтепродуктов при различных соотношениях биогенных элементов

С целью достижения более высокой эффективности очистки углеводородсодержащих стоков в последующих сериях испытаний в очищаемую воду, наряду с биогенными веществами, добавляли индуцирующие соединения, включающие аминокислоты, углеводы и органические кислоты с суммарной концентрацией $35 \cdot 10^{-6}$М, $70 \cdot 10^{-6}$ М и $150 \cdot 10^{-6}$ М. Режим очистки сточной жидкости в этих испытаниях соответствовал прежнему, как с добавлением биогенов в соотношении БПКпол. 100:5:1 и численностью углеводородокисляющих микроорганизмов в среднем 144 млн. кл/мл.

Опытами выявлено, что внесение индуцирующих (биокатализирующих) веществ увеличивает количество углеводородокисляющих бактерий до 376 млн. кл/мл (в 2,6 раза за время контакта в 1,2 часа), что повышает эффективность биоокисления углеводородов нефти в технологической схеме до 75% (табл. 4). Это достигается в дозе индуцирующих веществ в концентрации $35 \cdot 10^{-6}$ М. Увеличение дозы последних до $70 \cdot 10^{-6}$ М и $150 \cdot 10^{-6}$М сопровождалось некоторым ингибированием развития микроорганизмов и, как следствие, значительно меньшим сокращением загрязняющих веществ.

В контроле в те же сроки процент очистки стоков остается на стабильно низком уровне и не превышает 40%.

С целью достижения более высокой степени освобождения стоков от нефтепродуктов далее подвергали ее отстою в течение 2-х часов. В процессе отстаивания происходит дальнейшая биодеградация остаточных нефтепродуктов микроорганизмами и отделение биомассы от очищенных, содержащих остаточное количество углеводородов, сточных вод, что повышает эффективность деструкции углеводородов предварительно очищенных вод до 82%. Максимальное время отстоя для достижения высокого эффекта

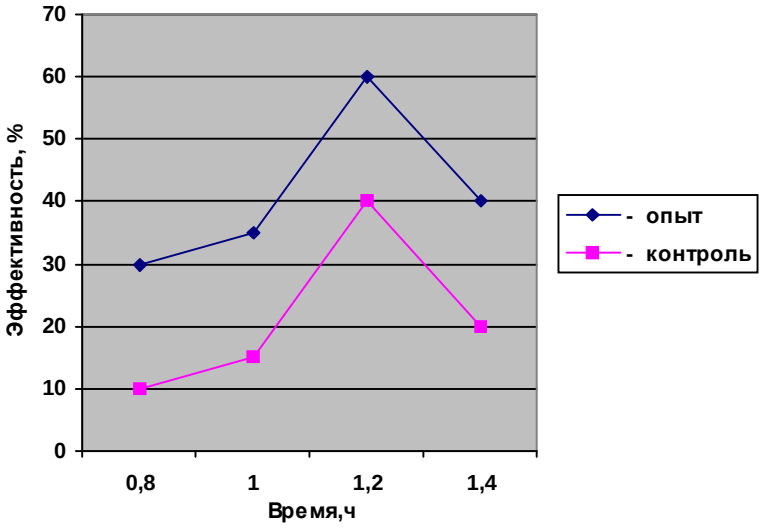


Рис. 5. Эффективность окисления нефтепродуктов в зависимости от времени пребывания сточной воды в биореакторе

освобождения стоков от загрязняющих веществ определено в 1,2 часа (рис. 5).

Прослеженная динамика изменения концентрации суммарного количества нефтепродуктов в осветляемой сточной жидкости в опытном и контрольном вариантах показала почти одинаковую зависимость.

Удлинение времени отстоя от 2 до 4 часов не привело видимого изменения содержания как нефтепродуктов, так и взвешенных веществ.

Таким образом, проведенные полупроизводственные испытания вновь созданной установки и на ее базе технологической схемы подготовки высококонцентрированных углеводородсодержащих производственных стоков до норм отвода в биологические очистные сооружения показали преемственность использования подобной технологии для снятия повышенных количеств нефтепродуктов. Она оправдана в силу достижения высоких показателей очистки стоков за сравнительно короткое время и меньших эксплуатационных и других затрат по сравнению с существующими традиционными схемами. Целесообразность применения ее в технологической схеме очистки делает метод универсальным, т.к. он может быть использован как для предварительной подготовки, так и глубокой очистки производственных сточных вод сравнительно высокой нагрузкой по загрязняющим веществам (ХПК до 1600 мг/л, содержание углеводородов более 100 мг/л).

В традиционных очистных сооружениях биологическим окислением нефтезагрязнений 80-85 %-ный эффект достигается от 16 до 20 часов, а с микробным методом с использованием СОА и отстоя, за 1,2-1,5 часа. При этом показатели оценки качества очищенной сточной жидкости (N, P, численность гетеротрофных микроорганизмов и др.) близки по значениям.

Выводы:

1. Максимальная эффективность деструкции нефтепродуктов в струйно-отстойном аппарате достигается при времени биоокисления 1,2 часа, соотношении биогенных элементов $БПК_{полн.}$100: N: 5:P:1 и концентрации индуцирующих соединений $35 \cdot 10^{-6}$М.

2. Дополнительное внесение в очищаемую сточную жидкость индуцирующих соединений повышает интенсивность биологического окисления нефтепродуктов до 75 % по сравнению с контролем, где эффективность окисления остаётся на стабильно низком уровне 40 %.

3. Применение метода доочистки путем отстоя во вторичном отстойнике, длительностью в пределах 1,5-2 часа повышает эффективность биодеградации нефтепродуктов до 82 %.

4. Использование испытанной технологической схемы углеводородсодержащих сточных вод, причем с высокой нагрузкой загрязнений и достигаемой конечной целью снятия нефтепродуктов и других сопутствующих соединений, указывает на целесообразность использования метода и создания на его основе технологической схемы очистки и доочистки сточных вод локальных производств не только органического синтеза, но и других подобных предприятий.

Литература

1. Жмур Н.С. Управление процессом и контроль результата очистки вод на сооружениях с аэротенком. – М.: Луч, 1997. – 172 с.
2. Морозов Н.В. Экологическая биотехнология: очистка природных и сточных вод макрофитами. – Казань: Изд-во КГПУ, 2001. – 396 с.

УДК 504.054

О.Р. Каратаев – кандидат технических наук, старший преподаватель
Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХЛОРИРУЮЩИХ ПРЕПАРАТОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОДЫ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

АННОТАЦИЯ

В данной статье сделан анализ литературных источников, подтверждающих негативное влияние хлороформа, находящегося в водной и воздушной среде закрытых помещений, на здоровье человека. Экспериментально определялась концентрация хлороформа, содержащегося в воде при растворении в ней химических реактивов на основе хлора: «Хлорификс» (Германия), стабилизирующий хлор СТХ-250 (Испания) и «Хлоритекс» (Россия), – часто применяемых для дезинфекции воды в плавательных бассейнах, с использованием индикаторных трубок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Плавательный бассейн, воздушная среда, хлороформ, индикаторные трубки, организм человека, заболевания, миграция, определение.

O.R. Karataev – candidate of technical sciences, senior lecturer
Kazan State Energy University (KSEU)

COMPARATIVE ASSESSMENT OF CHLORINATING PREPARATIONS USING IN PROCESSING OF SWIMMING POOLS WATER

ABSTRACT

In this article the analysis of literature sources was made, confirming the negative effect of chloroform existing in water and air of closed rooms on the human health. The concentration of chloroform in water was determined experimentally when the following chemicals on the basis of chlorine were dissolved in the water: “Chlorofix” (Germany), stabilizing chlorine STX-250 (Spain) and “Chloritex” (Russia); all are widely used for water disinfection in swimming pools along with display tubes.

KEYWORDS: Swimming-pool, air, chloroform, display tubes, human body, diseases, migration, determination.

Современный плавательный бассейн представляет собой сложную систему, включающую функционально связанные между собой строительные сооружения и технологические устройства. Надлежащее санитарно-гигиеническое состояние в плавательных бассейнах обуславливается эффективной работой системы технологического водоснабжения и водоотведения. Традиционная технология водоподготовки представляет собой совокупность двух основных процессов: удаление взвешенных частиц и обеззараживание [1].

Согласно литературным данным, в мире по-прежнему в 99 из 100 случаев для дезинфекции используют газообразный хлор или хлорсодержащие продукты, которые в большом ассортименте представлены потребителю.

При дезинфекции воды хлорирующими реагентами примеси органических веществ, постоянно присутствующих в воде плавательных бассейнов, реагируют с ними, в результате чего образуются хлорорганические соединения, многие из которых обладают более высокой токсичностью для организма человека, чем газообразный хлор. Наиболее токсичными являются легколетучие хлорорганические соединения, которые попадают в организм человека через верхние дыхательные пути и оказывают негативное влияние на слизистую оболочку органов дыхания, глаза, кожу, изменяют вкус и запах воды, способствуют накоплению вредных примесей в воздушной среде плавательных бассейнов [2-4]. Кроме того, попадающие в воздушную среду химические соединения под действием различных факторов могут трансформироваться с образованием более токсичных соединений, что необходимо учитывать при оценке влияния загрязнения атмосферного воздуха помещений плавательного бассейна на состояние здоровья человека [5].

Плавательный бассейн, очевидно, можно рассматривать как систему парофазного распределения газ-жидкость, когда летучие вещества при определенных условиях могут находиться в термодинамическом равновесии с водной средой. Поэтому процесс извлечения из воды плавательных бассейнов летучих компонентов можно описать

различными уравнениями, которые основаны на термодинамическом условии существования различных фаз.

В соответствии с этими условиями наблюдается определенная взаимосвязь между концентрациями каждого из присутствующих компонентов в различных фазах гетерогенной системы, находящейся в равновесии. Условием этого равновесного состояния является равенство химических потенциалов каждого из *i*-го компонентов в каждой из *j*-равновесных фаз [6].

$$m_i^{'} = m_i^2 = m_i^3 = ... = m_i^j \qquad (1)$$

Между концентрациями каждого компонента в равновесных фазах I и II существует зависимость.

$$c_i^{'} = f_i^{I,II}(c'') \qquad (2)$$

Это приводит к тому, что, зная количественный состав одной фазы, можно определить состав другой.

Одним из основных представителей побочных продуктов дезинфекции является хлороформ, который встречается в воде наиболее часто и в более высоких концентрациях, чем остальные летучие хлорорганические соединения [7].

Установлено, что хлороформ может вызывать рак мочевого пузыря, толстой и прямой кишки, поджелудочной железы, головного мозга и др. [8-9]. При этом его содержание в воздушной среде плавательных бассейнов зависит от времени пребывания в них человека. Воздушная среда плавательных бассейнов содержит тем больше хлороформа, чем выше его концентрация в водной среде, больше температура воды и воздуха и степень перемешивания воды [10]. При контакте человека с водой хлороформ может поступать в организм через неповрежденную кожу. Кроме того, атмосферный воздух, загрязненный газообразным хлором и легкокипящими хлорорганическими соединениями, создает в помещениях плавательных бассейнов агрессивную среду, которая способствует коррозии металлической арматуры ограждающих конструкций. Это может привести к последующему их разрушению, что связано в первую очередь с тем, что газообразный хлор в атмосферном воздухе взаимодействует с парами воды с образованием соляной кислоты, которая проникает в микротрещины строительных конструкций, попадает к арматуре и вызывает её коррозию.

Содержание хлороформа в воздушной среде плавательных бассейнов зависит также от природы реагентов, которые применяют при дезинфекции водной среды.

Для дезинфекции воды плавательных бассейнов применяется достаточно большое количество химических реагентов, которые отличаются по своим эксплуатационным характеристикам и физико-химическим свойствам [11].

Нами были проведены сравнительные экспериментальные исследования трех хлорсодержащих препаратов, широко используемых для дезинфекции воды в плавательных бассейнах. К ним относятся: Хлорификс (Германия), стабилизирующий хлор СТХ-250 (Испания) и Хлоритекс (Россия). Концентрация свободного хлора во всех трех препарата приблизительно поддерживалась на уровне 50-55 %. Как известно, в интервале pH от 3,5 до 5,5 все соединения активного хлора образуют хлорноватистую кислоту, а хлор выделяется в виде газа. Хлорамины относятся также к соединениям активного хлора. Хлорноватистая кислота обладает уникальной способностью к образованию метастабильных оксидантов, обладающих антимикробным действием.

Газообразный хлор в результате реакции с органическими примесными соединениями может выделяться в окружающую воздушную среду, особенно при изменении температуры. Для оценки этого влияния нами были проведены исследования по определению концентрации газообразного хлора, выделяемого из хлорирующих препаратов при различных температурах. С этой целью была сконструирована установка, которая работает на основе колористического метода анализа (рис. 1)

В емкость для твердофазной экстракции 2 помещали навеску исследуемого препарата, включали термостат 6 и при фиксированной температуре отбирали строго дозированный объем пробы воздуха через фильтр 1 с помощью сильфонного аспиратора АМ-5 4, прокачивая его через индикаторную трубку 5. Процессы, протекающие в индикаторной трубке, происходят на разделе фаз. Неподвижная твердая фаза состоит из зерен адсорбента, которые заполняют трубку. В индикаторной трубке «проявление» происходит в результате колористической реакции. Молекулы исследуемого компонента пробы, увлекаемые потоком воздуха, перемещаются на определенное расстояние по слою наполнителя. В результате этого процесса часть молекул исследуемого вещества адсорбируется и вступает в химическую реакцию с реактивом, нанесенным на твердый носитель. Несвязанные молекулы исследуемого вещества увлекаются потоком просасываемой пробы и вступают далее во взаимодействие со свежей поверхностью реагента, закрепленного на индикаторном порошке. Оптимальное значение расхода воздуха, приведенное к нормальным условиям, рассчитывали по формуле:

$$Q_{действ.}^{н.у.} = Q_{ном.}^{н.у.} / \sqrt{\frac{P_{ном.}(273+t_{действ.})}{(273+t_{ном.})\cdot P_{действ.}}} = Q_{ном.}^{н.у.} \cdot k, \qquad (3)$$

где $Q_{ном.}^{н.у.}$ – номинальный объемный расход воздуха, приведенный к нормальным условиям, л/мин;

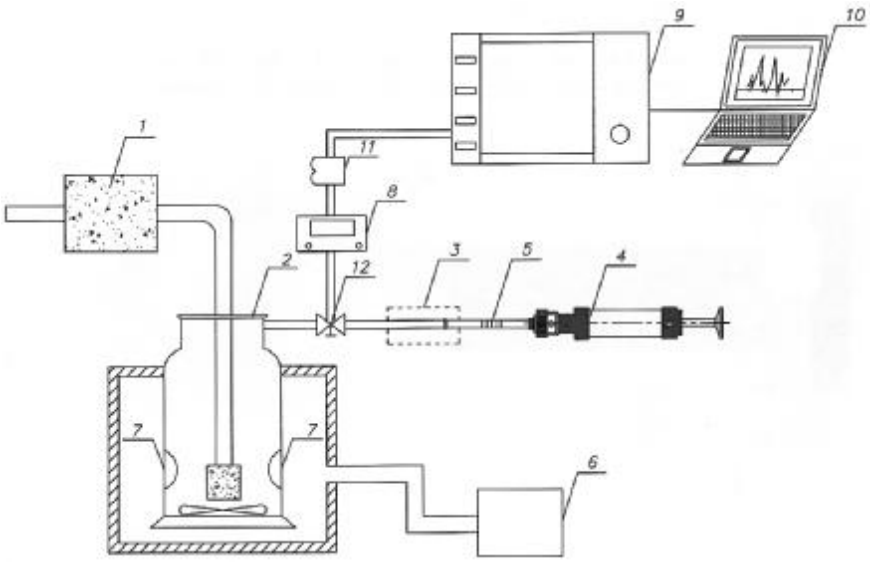


Рис. 1. Экспериментальная установка для определения содержания газообразного хлора и хлороформа в воздушной среде: 1 – фильтр; 2 – емкость для экстракции; 3 –переходник для подсоединения индикаторной трубки; 4 – насос-пробоотборник; 5 – индикаторная трубка; 6 – термостат; 7 – система аэрации; 8 – электрический аспиратор; 9 – хроматограф; 10 – компьютер; 11 – дозировочная петля; 12 – кран переключения

$Q^{н.у.}_{дейст.}$ – действительный расход воздуха, приведенный к нормальным условиям, л/мин; $P_{действ.}$ – атмосферное давление в условиях измерения, мм.рт.ст.; $P_{ном.}$ – атмосферное давление 760 мм.рт.ст.; $t_{действ.}$ – температура пробы воздуха, град.С; $t_{ном.}$ – температура пробы воздуха 20°С при нормальных условиях; k – поправочный коэффициент на расход воздуха, приведенный к нормальным условиям.

$$k = 1/\sqrt{\frac{P_{ном.}(273+t_{действ.})}{(273+t_{ном.})\cdot P_{действ.}}} \qquad (4)$$

Длина изменившего окраску столбика будет зависеть как от скорости химической реакции, так и от скорости диффузии газа через слой продуктов реакции к свежей поверхности реактива. Если внешняя диффузия газа к свежей поверхности индикаторного порошка преобладает над хемосорбцией, то с повышением концентрации газа возрастает только интенсивность окраски порошка.

Колористическая индикаторная трубка для измерения концентрации хлора отградуирована от 0,5 до 20 мг/м^3 с погрешностью не более ±25%. Определению концентрации хлора не мешают: аммиак 0,9 мг/м^3, ацетон до 5%, декан до 5%, диоксид азота до 90 мг/м^3, диоксид серы до 130 мг/м^3, оксид углерода до 630 мг/м^3, толуола 10%. Значение ПДК$_{воз}$ для хлора составляет 1,0 мг/м^3. При определении концентрации хлора в индикаторных трубках происходит окислительно-восстановительная реакция с выделением галогенов. В результате данной реакции получается элементарный хлор:

$$KBrO_3+6HCl \rightarrow 3\,Cl_2+KBr+3H_2O \qquad (5)$$

Затем образуется элементарный бром:

$$Cl_2+2KBr \rightarrow Br_2+2KCl \qquad (6)$$

Впоследствии бром реагирует с флуорисцеином с образованием окрашенного в ярко-розовый цвет эозина. Индикационный эффект при определении хлора обусловлен образованием брома и бромированием флуоресцеина. Наличие сильных окислителей или восстановителей влияет на показания индикаторной трубки.

На рис. 2 приведена зависимость концентрации выделившегося хлора из анализируемых препаратов от температуры:

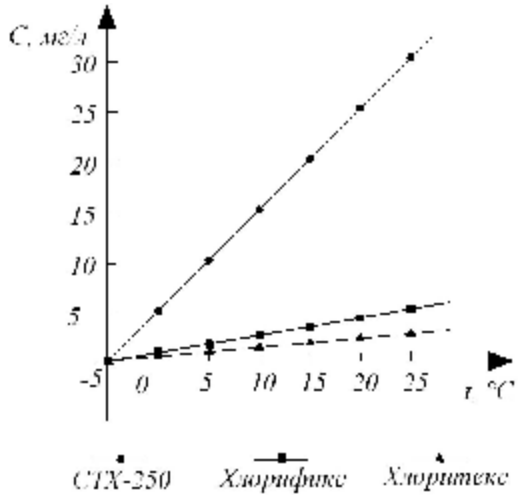


Рис. 2. Зависимость концентрации выделившегося из химических реагентов хлора от температуры эксперимента

Таблица

Экспериментальные результаты определения хлороформа, мигрирующего из водных растворов хлорирующих реагентов

ХЛОРОФОРМ					
Хлорификс (Германия)		СТХ – 200 (Испания)		Хлоритекс (Россия)	
t, ^oC	С, мг/л	t, ^oC	С, мг/л	t, ^oC	С, мг/л
25	5	25	7	25	10
30	16	30	20	30	12
35	25	35	30	35	15
40	34	40	45	40	17
45	45	45	60	45	20

Как следует из рис. 2, при температуре -5°С выделения газообразного хлора не наблюдалось для всех исследуемых препаратов. Поэтому при этой температуре можно хранить и транспортировать эти реагенты без экологических и материальных потерь. Как видно из рисунка, наиболее сильное выделение в окружающую среду газообразного хлора наблюдается для препарата «СТХ-200», а более слабое – для «Хлоритекс» и «Хлорификс». При этом во всех случаях просматривается линейная зависимость выделения газообразного хлора от температуры. Очевидно, что наиболее предпочтительным химическим реагентом для обработки воды плавательных бассейнов будет «Хлоритекс», который отличается более слабым газовыделением в окружающую среду и поэтому оказывает меньшее влияние на организм человека.

В таблице приведены экспериментальные результаты определения концентрации хлороформа, содержащегося в воде при растворении в ней химических реактивов: Хлорификса (Германия), стабилизирующего хлора СТХ-250 (Испания) и Хлоритекса (Россия) – при различных температурах в интервале от 25 до 45°С. Как видно из таблицы, содержание хлороформа в воздушной среде существенно зависит от температуры практически для всех исследуемых соединений.

Для выявления характера этого влияния был построен график зависимости концентрации хлороформа, мигрирующего в воздушную среду от температуры (рис. 3).

Как видно из рисунка, для всех исследуемых соединений наблюдается линейная зависимость концентрации хлороформа в воздушной среде от температуры в области от 25 до 45 °С. При температуре, равной 25 °С, все экспериментальные точки группируются близко друг к другу в сравнительно узкой области, и при данной температуре концентрация хлороформа не превышает 10 мг/л. При повышении температуры до 45 °С концентрация хлороформа существенно повышается, при этом в разной степени для всех исследуемых соединений. Наиболее существенно повышается концентрация СТХ – 250 (Испания) и хлоритекс (Германия), когда она при t = 45 °С достигает величины 60 мг/л. При этом во всех случаях наблюдается линейная зависимость концентрации от температуры, и она определяется природой изученных соединений и соответствует коэффициенту распределения хлороформа в системе жидкость – газ [5]. Во всех случаях достижение равновесия наступает через 20 минут после начала эксперимента.

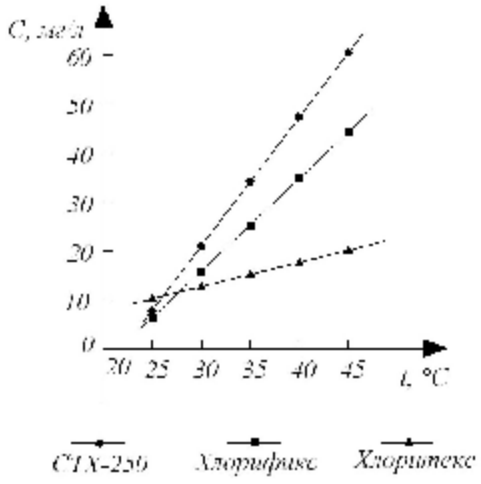


Рис. 3. Зависимость концентрации хлороформа, мигрирующего в воздушную среду с водной поверхности, от температуры

В соответствии с теорией парофазного анализа в системе водная – газовая фаза реализуется равновесное насыщение, когда концентрация компонента в экстрагируемом из водной фазы газе (хлороформ), выходящем из экспериментальной установки, связаны между собой простейшей зависимостью [11]

$$C_g = KC_o, \qquad (7)$$

где C_g – концентрация хлороформа, выходящего из установки, C_o – концентрация хлороформа в водной

среде, K – коэффициент межфазного распределения хлороформа между газовой и жидкой фазами. В этом случае режим равновесного насыщения может быть выполнен при условии:

$$W_i / W_g > z + K, \quad (8)$$

где W_i и W_g – объемные скорости потока водной пробы и газа – экстрагента (воздуха) через экспериментальную установку, K – коэффициент распределения хлороформа в системе газовая – водная фаза, z – параметр, который учитывает размытие зоны выделяемого хлороформа в установке (численное значение этого параметра равняется приблизительно коэффициенту распределения между газовой и жидкой фазами).

При этом коэффициент межфазного распределения хлороформа в изученной системе можно определить в соответствии с работой [9]:

$$K = n_k / n_w, \quad (9)$$

где K – коэффициент межфазного распределения хлороформа между газовой и жидкой фазами, n_k и n_w – молярная доля при равновесии микроконцентрации хлороформа в газовой и водной фазами соответственно. При концентрировании хлороформа, при выполнении условия, когда n_k d" 1 между коэффициентом распределения K_a, которая равна отношению равновесных концентраций компонентов в данной системе фаз, имеется соотношение:

$$K = K \quad {}_w M_k (\ {}_k M_w), \quad (10)$$

где c_w и c_k – плотность воды и концентрата соответственно; M_w и M_k – молекулярная масса воды и концентрата.

В этом случае необходимым условием является линейность изотермы распределения хлороформа между жидкой и газовой фазами.

Установлена линейная зависимость концентрации хлороформа, мигрирующего в воздушную среду из водных растворов хлорирующих реагентов. Показано, что при повышении температуры эксперимента содержание газообразного хлора и хлороформа в воздушной среде возрастает, что ухудшает экологическое состояние плавательного бассейна. Из исследуемых хлорирующих препаратов для обработки воды плавательных бассейнов можно рекомендовать «Хлоритекс» (Россия) и «Хлорификс» (Германия). При этом применение препарата Хлоритекс, изготовленного в России, более предпочтительно, так как он обладает наиболее низкой миграцией хлора в окружающую среду, что повышает экологическую безопасность при его использовании.

Литература

1. Каратаев О.Р., Волоцкой А.Д., Перикова Е.С. Плавательные бассейны. Проектирование, строительство, оборудование и эксплуатация // Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2006. – 132 с.
2. Гладков В.Н. Заболеваемость пловцов //Плавание. Информационный сборник, 1998, № 2.
3. Иксанова Т.И., Малышева А.Г., Растянников Е.Г., Егорова Н.А., Красовский Г.Н., Николаев М.Г. Гигиеническая оценка комплексного действия хлороформа питьевой воды // «Гигиена и санитария», 2006, № 2. – С. 8-11.
4. Левандо В.А., Левандо А.М., Левандо Г.А. Некоторые особенности диагностики и лечения заболеваний верхних дыхательных путей и органов слуха у спортсменов водного спорта // Теор. и практ. физич. культуры, 1970, № 6. – С. 68-69.
5. Малышева А.Г. Закономерности трансформации органических соединений в окружающей среде // Гигиена и санитария, 1997, № 3. – С. 5-10.
6. Виттенберг А.Г., Иоффе Б.В. Газовая экстракция в хроматографическом анализе. – Л.: Химия, 1982. – 280 с.
7. Москвин Л.Н., Родинков О.В., Ли Бухай. Определение бензола, толуола, хлороформа и тетрахлорида углерода в водных растворах методом хроматомембранного парофазного анализа с газоадсорбционным концентрированием // Ж. анал. Химии, 1998, т. 53, № 11. – С. 1174-1179.
8. Heildesheim M.E. Cantor K.P.. Lynch C.F. et al. // Epidemiology, 1998, vol. 9, № 1. – P. 20-35.
9. Levesque V., Ayotte P., Lebbenc A..et all// Envison Hith Perspect, 1994, vol. 102, № 12. – P. 1082-1087.
10. Дударе А.А., Крупкин Г.Я., Турубаров В.И., Бурцов С.И., Карцев В.В., Никитина В.Н., Дубейковского Л.С., Маркова О.Л. Комплексный подход к гигиенической оценке и управлению качеством воздушной среды современных офисных помещений // Журнал «Медицина труда и промышленная экология», 2004, № 1. – С. 37-40.
11. Харшат И.С. Обеззараживание воды в закрытых плавательных бассейнах электролитическими растворами меди, хлормедью и солями меди // Теория и практика физической культуры, 1958, т. XXI, вып. 12. – С. 940-944.

УДК 628.258:625.1/5

А.С. Степанов – аспирант
Самарский государственный архитектурно-строительный университет (СГАСУ)

БИОМЕМБРАННАЯ И БИОСОРБЦИОННО-МЕМБРАННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД НЕФТЕХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

АННОТАЦИЯ

В данной работе проведены длительные исследования пилотных установок биомембранной и биосорбционно-мембранной очистки на реальных сточных водах нефтехимического производства. Проведена сравнительная оценка мембранных биореакторов с традиционной системой биологической очистки. Получены технологические расчетные параметры процессов очистки в биомембранном реакторе и доочистки в биосорбционно-мембранном реакторе сточных вод нефтехимического комбината. Показано, что мембранные биотехнологии обеспечивают чрезвычайно высокую степень очистки при очень высокой стабильности и устойчивости процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Очистка сточных вод нефтехимического производства, биомембранный реактор, биосорбционно - мембранный реактор, МБР, БМР, мембранные технологии.

A.S. Stepanov – post-graduate student
Samara State Architecturally-Building University (SSABU)

OIL-CONTAINING WASTEWATER TREATMENT BY USING BIOMEMBRANE AND BIOSORPTION-MEMBRANE METHODS

ABSTRACT

Long-time research of pilot biomembrane and biosorption-membrane devices cleaning on real sewage of petrochemical manufacture are carried out. The comparative estimation of membrane bioreactors with traditional system of biological purification is made. Technological calculation parameters of treatment processes in biomembrane reactor and additional cleaning in biosorption-membrane reactor of petrochemical plant sewage are received. It is shown, that membrane biotechnologies provide an extremely high extent of cleaning at very high level of process stability.

KEYWORDS: Oil-containing wastewater treatment, biomembrane reactor, biosorption-membrane reactor, MBR, BMR, membrane technologies.

Основная цель данной работы – проведение исследований по биологической очистке и доочистке сточных вод нефтехимического производства с использованием мембранных и биосорбционных технологий для определения эффективности этих процессов. Исследования были проведены на реальной сточной воде ЗАО «Новокуйбышевская нефтехимическая компания» (ЗАО «ННК»), г. Новокуйбышевск.

Как правило, очистные сооружения нефтехимических производств работают с недостаточной эффективностью. Обеспечение установленных нормативов по всем загрязняющим компонентам сточных вод может быть достигнуто применением гибридных биомембранных и биосорбционно-мембранных установок, сочетающих процессы биохимического окисления и мембранной фильтрации. Гибридные биомембранные технологии позволяют максимально использовать потенциальные возможности биологических процессов и мембранного фильтрования, исключив при этом их недостатки. Мембраны используются не для удаления исходных загрязнений, а для задержания биомассы в биореакторе (аэротенке) [1].

Использование микро- или ультрафильтрационных мембран на стадии биологической очистки в составе мембранных биореакторов (МБР) исключает вынос микроорганизмов из системы, создавая условия для многократного увеличения концентрации активной биомассы, автоселекции и адаптации микроорганизмов [2, 3]. Это позволяет отказаться от ступеней отстаивания и фильтрования в существующих схемах обработки сточных вод [4]. Кроме того, происходит частичное обеззараживание очищенной воды [5]. В результате производительность очистных сооружений может быть увеличена в 1,5-2 раза при существенном улучшении показателей очищенной воды.

Применение микрофильтрационных мембран в сочетании с биосорбционными процессами с использованием порошкообразного активированного

угля (ПАУ) в биосорбционно-мембранном реакторе (БМР) на стадии глубокой очистки обеспечивает удаление основных и специфических органических загрязнений (нефтепродукты, фенол, СПАВ и т.д.), а также соединений азота до уровня ПДК рыбохозяйственных водных объектов. При этом затраты на регенерацию сорбента отсутствуют, что обусловлено протеканием биологической регенерации угля микроорганизмами, иммобилизованными на его поверхности [6-8]. Биосорбционный метод доочистки сточных вод, основанный на совмещении в одном сооружении процессов адсорбции загрязнений активированным углем и их биологического окисления (биорегенерация сорбента), обеспечивает эффективное удаление из сточных вод на стадии доочистки как биоразлагаемых, так и биорезистентных, токсичных и канцерогенных веществ, таких как: нефтепродукты, детергенты, хлорорганические и фосфорорганические соединения и др., – что недостижимо традиционными методами доочистки.

Для выполнения исследований на очистных сооружениях ЗАО «ННК» в 2007 г. были смонтированы и запущены в работу две экспериментальные установки.

Экспериментальные исследования на пилотных биомембранных и биосорбционно-мембранных реакторах на реальных сточных водах позволяют определить следующие технологические параметры работы сооружений биологической очистки:

глубину очистки по основным и специфическим загрязняющим компонентам;

период аэрации в реакторах;

дозу ила (концентрацию активного ила в иловой смеси);

время пребывания очищаемой воды и количества порошкообразного активированного угля в биосорбционно-мембранном реакторе;

гидравлические характеристики процесса мембранной фильтрации.

В результате эксперимента на пилотных установках возможно практически полностью смоделировать условия функционирования активного ила и «биоактивного» активированного угля как в модели, так и в реальном сооружении. На сооружения реального масштаба (практически без корректировки) могут быть перенесены характеристики активного ила (иловый индекс, доза ила и т.д.), «биоактивного» активированного угля (количество, сорбционные характеристики), а также кинетические параметры процесса (удельная скорость окисления, окислительная мощность), позволяющие рассчитать сооружения до любой заданной степени очистки по каждому ингредиенту загрязнений (ХПК, БПК, соединениям азота и специфическим загрязнениям).

Технология биологической очистки с МБР была реализована в аэротенке с установленным в нем мембранным модулем для отделения очищенной воды от активного ила (вместо вторичного отстойника). Конструктивно аэротенк был выполнен в виде колонки рабочим объемом 3,0 л. На первом этапе на установку подавались производственные сточные воды завода (ПСВ) после первичных отстойников без добавления городских сточных вод, на втором этапе – смесь стоков завода и городских сточных вод (ПСВ+ГСВ). В обоих случаях продолжительность аэрации составляла 12 ч.

Биосорбционно-мембранная технология была реализована на установке с объемом реактора 0,7 л. На БМР подавалась биологически очищенная сточная вода после вторичных отстойников действующих очистных сооружений. Концентрация ПАУ в реакторе поддерживалась в пределах 10-20 г/л. Продолжительность обработки составляла 2,8 ч.

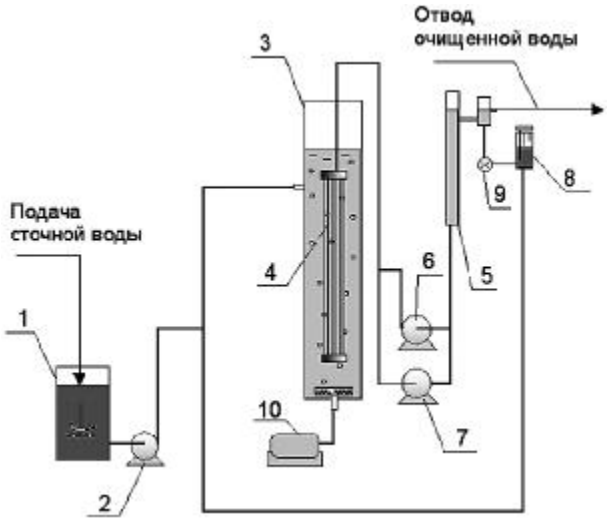


Рис. 1. Принципиальная схема пилотной установки № 1:
1 – Бак исходной сточной воды;
2 – Насос подачи сточной воды;
3 – Мемборанный биореактор; 4 – Мембранный блок;
5 – Резервуар очищенной воды;
6 – Насос откачки пермиата;
7 – Насос подачи промывной воды; 8 – Датчик уровня;
9 – Электромагнитный клапан; 10 – Компрессор

Мембранный модуль в обеих установках был изготовлен из половолоконных микрофильтрационных мембран с размером пор 0,2 мкм. Производительность обеих установок – 6,0 л/сут, площадь поверхности мембран в каждой установке – 0,05 м^2. Очищенная сточная вода отделялась от иловой смеси на половолоконной мембране и откачивалась в резервуар очищенной воды за счет разряжения, создаваемого пермеатным насосом. Периодически по сигналу таймера запускался промывной насос с одновременным отключением пермеатного насоса, и осуществлялась обратная промывка мембраны для восстановления ее производительности. Вода для промывки отбиралась из резервуара очищенной воды.

Для регулирования гидравлического режима работы реакторов с мембранной фильтрацией установки были оборудованы системой контроля и управления уровнем воды, включающей датчик уровня и электромагнитный клапан. В реакторы непрерывно компрессором подавался воздух для аэрации и гидродинамической регенерации мембран.

Лабораторная установка (рис.1) работала по следующей схеме. Исходная сточная вода заливалась в бак (1), оборудованный механической мешалкой для исключения осаждения взвешенных веществ. В схеме с МБР заливали промсток или его смесь с городскими сточными водами, а в схеме с БМР – очищенную воду после существующих сооружений предприятия. Вода из бака (1) насосом (2) подавалась в мембранный биореактор [в биосорбционный реактор] (3), где происходило окисление всех основных загрязняющих веществ. Очищенная сточная вода отделялась от иловой смеси на половолоконной мембране (4) и откачивалась в резервуар очищенной воды (5) насосом (6), откуда отводилась из установки. Периодически по сигналу от таймера производился запуск насоса (7) с одновременным отключением насоса (6) и осуществлялась обратная промывка мембраны для восстановления ее производительности. Вода для промывки отбиралась из резервуара очищенной воды (5). Для регулирования гидравлического режима работы аэротенка с мембранной фильтрацией установка была оборудована системой контроля и управления уровнем воды, включающей датчик уровня (8) и электромагнитный клапан (9). В реактор непрерывно микрокомпрессором (10) подавался воздух для аэрации, поддержания ила [ПАУ] во взвешенном состоянии и гидродинамической регенерации мембран. Для сокращения сроков выхода аэротенка на установленный технологический режим работы при пуске МБР в работу в аэротенк был добавлен активный ил из действующих аэротенков очистных сооружений ЗАО «ННК».

На основании данных, полученных в ходе исследований по очистке производственных сточных вод нефтехимического производства в МБР, как отдельно, так и в смеси с городскими стоками, были определены кинетические параметры процессов. На рисунке 2 представлена зависимость удельной скорости окисления органических загрязнений по ХПК от качества очищенной воды при концентрации активного ила для очистки промстока – 3,1 г/л, для очистки смеси производственных и городских сточных вод – 2,5 г/л. Ход кривой на рисунке 2 указывает, что зависимость удельной скорости окисления для двух режимов описывается единой кривой.

На рисунке 3 представлена кинетика нитрификации для режимов работы установки на промстоке и на смеси, полученная для концентрации активного ила в реакторе, соответственно 3,0 и 2,5 г/л.

Ход кривых на рисунке 3 показывает, что зависимость удельной скорости нитрификации от содержания аммонийного азота в очищенной воде для каждого из режимов в диапазоне представленных концентраций может быть описана уравнением Михаэлиса-Ментен:

$$r = V_{\max}\frac{S}{S+K_m},$$

где: с – удельная скорость окисления, мг/(г • ч);
S – концентрация субстрата, мг/л;
Vmax – максимальная скорость окисления, мг/(г • ч);
Km – константа Михаэлиса, мг/л.

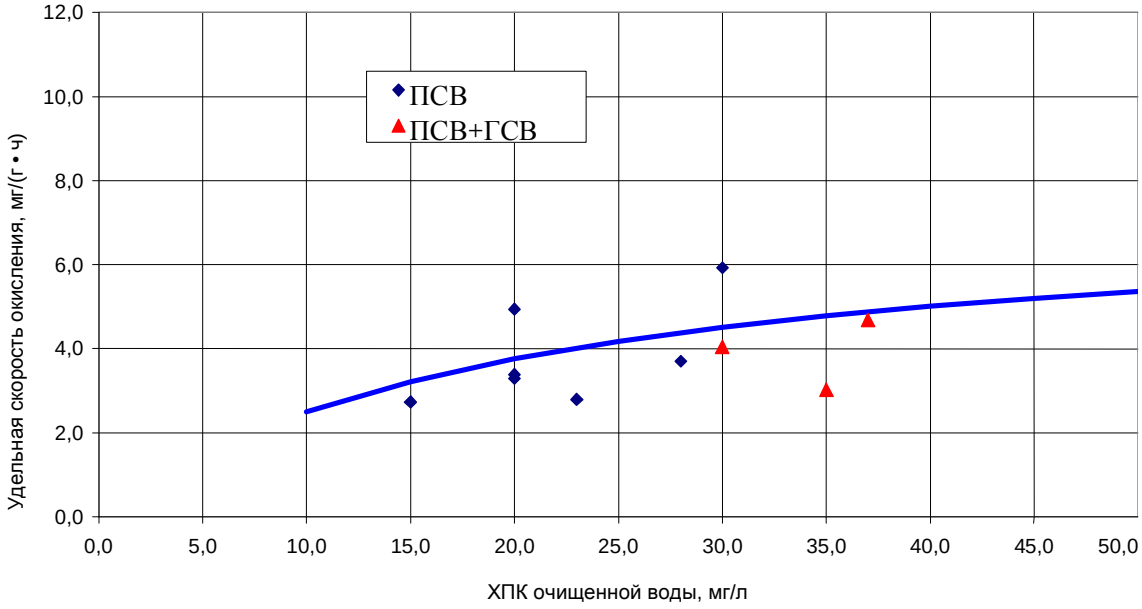


Рис. 2. Кинетика окисления органических загрязнений по ХПК в МБР

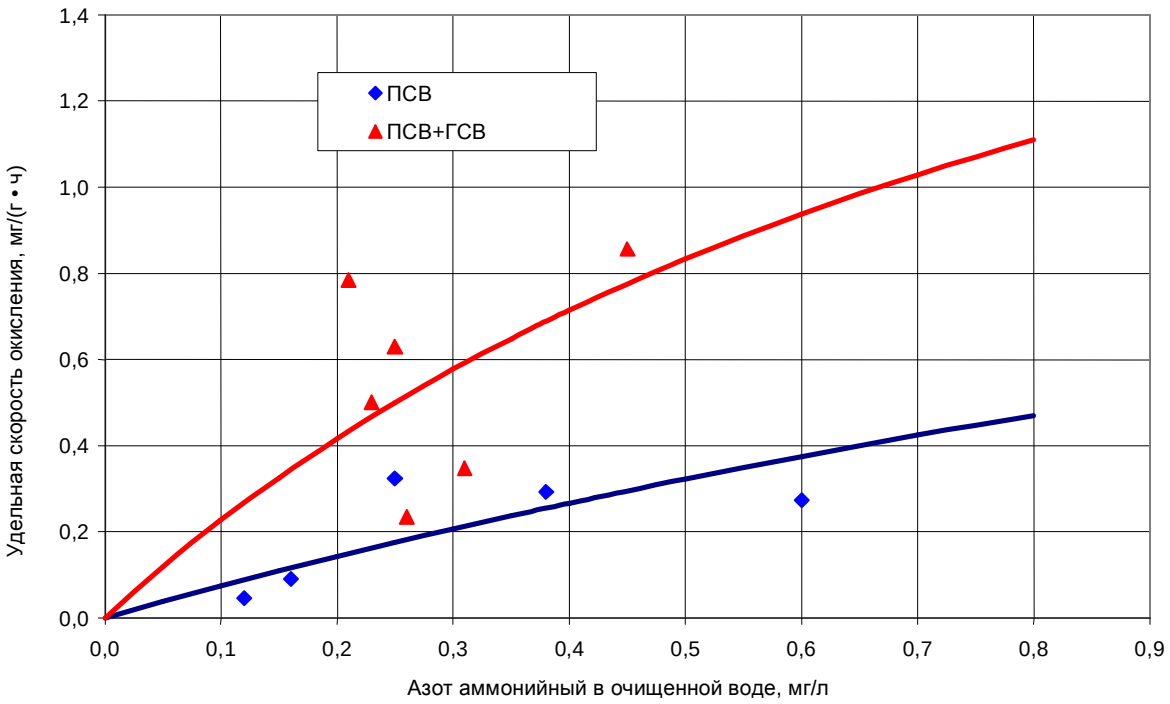


Рис. 3. Кинетика нитрификации в МБР

В таблице 1 представлены значения кинетических констант процесса нитрификации для каждого из режимов.

Анализируя данные таблицы 1, можно отметить, что при подаче на установку сточных вод ЗАО «ННК» с добавлением городских сточных вод (ПСВ+ГСВ) максимальная удельная скорость нитрификации возрастала, при этом снижалось значение коэффициента Km. На основании этого можно заключить, что в промышленном стоке, по-видимому, содержались вещества, тормозящие процесс нитрификации, а добавление городских сточных вод снижало степень ингибирования процесса нитрификации.

Данные эксплуатации пилотных установок позволили получить расчетные удельные скорости окисления нефтепродуктов, АПАВ и фенола. Удельная скорость окисления нефтепродуктов при концентрации их в очищенной воде 0,049 мг/л составляла 0,03 мг/(г • ч). При концентрации АПАВ в очищенной воде 0,036 мг/л удельная скорость окисления равнялась 0,0054 мг/(г • ч).

Данные эксплуатации пилотного МБР показали, что эффективность удаления фенола на каждом из режимов работы достигала 99,9 %. При этом удельная скорость окисления фенола в ПСВ составила 0,018 мг/(г • ч), в смеси ПСВ и ГСВ – 0,012 мг/(г • ч), при средней концентрации фенола в очищенной воде 0,0001 мг/л.

Одновременно с исследованиями по очистке сточных вод на МБР проводились эксперименты по доочистке биологически очищенных сточных вод на биосорбционно-мембранном реакторе. На установку БМР подавался объединенный поток производственных стоков нефтехимического производства и городских сточных вод, прошедший сооружения биологической очистки ЗАО «ННК».

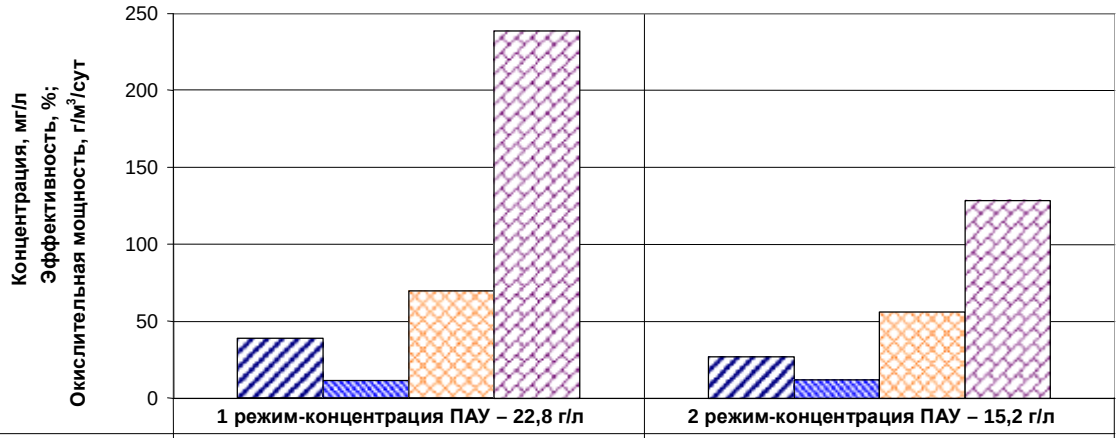
Значение ХПК исходной воды, подаваемой на установку БМР, изменялось от 25 до 58 мг/л. Средняя величина ХПК очищенной воды не превышала 18 мг/л, а БПКполн в среднем составляло 1,79 мг/л. По данным разовых анализов, проведенных лабораторией НИИ ВОДГЕО, БПК5 очищенной на установке БМР воды не превышало 0,5-1,0 мг/л.

Данные эксплуатации пилотной установки БМР позволяют выделить два основных режима ее работы, которые различаются концентрацией ПАУ в реакторе при неизменном времени пребывания обрабатываемой воды.

Таблица 1

Кинетические константы нитрификации в МБР

Режим работы	Скорость окисления Vmax, мг/(г • ч)	Константа Михаэлиса Km, мг/л
ПСВ	2,0	2,6
ПСВ+ГСВ	2,5	1,0



	1 режим-концентрация ПАУ – 22,8 г/л	2 режим-концентрация ПАУ – 15,2 г/л
ХПК - вход	38,8	26,7
ХПК - выход	11,0	11,7
Эффективность	69,8	55,9
ОМ	238,6	128,6

Рис. 4. Эффективность снижения органических загрязнений по ХПК и окислительная мощность для 1-го и 2-го режимов работы установки БМР

На рисунке 4 представлена эффективность снижения органических загрязнений по ХПК и окислительная мощность для каждого из режимов работы установки. Графики на рисунке 4 свидетельствуют, что 1-й режим работы (при концентрации ПАУ в реакторе 22,8 г/л) характеризовался более высокой эффективностью очистки по ХПК и большей окислительной мощностью, чем 2-й режим (при концентрации ПАУ в реакторе 15,2 г/л) при одинаковой глубине очистки.

Данные эксплуатации пилотной установки БМР показали, что в очищенной воде концентрация взвешенных веществ не превышала 0,1 мг/л.

Экспериментальные исследования, выполненные на пилотных установках по технологиям МБР и БМР, позволили определить эффективность использования мембранной фильтрации в сочетании с биологическими и биосорбционными методами очистки и доочистки сточных вод, поступающих на очистные сооружения предприятия нефтехимического производства.

В таблице 2 представлены средние концентрации загрязняющих компонентов сточной воды, поступающей на экспериментальные установки, средние концентрации загрязнений в очищенной сточной воде после установок в периоды стабильной их работы, а также установленные значения ПДС. Анализируя эти данные, можно заключить, что очищенная вода после МБР удовлетворяла установленным требованиям на сброс по основным показателям, кроме нефтепродуктов (для производственного стока), нитритов и анионоактивных ПАВ (АПАВ). Сравнивая качество очищенных производственных сточных вод (столбец 3) с качеством очищенной смеси производственных и городских стоков (столбец 5), можно сделать вывод о примерно одинаковой эффективности очистки для обоих случаев. Несколько лучшие результаты при очистке смеси производственных и городских стоков были получены по нефтепродуктам (ниже установленного норматива на сброс) и АПАВ.

Экспериментальные исследования также показали, что на биомембранных установках была достигнута более глубокая очистка по БПК, взвешенным веществам, нитратам, нитритам, фосфатам и АПАВ, чем на действующих сооружениях. В столбце 5 приведено качество очищенной воды после экспериментального МБР при работе на смеси производственных и городских сточных вод, а в столбце 6 – качество очищенной воды после действующих сооружений биологической очистки. Из этих данных видно, что при одинаковом качестве исходных сточных вод концентрация нефтепродуктов после МБР в 1,4 раза ниже, а концентрация АПАВ в 1,5 раза ниже, чем на выходе после действующих очистных сооружений.

Подобные исследования были проведены на Куйбышевском НПЗ (совместно с ОАО «НИИ ВОДГЕО»), результаты работы опубликованы в ВСТ [9], Новокуйбышевском НПЗ и Сызранском НПЗ (совместно с Zenon Europe Kft.). Результаты исследований по биологической очистке сточных вод нефтехимического производства ЗАО «ННК» опубликованы в сборнике научных трудов [10].

Выводы:

1. Впервые в России проведены длительные исследования пилотных установок МБР и БМР на реальных сточных водах нефтехимического

Таблица 2

Средние концентрации основных загрязнений в исходной и очищенной сточной воде, а также нормативные требования, мг/л

Показатели	Мембранный биореактор				Биосорбционно-мембранный реактор		ПДС
	ПСВ		ПСВ+ГСВ				
	исходная вода	очищенная вода	исходная вода	очищенная вода	исходная вода	очищенная вода	
1	2	3	4	5	6	7	8
$БПК_5$	-	< 3,0	-	< 3,0	-	< 1,0	3,0*
Взвешенные вещества	25,5	< 0,02	40	0,004	6,14	< 0,001	8,1
Азот аммонийный	2,61	0,30	5,91	0,24	0,18	0,1	0,39
Азот нитритов	0,22	0,027	0,33	0,031	0,044	0,02	0,02
Азот нитратов	0,029	6,4	отс.	8,2	9,8	11,7	9,0
Нефте-продукты	1,8	0,059	0,63	0,040	0,056	0,021	0,049
Фенол	0,57	отс.	0,23	отс.	отс.	отс.	0,0001 1
АПАВ	0,30	0,054	0,11	0,044	0,066	0,031	0,036

* БПКполн.

производства. Проведена сравнительная оценка мембранных биореакторов с традиционной системой биологической очистки. Получены технологические расчетные параметры процессов очистки в биомембранном реакторе и доочистки в биосорбционно-мембранном реакторе сточных вод нефтехимического комбината. Показано, что мембранные биотехнологии обеспечивают чрезвычайно высокую степень очистки при очень высокой стабильности и устойчивости процесса.

2. Технология МБР обеспечивает качество очищенной воды, соответствующее нормативам на сброс водоем рыбохозяйственного назначения по соединениям азота, взвешенным веществам и БПК. Значительно глубже происходит окисление в МБР нефтепродуктов и СПАВ. Окислительная мощность МБР в 1,5-2,5 раза выше, чем в традиционных аэротенках при более высоком качестве очищенного стока.

3. Качество очищенной воды после БМР (ступень доочистки) удовлетворяло установленным нормативам на сброс по всем основным показателям, кроме фосфора и азота нитратов. При этом для достижения норматива по фосфору требуется использование коагулянтов (железо- или алюминийсодержащих реагентов) на стадии биологической очистки, либо природных сорбентов, активных по отношению к фосфору. Превышение норматива по содержанию азота нитратов обусловлено присутствием остаточных концентраций органического азота в биологически очищенных сточных водах действующих очистных сооружений, что потребует на стадии биологической очистки сточных вод предусмотреть нитри-денитрификацию.

4. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности разработки на основе биомембранных и биосорбционно-мембранных технологий сооружений очистки сточных вод нефтехимического производства, обеспечивающих выполнение действующих нормативов по всем показателям.

Литература

1. Швецов В.Н. и др. Теоретические и технологические аспекты применения биомембранных технологий глубокой очистки сточных вод / В.Н. Швецов, К.М. Морозова, И.А. Нечаев, А.В. Киристаев, А.В. Киристаев // Водоснабжение и санитарная техника, 2007, № 1, ч. 1.
2. Швецов В.Н. и др. Перспективные технологии биологической очистки сточных и природных вод / В.Н. Швецов, К.М. Морозова, М.Ю. Пушников, А.В. Киристаев, М.Ю. Семенов // Водоснабжение и санитарная техника, 2005, № 12, ч. 2.
3. Швецов В.Н. и др. Теоретические и технологические аспекты применения биомембранных технологий глубокой очистки сточных вод / В.Н. Швецов, К.М. Морозова, И.А. Нечаев, А.В. Киристаев, А.В. Киристаев // Водоснабжение и санитарная техника, 2006, № 12.

4. Organic stabilization and nitrogen removal in a membrane separation bioreactor for domestic wastewater treatment / C. Chiemchaisri, Y.K. Wong, T. Urase, K. Yamamoto/ Water Sci. Technol, 1992, 25, № 231.
5. Aerobic MBRs for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations. M. Gander, B. Jefferson, S. Judd/ Sep. Purif. Technol, 2000, 18, № 119 (30).
6. Швецов В.Н., Морозова К.М. Биосорберы – перспективные сооружения для глубокой очистки природных и сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника, 1994, № 1.
7. Швецов В.Н., Морозова К.М. Глубокая очистка природных и сточных вод на биосорберах // Водоснабжение и санитарная техника, 1995, № 11.
8. Швецов В.Н. и др. Очистка природных вод на биосорбере в условиях низких температур / В.Н. Швецов, С.В. Яковлев, К.М. Морозова // Водоснабжение и санитарная техника, 1998, № 5.
9. Швецов В.Н. и др. Очистка нефтесодержащих сточных вод биомембранными методами / В.Н. Швецов, К.М. Морозова, М.Ю. Семенов, М.Ю. Пушников, А.С. Степанов, С.Е. Никифоров // Водоснабжение и санитарная техника, 2008, № 3.
10. Степанов А.С. Исследования процессов биологической очистки сточных вод нефтехимического производства // Совершенствование систем водоснабжения и водоотведения по очистке природных и сточных вод: межвузовский сборник научных трудов памяти академика РАН С.В. Яковлева. – Самара, 2008.

УДК 622.23:622.337.2

Р.Г. Газизуллин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой начертательной геометрии и графики
Е.В. Газизуллина – соискатель
Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД СЮКЕЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАТАРСТАНА

АННОТАЦИЯ

В статье даны физико-химические и механические характеристики горных пород. Приведены данные лабораторных испытаний черепков (кирпича), механические характеристики глин и битумоносных доломитов, химические свойства всех горных пород.

На основе изучения технологических характеристик горных пород даны рекомендации для производства различных строительных материалов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Технологическое, свойство, глина, гипс, известняк, битумоносный, доломит, строительный материал.

R.G. Gazizullin – doctor of technical sciences, professor, head of Coordinate Geometry and Graphic department
E.V. Gazizullina – competitor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

TECHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF BUILDING MINING ROCKS OF SJUKEEVSK DEPOSITS OF TATARSTAN

ABSTRACT

The physical-chemical and mechanical characteristics of mining rocks are stated. The lab data on testing of bricks' fragments, mechanical characteristics of clays and bituminous dolomites, chemical properties of all mining rocks are considered.

On the base of this research of technological characteristic of mining rocks the recommendations for different building materials' production are given.

KEYWORDS: Technological, property, clays, gypsum, limestone, bituminous, dolomite, building material.

В связи с острым дефицитом вяжущих, стеновых строительных и дорожных материалов в Татарстане в настоящее время актуальным становится вопрос об организации их производства на базе Сюкеевского месторождения полезных ископаемых.

Сюкеевское месторождение расположено в Камско-Устьинском районе Татарстана, на правом берегу реки Волги вниз по течению, длиной более 10 км и в ширину 5-5,5 км.

По характеру строения месторождение является уникальным, благодаря совместному залеганию непосредственно контактирующих друг с другом четырех мощных пологозалегающих и выдержанных в разрезе и на площади продуктивных горизонтов, представленных двумя пластами битумоносных доломитов со средней мощностью 9,8 м (нижний пласт) и 8,1 м (верхний пласт) и двумя пластами гипса. Нижний пласт гипса (средней мощностью 6 м) непосредственно лежит на верхнем пласте битумоносных доломитов. Верхний (около 9 м) перекрывает нижний битумоносный пласт. В доломитах верхнего пласта среднее содержание битума-мальты 4,7 %, а в нижнем – 2,75 % к массе породы. К тому же нижний пласт содержит гнездообразные включения самородной серы.

Вскрышные породы практически во всех вскрываемых разрезах представляют комплексное сырье для производства различных строительных материалов: почвенный слой (1 м); мергель и известняк (6,7 м); песчано-глинистые породы; известняк светло-серый тонкозернистый (5,2 м); глина красно-коричневая, довольно большой мощности (38,5 м).

В 1994 году под руководством профессора Р.Г. Газизуллина была организована геологическая партия в составе кандидатов геолого-минералогичесих наук А.М. Садреева, И.А. Мустафина, географа Р.Н. Фахрутдинова, которая провела геологическое изучение и уточнение всех маркирующих горизонтов. Из всех маркирующих горизонтов были взяты пробы около 3 тонн.

Нами вместе с преподавателями кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций КазГАСУ профессором Н.Е. Вороновским, доцентом В.И. Санниковой [1] в лабораторных условиях изучались технологические характеристики как полезных ископаемых, так и вскрышных пород.

Глины представлены разновидностями: суглинков пылеватых, темно-коричневых, плотных, пластичных, слабопесчаных, без включений, от соляной кислоты вскипающих; суглинков светлокоричневых, плотных, вязких, пластичных, слабопесчаных с редкими включениями, от соляной кислоты вскипающих; татарской красной глины.

Испытание этих образцов на пригодность для изготовления керамических изделий производилось параллельно на керамической лаборатории немецкой фирмы «Келлер» на основе договора о сотрудничестве, для чего нами были отправлены три мешка глин массой по 50 кг.

Определение гранулометрического, химического состава и испытание на прочность черепка лабораторных образцов проводились по стандартной методике. Результаты исследования приведены в таб. 1 и 2.

Как видно из таб. 1, по гранулометрическому составу и пластичности все исследуемые пробы данного месторождения делятся на: легкие суглинки, средние суглинки и супеси, а по химическому составу они являются обычными для кирпичных глин. Технологические пробы обладают средней чувствительностью к сушке ($К_{чув}$ = 1,27-1,31).

Подготовка глин для технологических испытаний производилась по стандартной методике. Из подготовленных глин и песка составлялись шихты различного состава. Прочность черепка лабораторных образцов, обожженных при температуре 950 °С, для чистых глин равна 127-131 кг/см^2, а при отощении: для шихт с 10 % песка 119-127 кг/см^2 и для шихт с 20 % песка 88-112 кг/см^2. По коэффициенту морозостойкости все образцы являются морозостойкими.

Эти же образцы глин были испытаны в керамической лаборатории немецкой фирмы «Келлер».

Образцы из коричневого суглинка сильно чувствительны при сушке, но их спекаемость очень хорошая, цвет после обжига темно-коричневый. По этой причине этот сорт был использован в рабочей массе в качестве добавки.

Образцы зеленого суглинка были настолько тощими, что изготовление заготовок было невозможным. В рабочей массе этот сорт был использован в качестве главного компонента.

Образцы татарского суглинка чувствительны при сушке и показали в процессе сушки высокий процент усадки. В рабочей массе этот сорт был использован с целью улучшения пластичности.

Таблица 1

Гранулометрический состав и пластичность глин

Содержание фракций, %				Пластичность	Число пластичности	Коэффициент чувствительности
Образцы суглинков	Песок 1-0,05 мм	Пыль 0,05-0,005 мм	Глина менее 0,005 мм	Верхний - нижний		
Татарский	14,75	66,21	19,04	31,3-16,9	14,47	1,27
Зеленый	14,0	72,4	13,60	32,5-16,8	13,77	1,31
Коричневый	19,0	67,17	13,83	31,3-16,9	43,47	1,23

Таблица 2

Химический состав глины и мергеля

Образцы	SiO_2	Al_20_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	ППП	Сумма
Татарский	65,12	12,50	4,36	5,37	1,76	0,07	9,04	98,22
Зеленый	63,60	12,50	3,96	5,94	1,85	0,09	10,49	98,42
Коричневый	62,71	13,05	5,10	4,56	2,12	0,21	7,82	95,57
Мергель	35,64	13,72	4,33	12,04	9,55	0,18	21,2	96,66

Желтый суглинок оказался слишком тощим и не пригодным для изготовления образцов. Он использовался в рабочей массе в качестве отощающей добавки.

Для технологических испытаний были изготовлены два образца черепков: М1 – состав 40 % зеленый суглинок, 25 % татарский суглинок и 35 % коричневый суглинок; М2 – состав 60 % зеленый суглинок, 10 % татарский суглинок и 20 % желтый суглинок.

Данная масса М1 очень чувствительна к сушке, процент усадки в процессе сушки очень высокий и составляет 9,3 %, что является неблагоприятным для приготовления образцов. Цвет образцов после обжига был теплым кирпично-красным и звучание хорошим. Выцветания в процессе сушки не наблюдались. Для достижения оптимального времени сушки и обжига были проведены испытания еще одной массы другого состава М2.

Испытания показали, что состав М2 более качественный, чем состав М1. Цвет образцов после обжига был теплым кирпично-красным и звучание хорошим. Брак в процессе обжига не наблюдался.

В зависимости от температуры обжига цвет менялся при температурах: 1020 °С – оранжево-красный, 1060 °С – красно-коричневый, 1080 °С – коричневый.

Наличие разных сортов глин позволяет, как показывают технологические испытания, создать производство керамических изделий.

Образцы гипса и битумоносных доломитов были взяты на выходах пластов у берега Волги. Содержание битума не превышало 1-2 %. Битумоносный доломит довольно крепкий. Физико-механические характеристики определялись в лаборатории треста «Каздорстрой» (таб. 3).

Прочность битумоносных доломитов определялась двумя способами: по дробимости щебня при сжатии в цилиндре и кубиков (2х2х2 см) на гидравлическом прессе (таб. 4).

Гипсы по химическому составу (таб. 5) соответствуют ГОСТ 4013-74 для производства вяжущих материалов второго (верхний пласт) и третьего сортов (нижний пласт). Содержание $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ колеблется от 87,3 до 100 %, плотность 2,3 г/см^3. По технологическим свойствам вяжущие, полученные из гипса обоих пластов, относятся к марке Г-4 по ГОСТ 125-79, нормально и быстротвердеющие (таб. 5).

Дробимость битумоносного щебня при сжатии в цилиндре определялась из выражения:

$$Др = \frac{400 - 330,9}{400} \text{ x } 100\% = 17,3\,\%,$$

марка щебня М600,

где: 400 – навеска на сите 5 мм,

330,9 – остаток на сите 1,25 мм.

Как видно из таб. 3 и 4, механические прочности битумоносных доломитов довольно высокие и позволяют использовать его как щебень для дорожного покрытия [2].

Химический состав гипса, известняка и битумоносных доломитов приведен в таб. 5.

Для использования битумоносных доломитов в качестве заполнителя силикатной смеси определялось содержание в них только CaO и MgO, которые являются главными компонентами.

Кандидатом технических наук, доцентом В.И. Санниковой проводилось исследование битумоносных доломитов после соответствующей подготовки в двух направлениях:

1. Битумоносные доломиты вводились в состав силикатной массы в качестве наполнителя;

2. Применение битумоносных доломитов после обжига в качестве заменителя извести в известково-кремнеземистом вяжущем.

Результаты исследования показали возможность использования битумоносных доломитов до 50 % в составе наполнителя силикатной смеси. При этом наблюдалось повышение сырцовой прочности в два раза с 3,7 до 6,96 кг/см^2.

Таблица 3

Гранулометрический состав битумоносных доломитов

Показатели	Месторождение Сюкеевское							Марка щебня
Сито, мм	40	20	10	5	2,5	1,25	< 1,25	600
Масса, г	90	620	760	620	420	80	410	
Содержание, %	3	20,6	25,3	20,6	14	2,7	13,8	

Таблица 4

Прочностные характеристики битумоносных доломитов на одноосное сжатие

Доломиты	Содержание битума, %	Усилие, кгс	Усилие, кгс	Усилие, кгс	Средние, кгс	$R_{сж}$, кг/см^2
Образец 1	1,39	1650	1900	1690	1746,7	436,7
Образец 2	1, 82	1520	2200	1860	1860	465,0

Таблица 5

Химический состав пород

Порода	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	ППП	Сумма, %
Известняк	7,58	2,80	0,9	38,84	8,40	0,28	38,81	97,64
Гипс		R_2O_3 0,13		32,46	0,15	46,1	20,95	99,79
Битумо-носный доломит	CO_2 0,3-2,6	0,8-1,1	0,28-4	28,5-44,5	6,5-19,1	0,18-0,25	43,8-51,6	99,35-99,92
Обожженный битумоносный доломит				80,8	1,90			

Таблица 6

Результаты испытания силикатного кирпича

Показатели	Контрольный образец	Состав на основе обожженного битумоносного доломита
$R_{сыр}$, кг/см^2	4,3	4,6
$R_{сж}$, кг/см^2	153,2	170,4
Морозостойкость, цикл	35	35

Марка кирпича 250, хорошего качества, кирпич однородный по структуре. Величина морозостойкости увеличивалась с Мрз 35 до Мрз 50. Видимо, здесь свою роль сыграло наличие в доломитах природных битумов, которые обладают огромной силой адгезии, т.е. липкостью. Благодаря молекулярным силам, битум способен устойчиво схватываться с материалом, на который он наносится.

Обожженный битумоносный доломит, содержащий по химическому составу

CaO + MgO = 82,7 % (CaO – 80,8 % и MgO – 1,9 %),

использовался в качестве извести в составе силикатной массы. Результаты испытания приведены в таб. 6.

Как видно из таб. 6, образцы силикатного кирпича на основе разработанной силикатной массы не уступают по своим свойствам образцам заводской рецептуры.

Обожженный битумоносный доломит также может быть использован в качестве извести в составе известково-кремнеземнистого вяжущего.

Кроме того, битумоносные доломиты могут быть использованы в производстве железорудных окатышей [3].

Нами составлена программа трехкомпонентной смеси для производства цемента и просчитаны различные варианты по химическим составам: глина-мергель-известняк; глина-мергель-битумоносный доломит; глина-мергель-обожженный битумоносный доломит; глина-известняк-битумоносный доломит. В результате получены следующие показатели портландцемента: коэффициент насыщения $К_н$ = 0,89…0,90; силикатный модуль n = 2,2…2,4; глиноземный модуль p = 1,9…2,6.

Таким образом, вскрышные породы и полезные ископаемые (гипс и битумоносные доломиты) Сюкеевского месторождения являются комплексным сырьем для изготовления различных строительных материалов.

Литература

1. Вороновский Н.Е., Газизуллин Р.Г., Каймаков А.И. Исследование и модификация глин Сюкеевского месторождения // Сб. научных трудов «Материалы республиканской научной конференции. Строительство и архитектура». – Казань: КГАСА, 1996. – С. 20-23.
2. Газизуллин Р.Г. Дорожно-строительные горные породы Республики Татарстан // Известия КазГАСУ, 2007, №1 (7). – С. 79-81.
3. Газизуллин Р.Г. Комплексное использование битумоносных пород // Горный журнал, 1996, № 7-8. – С.73-75.

УДК 691: 621.375.826

В.С. Голубев – доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора
Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН (ИПЛИТ РАН)
Р.К. Сафиуллин – доктор физико-математических наук, профессор
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ПРИМЕНЕНИЕ МОЩНЫХ CO_2-ЛАЗЕРОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

АННОТАЦИЯ

Со времени открытия CO_2-лазера в 1964 году мощность CO_2-лазеров увеличилась на 7-8 порядков и достигла более 100 кВт в непрерывном режиме. В настоящее время CO_2-лазеры широко применяются для лазерной резки, сварки, перфорации, лазерной модификации поверхностей обрабатываемых материалов, для лазерной стереолитографии и в медицине. В статье описываются конструкции ряда мощных CO_2-лазеров и многочисленные области их применения для обработки различных материалов и изделий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: CO_2-лазер, лазерная резка, лазерная сварка, лазерная стереолитография.

V.S. Golubev – doctor of physical-mathematical sciences, professor, deputy director
Institute on Laser and Information Technologies RAS (ILIT RAS)
R.K. Safiullin – doctor of physical-mathematical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

APPLICATION OF HIGH POWER CO_2 LASERS FOR PROCESSING OF MATERIALS AND MANUFACTURES

ABSTRACT

From the first time of CO_2 lasers appearance in 1964 the output of continuous wave CO2-lasers has increased up to hundred millions times and has achieved more than 100 kW. Nowadays the CO_2 lasers are employed for laser cutting, laser welding, laser perforation, for laser surface modification of materials, for laser stereolithography, and in medicine. In the paper the constructions of several powerful CO_2 lasers are described as well as the numerous applications of CO_2 lasers for processing of various materials and manufactures.

KEYWORDS: CO_2-laser, laser cutting, laser welding, laser stereolithography.

С момента открытия CO_2-лазера прошло 45 лет. За этот отрезок времени мощность CO_2-лазеров в непрерывном режиме увеличилась в десятки миллионов раз: от единиц мВт до сотен кВт. Во многих странах уже созданы обрабатывающие технологические центры, в состав которых входят лазеры мощностью свыше 1 кВт [1-10]. Большой интерес представляют лазеры мощностью 5 кВт и выше, которые эффективно используются для сварки, резки, перфорации и модификации поверхности различных материалов. В этом диапазоне мощностей наиболее оптимальными по совокупности технических и экономических параметров оказались газоразрядные быстропроточные CO_2-лазеры.

В России для промышленного освоения были разработаны лазерные технологические установки мощностью 5 кВт и выше: ТЛ-5, ЛОКОН, ЛАНТАН, CO_2-ЭИЛ и др. [1, 2].

Основными зарубежными организациями, разрабатывающими мощные лазеры и лазерные технологические комплексы, являются следующие фирмы: в США – “Spectra Physics”, в Англии – “Culham Laboratory” и “Ferranty”, в Японии – “Mitzubishi”, в Италии – “CISE”, в Болгарии – “ДСО “Металлхим”, в ФРГ – “Oriel” (совместно с “Photon Sources”, США). Из образцов зарубежной лазерной техники следует отметить лазеры CL-5 и CL-10, разработанные в “Culham Laboratory” (Англия); лазер фирмы “CISE” (Италия); лазеры M973 и M975 фирмы “Spectra Physics” (США); японский пятикиловаттный лазер C-65 (фирма “Heraeus”). Сведения о других современных мощных лазерных комплексах приведены в [1-10]. Все перечисленные лазеры отличаются высоким качеством излучения и стабильностью.

1. Конструкции и важнейшие параметры современных CO_2-лазеров

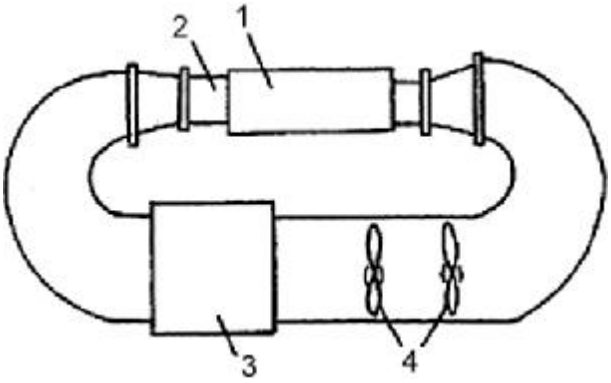


Рис. 1. Лазер “Лантан”
1 – разрядная камера; 2 – диэлектрические переходники; 3 – теплообменник; 4 – вентиляторы

Ниже кратко описаны конструкции и важнейшие параметры некоторых из упомянутых лазеров.

Принципиальная схема лазера ЛАНТАН [1, 11, 12] показана на рис. 1. Газ в замкнутом контуре прокачивается двумя вентиляторами, работающими параллельно. Скорость газа в камере около 90 м/с (7500 об/мин) и 60 м/с (6000 об/мин). Перед входом в камеру установлен турбулизатор в виде трубки диаметром 15 мм, расположенный в среднем сечении по всей ширине камеры. Поток газа входит в камеру через диэлектрический переходник-конфузор. Такой же переходник-диффузор расположен на выходе из камеры. Охлаждение газа, нагретого в камере разрядом, происходит в теплообменнике. Ток основного разряда, осуществляющего накачку лазера, течет вдоль потока газа между электродами, расположенными на входе и выходе газа из разрядного объема. Электроды представляют собой медные водоохлаждаемые трубки. Трубка, расположенная вверх по потоку, постоянно заземлена. К другой трубке подводится либо постоянное, либо импульсное напряжение от источника питания. Расстояние между электродами вдоль потока – 16 см. Весь разрядный объем заключен между диэлектрическими пластинами, на которые подаются короткие высоковольтные импульсы. В результате в газе между обкладками возникает импульсно-периодический емкостный разряд. Отличительной особенностью данного способа ионизации газа является высокая однородность концентрации электронов во всем объеме. Для получения непрерывного излучения импульсы ионизации подаются с частотой несколько кГц, а к аноду прикладывается постоянное напряжение. Соотношение мощности, потребляемой ионизацией и основным разрядом, составляет около 1:25. В непрерывном режиме основной разряд несамостоятельный.

В излучателе ЛАНТАНа используется пятипроходный устойчивый резонатор. Радиус кривизны глухого зеркала 20-25 м. Излучение выводится через окно из ZnSe. Поворотные и глухое зеркала медные. Резонатор в целом имеет высокую стабильность. Расходимость излучения $2 \cdot 10^{-3}$ рад. Лазер работает на смеси газов $CO_2/N_2/He$ = 7.7/15.4/76.9 при общем давлении смеси 40 Торр. Установка может работать на безгелиевых смесях.

На рис. 2 представлен промышленный образец технологического лазера ЛТ-1 [13]. Он представляет собой быстропроточный CO_2-лазер с замкнутым газодинамическим контуром, по которому газ прокачивается перпендикулярно оптической оси и электрическому полю. Для вывода излучения используется окно диаметром 50 мм из KCl. При общем рабочем давлении 40-60 Торр и составе газовой смеси $CO_2/N_2/He$ = 1/2/20 достигается длительная непрерывная генерация излучения в течение 5-6 часов мощностью до 5,2 кВт.

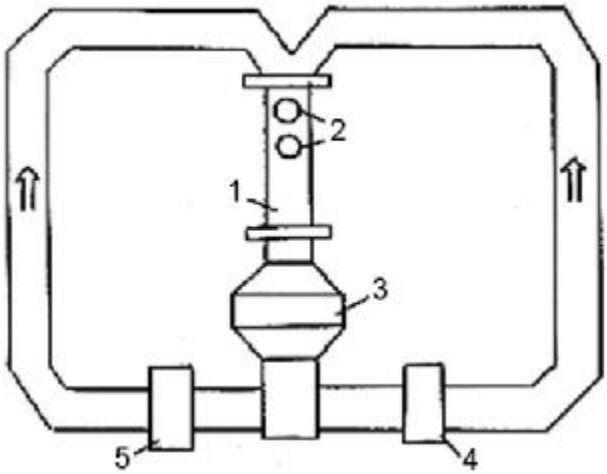


Рис. 2. Схема лазера ЛТ-1
1 – разрядная камера; 2 – зеркала резонатора; 3 – теплообменник; 4, 5 – компрессоры

В Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН (ранее ФИАН) был разработан электроионизационный лазер ЭИЛ-CO_2, в котором накачка разрядной зоны осуществляется электронным пучком (рис. 3). Применение регенератора и малых добавок CO в газовой смеси CO_2-лазера обеспечивает длительную работу лазера замкнутого цикла без смены газовой смеси на уровне 10 кВт.

В Институте прикладной и теоретической механики СО РАН был разработан промышленный образец технологического лазера ЛОКОН-3 [14, 15]. Установка ЛОКОН-3 состоит из излучателя, источника питания, системы газообмена, системы охлаждения. Все элементы газодинамического контура, включая газоразрядную камеру и резонатор, размещены внутри общего герметичного корпуса. Прокачка газа

осуществляется двумя специально разработанными центробежными вентиляторами. Вентиляторы обеспечивают объемный расход 9 м^3/с. Мощность генерации превышает 5 кВт. Максимальный КПД получен при мощности 4 кВт.

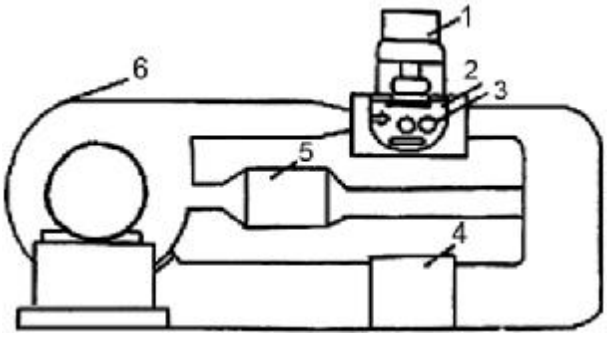


Рис. 3. Электроионизационный лазер
1 – электронная пушка; 2 – разрядная камера;
3 – резонатор; 4 – теплообменник; 5 – регенератор;
6 – вентиляторы

В НИЦТЛе (Научно-исследовательский центр по технологическим лазерам – с 1998 г. ИПЛИТ РАН – Институт проблем лазерных и информационных технологий) был сконструирован и изготовлен промышленный образец технологического лазера ТЛ-5 [1]. Газодинамический контур включает в себя компрессор, два теплообменника и разрядную камеру. Специально разработанный для этого лазера компрессор прокачивает газовую смесь через разрядную зону со скоростью 100 м/с. Рабочее давление смеси газов находится в пределах от 20 до 40 Торр. Особенностью лазера является его способность работать на безгелиевой смеси с мощностью излучения 5 кВт в номинальном режиме при удельном энерговкладе 2 Вт/см^3 .

В литературе приведены также сведения о CO_2-лазерах мощностью до 20 кВт [3], мобильных лазерных многоцелевых комплексах до 30 кВт [8], установках мощностью до 50 кВт [7] и до 135 кВт [9] в непрерывном режиме генерации.

2. Лазерные технологии обработки материалов

Лазерная обработка материалов имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с обычными методами обработки [2, 10, 16], а именно:

1) Лазерные методы обработки не требуют вакуума. В большинстве случаев обработка может проводиться в любой атмосфере, хотя для некоторых химически активных металлов может потребоваться защитная среда;

2) Отсутствует контакт обрабатываемого образца с посторонними материалами, в связи с чем снижается опасность загрязнения;

3) Отсутствие механических усилий на обрабатываемый образец дает возможность обрабатывать хрупкие и ажурные конструкции;

4) Возможность обработки на воздухе, легкость автоматизации процессов, отсутствие вредных отходов при обработке определяют высокую технологичность лазерного луча;

5) Возможность транспортировать излучение на значительные расстояния и подвод его с помощью специальных оптических систем в труднодоступные места позволяют производить обработку в тех случаях, когда другие методы применить невозможно;

6) Размер подвергающейся нагреву зоны, которая окружает обрабатываемый участок, достаточно мал;

7) С помощью лазеров хорошо обрабатываются твердые, хрупкие и тугоплавкие материалы. В ряде случаев они обеспечивают сварку таких металлов, которые не поддаются сварке обычными методами;

8) Лазером можно пробивать отверстия малого диаметра;

9) Процесс обработки протекает очень быстро на протяжении 1 мс;

10) Для лазерной сварки не нужны электроды;

11) Лазерная сварка обеспечивает получение чрезвычайно малых сварных соединений на хрупких материалах;

12) Лазеры позволяют получать высокую плотность мощности без какого бы то ни было дополнительного подогрева;

13) Высокая производительность процессов и быстрая окупаемость капитальных затрат (1 год);

14) Экологическая чистота технологии.

2.1. Лазерная модификация поверхности материалов

К методам лазерной обработки поверхностей материалов относятся: закалка, легирование, наплавка, химическое или физические осаждение покрытий из газовой фазы [1, 2, 10, 16]. Толщина обрабатываемого слоя может составлять от сотен нанометров до нескольких миллиметров. Процесс лазерной модификации поверхности осуществляется путем сканирования поверхности металла лазерным лучом.

Основная цель закалки (лазерной термообработки) заключается в повышении твердости поверхности материалов в результате изменения их структуры. Иногда процесс лазерной термообработки рассматривают как “незавершенную сварку”. Лазерный пучок перемещается по поверхности настолько быстро, что процесс плавления не успевает начаться. Глубина зоны термообработки определяется теплопроводностью материала. Быстрый нагрев и закалка, осуществляемые в результате облучения CO_2-лазером мощностью несколько кВт, существенно повышает твердость материала. Глубину слоя закалки можно регулировать за счет изменения скорости перемещения луча.

Главными достоинствами лазерной модификации

поверхности являются: локальность обработки, возможность обработки труднодоступных участков, химическая чистота, контроль толщины обработки, возможность дистанционного контроля и автоматизации процесса, малая пористость созданного поверхностного слоя, высокая производительность процесса, высокая работоспособность созданного поверхностного слоя.

В ИПЛИТ РАН проведены работы по ряду технологических процессов лазерного упрочнения изделий машиностроения: направляющих обрабатывающих центров, длинномерных изделий, деталей двигателей внутреннего сгорания.

Наиболее распространенными методами лазерной обработки поверхности являются лазерная наплавка и лазерное легирование. Типичные толщины наплавляемых слоев при лазерной обработке составляют от 0,1 до 3 мм при средней мощности лазерных установок до 5 кВт.

В результате проведенных исследований в ИПЛИТ РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана и ЦУНИИ КМ «Прометей» были созданы новые композитные высокопрочные толстолистовые материалы с гетерогенным поверхностным слоем толщиной 10-20 мм с повышенной противоударной стойкостью [2].

2.2. Перспективные процессы лазерной сварки

Доля рынка лазеров и соответствующего оборудования для лазерной сварки в 2005 году составила около 20% [10]. Главными достоинствами лазерной сварки являются:

а) высокое качество сварного шва;

б) высокая скорость процесса;

в) широкий спектр свариваемых разнородных материалов;

г) высокая контролируемость процессов “on-line”.

Технология лазерной сварки основана на применении излучения мощных CO_2-лазеров (единицы и десятки кВт), хотя применяются и CO_2-лазеры мощностью в сотни Вт [16].

В ИПЛИТ РАН разработаны технология и оборудование для лазерной сварки листов из алюминиевых сплавов и стальных труб. В качестве примеров можно привести следующие:

1) Высокоскоростная лазерная сварка толстостенных труб из нержавеющей стали. Диаметр труб до 400 мм, толщина стенок до 5 мм, скорость сварки до 15 м/мин (лазер ТЛ-5М, 5 кВт).

2) Лазерная сварка несущих алмазный абразив зубьев пил для распиловки камня. Толщина пилы 3-10 мм (лазер ТЛ-5М, 5 кВт).

3) Высокоскоростная лазерная сварка консервных банок. Толщина стенок 0,15 – 0,25 мм. Скорость сварки до 30 м/мин (лазер ТЛ-5М, 5 кВт).

4) Лазерная сварка магистральных газо- и нефтепроводов. Толщина стенок 10-15 мм. Скорость сварки 3 м/мин (лазер ТЛ-10, 10 кВт).

5) Лазерная сварка алюминиевых сплавов АМг6 и 1420.

CO_2-лазеры мощностью несколько кВт позволяют получать глубокие и узкие сварные швы, похожие на швы, получаемые методом электронно-лучевой сварки, но не требуют при этом вакуумной системы. При мощности 15 кВт глубина сварки для нержавеющей стали составляет 17,8 мм [16]. При мощности 80 кВт можно сваривать нержавеющую сталь толщиной 50 мм со скоростью 2,7 м/мин. Эксперименты по сварке при помощи непрерывных лазеров мощностью от нескольких кВт до 100 кВт показали, что глубина сварного шва возрастает с увеличением мощности лазерного излучения по степенному закону с показателем, равным 0,7 [16].

В настоящее время производится ЛС металлов в диапазоне толщин 0,5-50 мм (сталь, титан, алюминий, реакторные сплавы).

Практически ЛС широко применяется в отраслях: автомобилестроение, приборостроение, инструментальная, электротехническая, аэрокосмическая отрасли промышленности. ЛС (вместе с электронно-лучевой и плазменной) занимает около 10% объема сварных работ в промышленности развитых стран, особенно при серийном производстве с использованием роботов. В автомобильной промышленности Японии и Западной Европы особенно быстро развивается применение “лазеров-роботов” для сварки кузовов непосредственно после лазерного раскроя листов и последующей штамповки [10]. Это позволяет экономить до 40 кг металла на каждом кузове; кроме того, резко возрастают коррозионная стойкость и водонепроницаемость сварных соединений в кузовах.

2.3. Лазерная резка конструкционных и перспективных материалов

К традиционным технологиям разделения материалов относятся механическая, электродуговая, плазменная и кислородно-ацетиленовая технологии. Главными преимуществами лазерной резки (ЛР) перед перечисленными выше являются: высокая производительность и точность процесса; малая ширина и высокое качество реза; узкая зона термического влияния; отсутствие деформаций обработанного изделия; бесшумность процесса; отсутствие необходимости закреплять материал; гибкость перенастройки режимов; возможность резки труднообрабатываемых материалов: тугоплавких, хрупких, сверхтвердых, слоистых, волокнистых, токсичных, радиоактивных; возможность выполнения сложных фигур резки; возможность гибко наладить обработку малых партий изделий [10].

Доля операций ЛР в общем объеме применения лазеров при обработке материалов составляет около

50%. В настоящее время возможна ЛР практически любых материалов в диапазоне толщин 0,1-70 мм, скоростей резки 1-80 м/мин, ширины реза 0,05-1 мм. Это стало возможным благодаря наличию на мировом рынке индустриальных лазеров мощностью от 0,1 до 50 кВт [10].

В настоящее время, стандартными CO_2-лазерами мощностью 1,5-2 кВт производится резка конструкционных сталей толщиной до 14 мм, нержавеющих сталей – до 9 мм; алюминия – до 4 мм; титана – до 6 мм, композитов – до 5 мм; кварца – до 2 мм; бетона – до 40 мм (лазером мощностью 8 кВт) [2].

В последние годы лазеры все больше стали применяться для резки металлов, сталей, графита, керамики и ряда минералов. Глубина реза – до 20 мм, скорость резки – до 6 м/мин.

Применение ЛР оказывается экономически оправданным при обработке таких изделий, как кузова и детали автомобилей, корпуса бронемашин, судов, самолетов; технологические каналы ядерных реакторов; металлические двери; сейфы, кабины; трубопроводная фурнитура; дисковые пилы; медицинские инструменты; мебель; кварцевые трубы; хрупкие и ювелирные изделия; паркет; архитектурные аксессуары; штампы; клапана; лопасти; панели приборов [10].

ЛР широко применяется в таких отраслях промышленности, как автомобилестроение; станкоинструментальная; медицинская; фармацевтическая; машиностроение для пищевой промышленности; радиоэлектроника; электротехнология; производство строительных машин и инструментов. В последние годы активно развивается технология ЛР для раскроя и утилизации крупнотоннажных изделий (котлы, вагоны, суда, фермы, морские платформы), а также для проходки тоннелей и штолен.

Появилась технология ЛР стали толщиной 50 мм с помощью струи кислорода высокого давления при поддержке процесса излучением CO_2-лазера мощностью 2 кВт [2]. Ведутся исследования резки конструкций ядерных реакторов с помощью CO_2-лазера мощностью 21 кВт: разрезалась сталь толщиной 300 мм (на воздухе) и 150 мм (под водой) [10]. С помощью специально разработанного CO_2-лазера мощностью до 50 кВт выполнены лабораторные эксперименты по дистанционной ЛР стальных оголовков горящих нефтяных скважин [10].

В последние десятилетия широко применяется лазерное скрайбирование – это метод резки и фасонной обработки образцов, в ходе которого охватывается лишь часть поверхности вдоль границы раздела. Этот метод применим для обработки хрупких материалов типа керамики, кремния или стекла. Скрайбирование осуществляется путем нанесения на поверхности сплошной канавки или пробивки последовательности близко расположенных отверстий, после чего материал легко разламывается вдоль линии скрайбирования.

Керамика хорошо поглощает излучение с длиной волны 10,6 мкм. Обычно для скрайбирования керамики используется CO_2-лазер, работающий либо в непрерывном режиме, либо в режиме повторения импульсов [16].

Находит применение также лазерное раскалывание: при перемещении материала относительно лазерного пучка трещина распространяется вдоль пути, проходимого пучком. Разделение материала на куски происходит без разрушения его поверхности и без потерь самого материала [16].

2.4. Лазерная стереолитография

В лазерной стереолитографии реализуется принцип прямого формообразования трехмерных объектов путем послойного наращивания материала [2]. Исходным объектом для лазерной стереолитографии является трехмерная компьютерная модель, созданная средствами САПР. Спроектированный на компьютере трехмерный объект выращивается из жидкой фотополимеризующейся композиции (ФПК) последовательными тонкими (~ 0,1 мм) слоями, формируемыми под действием лазерного излучения на подвижной платформе, погружающейся в ванну с ФПК. Шероховатость поверхности изготовляемых деталей без дополнительной обработки не превышает десятков мкм. Пластиковые модели хорошо шлифуются и полируются. Прочность готовых изделий сравнима с прочностью изделий из отвержденных эпоксидных смол.

Изготовленные методом лазерной стереолитографии пластиковые модели могут использоваться в таких областях, как точное машиностроение, авиа- и космическая промышленность, автомобильная промышленность, радиоэлектроника, медицина и медицинская техника, архитектура и строительство, образование и подготовка кадров.

Использование лазерной стереолитографии позволяет в десятки раз сократить затраты времени на изготовление опытных изделий и подготовку их производства.

Современная лазерная стереолитография интегрирует в себе последние достижения в области квантовой электроники и нелинейной оптики, информационных технологий, физики и химии высокомолекулярных соединений, прецизионной механики.

В настоящее время в мире работает более 2500 установок лазерной стереолитографии [2, 10], основным производителем которых является фирма 3D Systems. Область применения стереолитографии непрерывно расширяется, и в настоящее время она проникла практически во все сферы производственной и исследовательской деятельности, т.к. позволяет оперативно (всего за несколько часов) изготавливать пластиковые копии трехмерных объектов и структур с практически сколь угодно сложной формой поверхности.

В России работы по лазерной стереолитографии были начаты в 1991 году в ИПЛИТ РАН. В результате были созданы установки ЛС-120 и ЛС-250 для оперативного изготовления трехмерных изделий практически любой степени сложности из отвержденных под действием лазерного излучения полимерных (в том числе композитных) материалов [2].

Литература

1. Голубев В.С., Гофман З.Н., Низьев В.Г. Современные разработки технологических лазеров большой мощности // Препринт НИЦТЛАН, 1988, № 42. – 38 с.
2. Бондаренко А.И., Васильцов В.В., Галушкин М.Г., Голубев В.С., Низьев В.Г., Панченко В.Я., Забелин А.М., Завалов Ю.Н., Якунин В.П. Индустриальные CO_2-лазеры с высоким качеством излучения // Сборник трудов ИПЛИТ РАН “Современные лазерно-информационные и лазерные технологии” / Под ред. В.Я. Панченко и В.С. Голубева. – М.: Интерконтакт Наука, 2005. – С. 251-259.
3. Baranov G.A., Khukharov V.V. Soviet Development of Laser Equipment for Commercial Applications. (CO_2-laser up to 20 kW) / The Industrial Laser Handbook 1992-1993. Ed. Springer-Verlag, 1993. – pp. 132-140.
4. Bohn W.L. High Power Gas Lasers in Germany. The Industrial Laser Handbook 1992-1993. Ed. Springer-Verlag, 1993. – pp. 343-358.
5. Golubev V.S. Recent investigations of gas discharge and beam quality problems of fast-flow CO_2-lasers // Proc. SPIE, 2502, 1994. – pp. 111-119.
6. Vassil’tsov V.V., Golubev V.S., Zabelin A.V., Panchenko V.Ya. High Power Industrial CO_2 lasers based ipon new Concepts of Gas Discharge and Optical Schemes // Proc. SPIE, 2206, paper 42 (1994).
7. Naumov V.G., Rodin A.V. Physics of Low Temperature Plasma and CO_2-Lasers with Average Power up to 50 kW for Industrial Applications // Proc. Of the International Conference on Lasers’ 94. Quebec, Canada, 12-16/XII 94. – pp. 171-175.
8. Красюков А.Г. Новые горизонты открывают созданные в ТРИНИТИ мобильные многоцелевые лазерные комплексы (30 kW) // Препринт ТРИНИТИ. – Троицк, 1996.
9. Lander M.L. et al. CW CO_2 laser system producing output power up to 135 kW // Proc. SPIE, 3092, 1997. – pp. 186-189.
10. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / Под ред. акад. РАН В.Я. Панченко. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 704 с.
11. Богданов М.П., Верин В.М., Генералов Н.А. и др. Технологическая лазерная установка УЛГ-2.01 комбинированного действия: импульсно-периодического и непрерывного // В кн. Применение лазеров в народном хозяйстве: Труды Всесоюз. конф. – М.: Наука, 1986.
12. Генералов Н.А., Зимаков В.П., Косынкин В.Д. и др. Быстропроточный технологический CO_2-лазер комбинированного действия // Квантовая электроника, 1982, 9, № 8. – С. 1549-1557.
13. Басов Н.Г., Бабаев И.К., Данилычев В.А. Электроионизационный CO_2-лазер замкнутого цикла непрерывного действия // Квантовая электроника, 1979, 6, № 4.
14. Иванченко А.И., Крашенинников В.В., Пономаренко А.Г., Шепеленко А.А. Компактный излучатель технологического CO_2-лазера // Квантовая электроника, 1985, 12, № 10.
15. Иванченко А.И., Крашенинников В.В., Пономаренко А.Г., Шепеленко А.А. // Препринт № 6 ИТПМ СО АН СССР, 1986.
16. Реди Дж. Промышленные применения лазеров. – М.: Мир, 1981. – 640 с.

УДК 519.254;691.3

А.М. Данилов – доктор технических наук, профессор
В.И. Логанина – доктор технических наук, профессор
В.А. Смирнов – кандидат технических наук
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

АННОТАЦИЯ
Дается сравнительный анализ методов понижения размерности задач строительного материаловедения (метод наименьших квадратов и главных компонент); приводится оценка на примере управления качеством лакокрасочных покрытий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Метод главных компонент, понижение размерности, оценка качества

A.M. Danilov – doctor of technical sciences, professor
V.I. Loganina – doctor of technical sciences, professor
V.A. Smirnov – candidate of technical sciences
Penza State University of Architecture and Construction (PSUAC)

ANALYSIS OF LACQUER COATING CHARACTERISTICS BY MEANS OF PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS

ABSTRACT
The comparison analysis of dimension's reduction methods (least squares and principal component analysis) in materials science is performed. The principal component analysis is illustrated by the example of quality control of lacquer coating.

KEYWORDS: Principal component analysis, reduction of the dimension, quality estimation.

Обычно в задачах строительного материаловедения предполагается, что эмпирические данные представляются детерминированным процессом с наложением флуктуаций. Внутренние механизмы этого процесса в большинстве случаев неизвестны; *анализу подлежат только результаты измерений*.

Возможность содержательного анализа достигается после надлежащего представления данных – в форме, наиболее удобной для осмысления. Фактически, здесь налицо один из видов *моделирования* – замена объекта его абстрактным описанием (работа с ним часто возможна в терминах, отличных от терминов предметной области). Так, *математическое моделирование* предполагает замену объекта описанием, работа с которым возможна в терминах *математического анализа*.

В отличие от математического, моделирование в *теории эксперимента* минует стадию исследования модели средствами анализа (возможно, включая лишь решение оптимизационных задач); полученная *экспериментально-статистическая* модель (ЭС-модель) с формально найденными параметрами сразу допускает анализ в терминах прикладной области. Подобное моделирование нередко называют *информационным*; полученные ЭС-модели имеют *прогностическую* ценность, однако могут выполнять и *смыслообразующую роль* (количественные оценки имеют второстепенную роль по сравнению с качественными представлениями) [1]. В последнем случае на основе ЭС-модели формулируются гипотезы, касающиеся закономерностей функционирования системы; в дальнейшем это может привести к получению математической модели. Смыслообразующая роль предполагает эвристический анализ, результативность которого существенно возрастает тогда, когда его исходным пунктом является *графическое, визуальное представление* первичных данных. Найденная ЭС-модель обычно используется для *визуализации*; однако можно считать, что ее построение (переход от эмпирической информации к набору параметров) преследует и другую цель – *понижение размерности исходной задачи, редукцию*,

свертку эмпирической информации. Выводы, полученные на основе анализа одних лишь численных значений параметров, нередко носят спекулятивный характер [2].

Построение ЭС-модели является лишь одним из *параметрических методов* статистики. Для полного восстановления исходного распределения в теории статистических оценок Фишером определено понятие *достаточных статистик*. Как подмножество методов информационного моделирования, параметрические методы позволяют выделить достаточные статистики, которые с заданной достоверностью позволяют сделать максимальное число выводов (в терминах предметной области), либо заданное число выводов с максимальной достоверностью. Предполагается выполнение для исходных данных тех предпосылок, на которых основан вычислительный аппарат поиска параметров модели.

В математической теории эксперимента базовым является предположение о нормальном распределении эмпирической информации в каждой точке факторного пространства. Это, наряду с принципом максимального правдоподобия, приводит к методу наименьших квадратов (МНК) – вычислительному аппарату построения ЭС-модели [3]. При других распределениях МНК неприменим.

Возможные подходы к понижению размерности задач не исчерпываются наиболее распространенными в практике строительного материаловедения методами регрессионного анализа. Так, эффективным является *метод главных компонент* (МГК), предложенный К. Пирсоном (часто называется методом *собственного ортогонального разложения* или *дискретным преобразованием Карунена – Лоэва* [4]).

МГК состоит в отыскании многомерного *эллипсоида рассеяния* эмпирических данных в факторном пространстве, который определяется расположением и длинами полуосей – *главными направлениями* и стандартными отклонениями в пространстве главных направлений.

Вычислительный аппарат МКГ допускает компактное представление [1, 5, 6]. Здесь для выборки $\{x_{iu}\}$, $i=\overline{1,k}$, $u=\overline{1,N}$, значений первичных признаков (здесь k – число признаков, N – число измерений) последовательно выполняются следующие процедуры.

1. *Центрирование признаков* (*частных критериев*):

$$\xi_{ui} = x_{ui} - \bar{x}_i,\ i=\overline{1,k},\ u=\overline{1,N}, \qquad (1)$$

где $\bar{x}_i = \dfrac{1}{N}\sum_{u=1}^{N} x_{ui}$ – выборочное среднее i-го признака.

2. *Определение матрицы ковариаций* *:

$$C = \left(c_{ij}\right) = \Xi^T \Xi, \qquad (2)$$

где $\Xi = \left(\xi_{ui}\right)$ – матрица центрированных признаков.

3. *Определение собственных значений* l_i и *собственных векторов* матрицы ковариаций (всегда имеет k действительных неотрицательных собственных значений, включая кратные).

4. *Сортировка собственных векторов* в порядке *убывания собственных значений*. Единичные собственные векторы, определяющие главные направления, составляют строки матрицы k-го порядка L. Линейный однородный оператор, определяемый полученной матрицей, производит преобразование исходных центрированных данных в *некоррелированные* и с *убывающими дисперсиями* [4] (переход от исходного факторного пространства в пространство главных компонент).

В МГК предположение о нормальном распределении эмпирической информации не используется (в отличие от МНК применим для произвольных данных). Как и в непараметрических методах, в МГК возможно предположение об *автоинформативности данных* – «*...за данными нет ничего, кроме них самих*» [1]. Это сближает МГК с методами описательной статистики.

Сходство МНК и МГК проявляется в поиске по возможности «более простого» многообразия (в МГК – всегда линейного), выбор которого минимизирует заранее заданную норму. В МГК минимизации подлежит сумма квадратов евклидовых расстояний от точки до многообразия (в МНК используется другая норма). Как правило, расстояние в пространстве признаков не имеет никакого содержательного смысла, кроме меры «различия» объектов. Предобработка данных (например, нормировка на стандартное отклонение) для обоснованного выбора метрики может существенно изменить вид эллипсоида рассеяния. В некоторых случаях уже на этапе предварительного анализа данных можно выбрать линейное или нелинейное преобразование, сводящее нелинейную задачу (поиск *главных многообразий*) к рассматриваемой линейной (МГК) [1].

Отметим: если каждой точке исходных данных сопоставить единичную массу, то матрица ковариаций совпадет с тензором инерции системы частиц (механическая интерпретация МГК); задача поиска главных компонент перейдет в задачу приведения тензора инерции к главным осям [5].

---

* Часто эту матрицу называют ковариационной, однако подобная терминология входит в противоречие с рядом нормативных документов.

Понижение размерности (разделение исходных данных на содержательную часть и шумы [6]) в рамках МГК достигается *отбрасыванием направлений, соответствующих малым собственным значениям*. По-видимому, общих правил выбора числа значимых главных компонент не существует. Это число определяется не только величинами собственных значений матрицы ковариаций, но и задачами исследования (визуализация на плоскости или в пространстве), интуицией исследователя и т.п.

Существует эвристический метод оценки необходимого числа главных компонент, а именно – *правило сломанной трости*. Он состоит в сравнении упорядоченных (по убыванию) k собственных значений матрицы ковариаций с длинами l_i «обломков трости» единичной длины, сломанной в $(k-1)$-й точке (координаты изломов распределены равномерно на отрезке [0; 1]) [7]. Очередное i-е главное направление считается значимым, если

$$\frac{\lambda_j}{trC} > l_j,\ j = \overline{1,i}, \qquad (3)$$

где trC – матрицы ковариаций.

Правило сломанной трости является вероятностным. Оно дает математическое ожидание числа значимых главных компонент (не является целым числом). Кроме этого, во многих практических задачах величины собственных значений матрицы ковариаций отличаются на порядки, и правило (3) избыточно.

В качестве иллюстрации приведем результаты практического применения МГК к оценке показателей качества лакокрасочных покрытий строительных изделий и конструкций. В соответствии с действующей нормативной документацией качество покрытий определяется совокупностью критериев, к числу которых относятся шероховатость и время высыхания.

Было выполнено экспериментальное исследование влияния рецептурных факторов на указанные показатели для покрытий, изготовленных на основе краски ПФ-115. Наряду с шероховатостью и временем высыхания, регистрировалось значение показателя (розлив), характеризующего реологические свойства лакокрасочного состава. Результаты приведены в таблице.

Предварительная обработка данных (соотношения (1) и (2)) выполнена с использованием табличного процессора Microsoft Excel. Нахождение собственных значений матрицы ковариаций произведено в системе численной математики Mathcad. Найденная по таблице матрица ковариаций имеет вид:

$$C = (x_{ui})^T (x_{ui}) = \begin{pmatrix} 16{,}225 & -7{,}355 & 135{,}3 \\ -7{,}355 & 4{,}369 & -82{,}34 \\ 135{,}3 & -82{,}34 & 1624{,}4 \end{pmatrix};$$

ее собственные значения l_i и собственные векторы $\mathbf{v}_i$:

$$l_1 = 0{,}148,\ \mathbf{v}_1 = (0{,}098;0{,}994;0{,}042);$$

$$l_2 = 4{,}964;\ \mathbf{v}_2 = (0{,}992;-0{,}094;-0{,}088);$$

$$l_3 = 1640;\ \mathbf{v}_3 = (0{,}083;-0{,}05;0{,}995).$$

Матрица перехода к главным компонентам:

$$L = \begin{pmatrix} 0{,}083 & -0{,}05 & 0{,}995 \\ 0{,}992 & -0{,}094 & -0{,}088 \\ 0{,}098 & 0{,}994 & 0{,}042 \end{pmatrix}.$$

Вид множества экспериментальных точек *со стороны наименее значимого главного направления* показан на рис. 1**; *со стороны наиболее значимого* (главной оси эллипсоида рассеяния) – на рис. 2.

Так как $\lambda_3 >> \lambda_1$ и $\lambda_3 >> \lambda_2$, то применение правила сломанной трости избыточно: значимая главная компонента единственна и соответствует главному направлению, определяемому вектором .

Главные компоненты связаны с исходными показателями (розливом q_1, шероховатостью q_2 и временем высыхания q_3) линейно:

$$Pc_1 = 0{,}083q_1 - 0{,}05q_2 + 0{,}995q_3;$$

$$Pc_2 = 0{,}992q_1 - 0{,}094q_2 - 0{,}088q_3;$$

$$Pc_3 = 0{,}098q_1 + 0{,}994q_2 + 0{,}042q_3.$$

** Переход к главным направлениям – суть введение смешанных координат (линейных комбинаций ис-ходных переменных, где коэффициентами выступают главные компоненты). Поэтому оси на рисунках 1 и 2 лишены обозначений.

Таблица

Наименование показателей	Составы (объекты)				
	1	2	3	4	5
Розлив, балл.	10	10	10	7	8
Шероховатость, мкм	8,5	8	8,2	9,6	9,8
Время высыхания, мин.	40	45	43	20	7

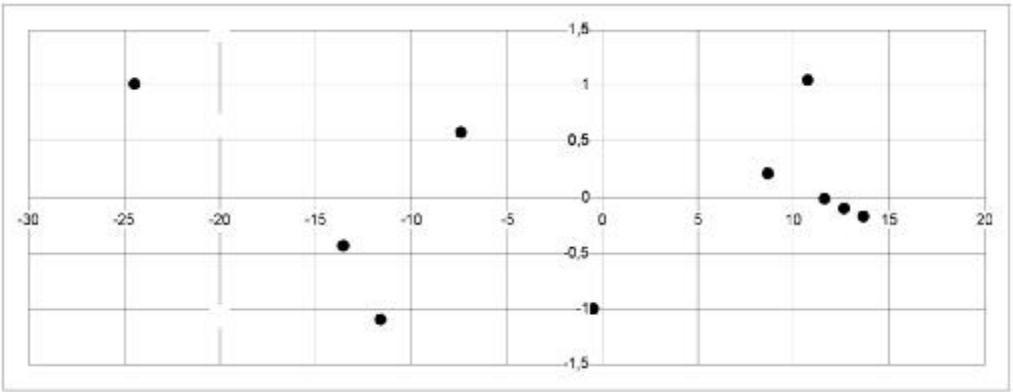


Рис. 1. Проекция на плоскость двух первых главных направлений
(по горизонтали – первое главное направление)

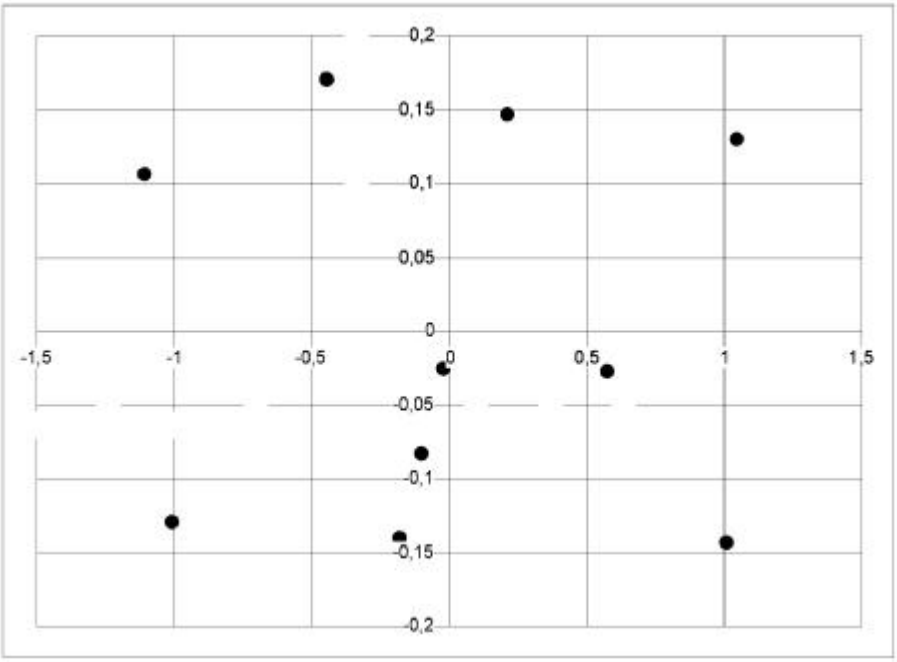


Рис. 2. Остатки, возникающие при отбрасывании главного направления
(по горизонтали – второе главное направление)

Вектор первого главного направления образует весьма малый угол с осью третьей исходной переменной. В рассматриваемой задаче доминирующим является третий показатель (время высыхания).

Литература

1. Зиновьев А.Ю. Визуализация многомерных данных. – Красноярск: Изд-во КГТУ, 2000. – 180 с.
2. Налимов В.В., Голикова Т.И. Логические основания планирования эксперимента. – М.: Наука, 1981. – 149 с.
3. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 528 с.
4. Солодовщиков А.Ю., Платонов А.К. Исследование метода Карунена-Лоэва // URL: http://www.keldysh.ru/papers/2006/source/ prep2006_19.doc
5. Метод главных компонент // URL: http://ru.wikipedia.org
6. Эсбенсен К. Анализ многомерных данных. Избранные главы / Пер. с англ. С.В. Кучерявского; под ред. О.Е. Родионовой. – Казань: Изд-во КазГАСУ, 2008. – 158 с.
7. Cangelosi R., Goriely A. Component retention in principal component analysis with application to cDNA microarray data // Biology Direct, 2007, 2:2.
8. Логанина В.И., Орентлихер Л.В. Управление качеством лакокрасочных покрытий строительных изделий и конструкций. – М.: АСВ, 2007.

УДК 691.175

Элсаед Т.А. – доцент
Гханем Г.М. – профессор
Инженерный факультет, Матария, Хелванский Университет, Каир, Египет
Элхефнави А.А. – доцент
Элдали А.А. – младший научный сотрудник
Национальный Исследовательский Центр Жилья и Строительства, Каир, Египет

СВОЙСТВА ИЗГОТОВЛЕННЫХ В МЕСТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИМЕРНЫХ СТЕРЖНЕЙ, АРМИРОВАННЫХ ГИБРИДНЫМ ВОЛОКНОМ

АННОТАЦИЯ

Полимеры, армированные стеклянным волокном, имеют много преимуществ по сравнению с арматурной сталью, таких как высокая прочность по отношению к удельному весу, высокое сопротивление коррозии, высокое сопротивление усталостным нагрузкам. Один из главных недостатков стеклопластиковой арматуры – податливость. Линейное поведение стеклопластиковых стержней до разрыва делает их применение несравнимым с обычными стальными стержнями. Эксперимент по изготовлению пластиковой арматуры, используя метод пултрузии, позволил получить стержни, включающие стеклянное волокно с углеродным и арамидным в различных соотношениях. Результаты испытаний на растяжение показали, что произведенные в местном масштабе волокнисто-армированные стержни имеют своего рода полуподатливое поведение, подобное арматурной стали.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Полу-податливость, полимерные стержни, армированные гибридным волокном, пултрузия.

Tarek A. Elsayed – associate professor
Gouda M. Ghanem – professor
Faculty of Engineering, Mataria, Helwan University, Cairo, Egypt
Amr A. Elhefnawy – associate professor
Amr A Eldaly – research assistant
Housing & Building National Research Center (HBRC), Cairo, Egypt

PROPERTIES OF LOCALLY MANUFACTURED HYBRID FIBER REINFORCED POLYMERS (HFRP) REBARS

ABSTRACT

Glass fiber reinforced polymers rebars (GFRP) have many advantages compared to traditional reinforcing steel such as higher strength to weight ratio, higher resistance to corrosion as well as higher resistance to fatigue loads. One of the main disadvantages of GFRP bars is its lack of ductility. The linearly behavior of the GFRP bars up to failure makes their application incomparable with conventional steel bars. One solution to provide ductility for FRP is a hybrid FRP reinforced bars. A pilot trial to manufacture locally HFRP rebars using the Pultrusion method by the produced rebars consisted of Glass fiber combined with both Carbon and Aramid fiber with three different ratios for each. Tension test results showed that the locally produced hybrid FRP rebars had a kind of semi-ductile behavior similar to some extent to that of conventional reinforcing steel.

KEYWORDS: Semi-ductility, HFRP, pultrusion.

Introduction and background

Fiber-reinforced polymers (FRP) are increasingly attracting the attention of civil engineers worldwide because of such favorable performance characteristics as high-stiffness, high-strength to weight ratio, high resistance to corrosion and magnetic neutrality. Fiber reinforced polymers offer unique advantages for solving many civil engineering problems in areas where conventional materials fail to provide satisfactory performance. Unlike steel, FRP are unaffected by electrochemical deterioration and can resist the corrosive effects of acids, alkalis, salts, and similar aggressive

Fig. 1. Carbon fiber roving

Fig. 2. aramid fiber roving

Fig. 3. glass fiber roving

materials. Due to their superior characteristics such as high tensile strength, corrosion-resistance, FRP gained wide acceptance as an alternative material for steel in applications where steel is subjected to high risk of corrosion. Several products of FRP are commercially available worldwide for their use in different civil engineering applications. Among these products, FRP rebars were emerged as an alternative solution for reinforcing concrete elements subjected to corrosive environments. A variety of fiber-reinforced polymers (FRP), e.g. Glass, Aramid and Carbon, are now available in form of bars. A marked disadvantage of present day FRP reinforcement, as compared to steel, is its lack of ductility. The linearly elastic behavior of available FRP systems up to failure makes their application reinforce concrete structure incomparable with conventional steel. The commercially available FRP rebars are produced by Pultrusion process utilizing continuous monotypic fiber (usually Glass, Carbon, or Aramid) embedded in a resin matrix. It is a continuous process that combines pulling and extrusion for manufacturing composite sections that have the same cross section and shape. In Egypt the FRP rebars have not been commercially produced yet. One of the objectives of this study was the possibility of locally producing hybrid FRP rebars using the Pultrusion method with a random distribution of the different fibers types in the resin matrix. The study also includes the estimation of the physical and mechanical properties of the manufactured hybrid rebars (HFRP) taking into consideration the effect of the different variables considered in the study.

Research program

In order to achieve the research objectives in this paper, the Pultrusion method was used to manufacture locally HFRP rebars using three different types of fibers, glass, carbon, and aramid. Glass, Carbon and aramid fibers were wed with total fiber volume fraction of 61 %. Three replacement ratios by volume were used to replace the glass fibers by carbon and aramid fibers. These ratios were V_C/V_G 5/56, 10,6/50,4 and 19/42,6 for carbon and V_A/V_G 5/55, 9/52,6 and 17/44,5 for aramid. Twenty one bars, circular in cross-section with 8,5 mm diameter, were manufactured. The research program includes testing specimens taken from the manufactured bars for the estimation of the unit weight, fiber volume fraction, and the tensile strength of the HFRP bars. Each test was repeated for at least three times and the average results were considered. Manufacturing process and test results are presented in the following sections.

Materials

The FRP materials used included carbon, glass and aramid fibers and polyester as a resin. All materials used are available in the local market. The used fibers are available in the local market in the form of roving only, Figs. 1, 2, and 3. The properties of carbon, glass, and aramid fibers are given in Table 1. As presented in Table 1, the carbon fibers have relatively the highest tensile strength and modulus of elasticity with low ultimate strain, while glass fibers showed the lowest tensile strength and modulus of elasticity with relatively high ultimate strain.

Table 1

Properties of the used fibers

Property / Type	Tensile strength (MPa)	Modulus of Elasticity (GPa)	Ultimate Strain (%)
E-Glass	2400	70	3.4
Kevlar 49	3000	126	2.38
Carbon	3400	225	1.51

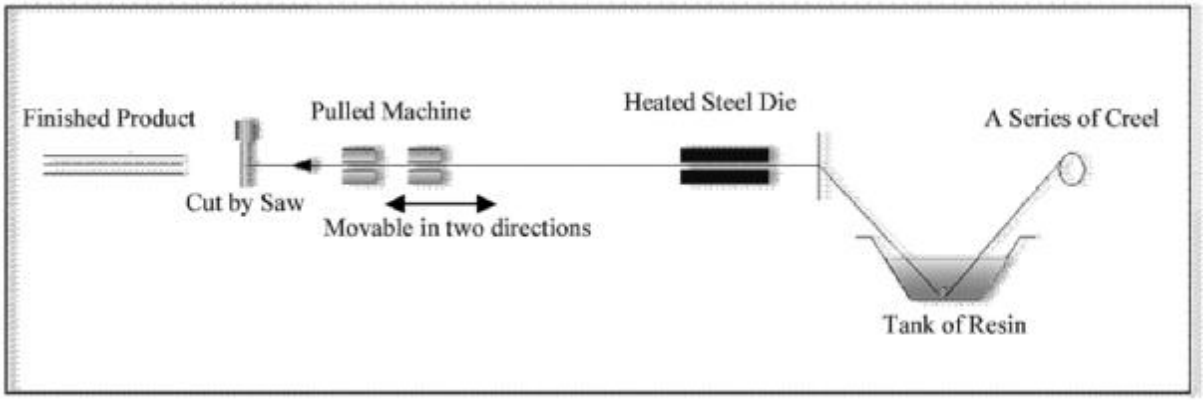


Fig. 4. A Schematic diagram showing the process of pultrusion of FRP-bars

Table 1 shows also that, the aramid fibers mechanical properties fall between those of glass and carbon fibers. The properties of the used polyester resin as provided by the supplier are; tensile strength 40-60 MPa, modulus of elasticity 3,5 GPa and ultimate elongation 5-6 %.

Manufacturing process

All the bars were manufactured using the pultrusion method. A random dispersion of the two fiber types was adopted. The pultruded product is manufactured in 10th of Ramadan Industrial City, 50 km away from Cairo. Figure 4 shows a schematic representation of the pultrusion process. In the pultrusion method the fibers yarns are pulled from a series of creels. Yarns are emarginated with resin (the resin was mixed with peroxide with the ratio of 1000:1) by weight which was enough for the pultrosion of the bars. This composite material is then passed through a heated steel die. Heat initiates an exothermic reaction thus curing the resin matrix. Then, the bar is continuously pulled at constant rate and exits the mould as a hot constant cross sectional bars. The bars then are cooled down in the ambient air. Finally, the produced bars come out from the puller mechanism and are cut to the desired length by an automatic cutoff saw. As shown in Fig. 5.

The used number of fiber yarns controls the fiber volume fraction of the produced bars. Therefore, this number should be calculated initially before manufacturing to produce the bars with the required fiber volume fraction. The effective cross-sectional area of each yarn, A_y, was estimated as 1,10 mm^2, 0,16 mm^2, and 0,20 for glass, aramid, and carbon fibers respectively. The effective cross-sectional area of the used fibers yarns was calculated using the equation:

$$A_y = \frac{W_y}{r \times l}$$

Where A_y is the effective cross sectional area of the yarn, W_y is the weight of the used fiber yarn, r is the fiber density, and l is the length of yarn. The relation between fiber volume fraction and number of yarns used in rebars manufacturing was obtained using the equation:

$$V_f = \frac{n \times A_y}{A_b}$$

Where

V_f is the fiber volume fraction of the bars;

n is the number of yarns used in producing the rebar cross section, and A_b is the cross-sectional area of the bar.

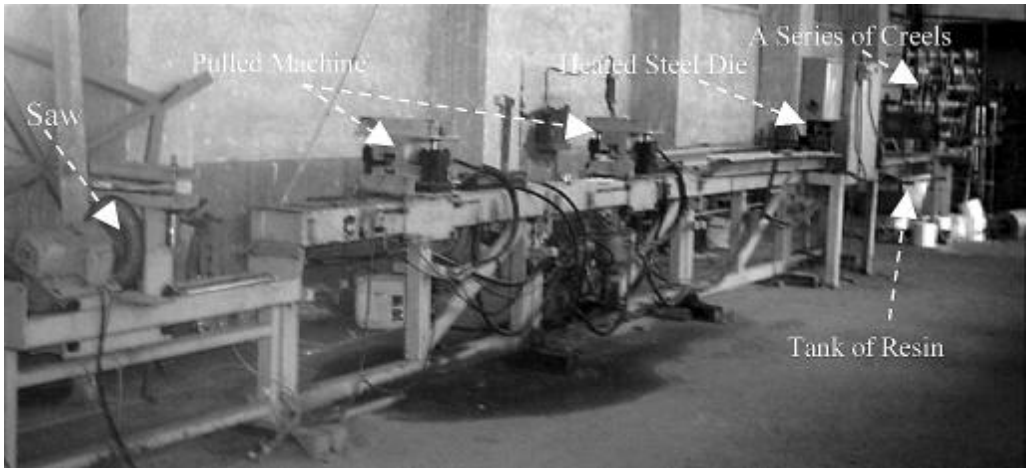


Fig. 5. General layout of pultrusion machine

Table 2

Details of the manufactured bars

Group Code	Fiber Type Used	Specimen Code	No. of Yarns			Fiber Volume Fraction V_f, %		
			Glass	Aramid	Carbon	Glass	Aramid	Carbon
GF Rebars	Glass Fiber	GF	32	–	–	61	–	–
HGAF Rebars	Glass - Aramid Fiber	HGAF 1	29	18	–	55	5	–
		HGAF 2	27	32	–	52	9	–
		HGAF 3	23	61	–	44,5	17	–
HGCF Rebars	Glass - Carbon Fiber	HGCF 1	29	–	14	56	–	5
		HGCF 2	26	–	30	50,4	–	10,6
		HGCF 3	22	–	54	42,6	–	19

Table 3

Unit weight improvement of HFRP-bars

Group	Average unit weight, gm/cm^3	Fiber Volume Fraction V_f, %			V_A or V_C/ V_f , %		Percentage of unit weight improvement, %
		V_G	V_A	V_C	V_A/ V_f	V_C/ V_f	
GF	2,77	61	–	–	0	0	–
HGAF1	2,26	55	5	–	8,33	0	18,41
HGAF2	2,20	52	9	–	14,75	0	20,58
HGAF3	2,08	44,5	17	–	27,64	0	24,91
HGCF1	2,36	56	–	5	0	8,16	14,8
HGCF2	2,2	50,4	–	10,6	0	17,38	20,58
HGCF3	2,14	42,6	–	19	0	30,84	22,74

According to the research program, seven different types of manufactured bars were produced. These manufactured bars are divided into three groups, Table 2. The produced bars have a constant diameter of 8,5 mm. According ACI 440 [2], the suitable fiber volume fraction (V_f) ranges from 50 % to 70 %. So, an average fiber volume fraction (V_f) of about 61 % was used for bars production in this research. Table 2 shows the fiber volume fractions (V_f) and number of yarns for the different produced bars.

Unit weight of HFRP rebars

The purpose of this test is to estimate the unit weight of the manufactured bars. The unit weight of the HFRP-bars is calculated using the equation:

$$g = \frac{4W}{p\,d^2 L_s}$$

Where γ is the unit weight of the HFRP bars, W is the total weight, d is the diameter of HFRP bar, and L_s is the Specimen length. The percentage of unit weight improvement with respect to the Glass FRP bars unit weight for the different ratios of Aramid or Carbon fiber to the total fiber volume fraction in the produced bars is presented in Table 3.

Tensile strength test
Test specimens

Because of the brittle nature of the FRP bars, they usually fail in the gripped zones when tested in tension leading to inaccurate results. Therefore, the design and development of the test specimens should include suitable gripping mechanism to assure that the failure takes place away from the gripped zones. In this research the special precautions mentioned in ACI-440 [4] were applied. The precautions are to use steel tube end anchors on both ends of the tested bars to allow for uniform distribution of the load applied from the testing machine to the test

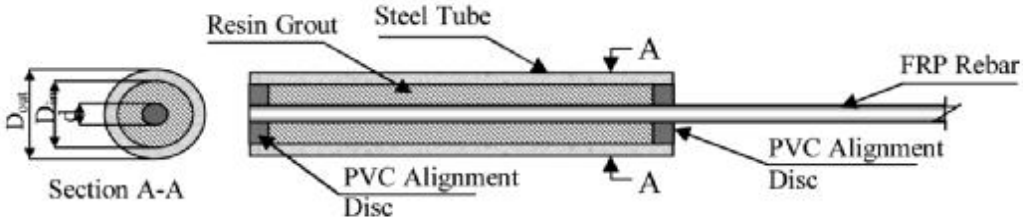


Fig. 6. Details of the used anchorage system

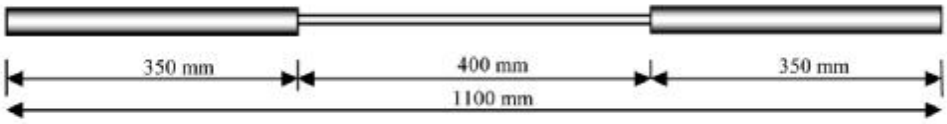


Fig. 7. Dimensions of a typical test specimen

Table 4

Experimental Test Results

Specimen Code		Average Ultimate Load, Ton	Average Ultimate strength, kg/cm^2	Average Modulus of Elasticity, GP	Average Ultimate Strain, %
GF		6,89	12142	41,43	3,03
HGAF	1	6,35	11190	44,29	2,87
	2	6,43	11331	45,65	2,76
	3	6,62	11666	50,07	2,67
HGCF	1	6,13	10803	50,47	2,47
	2	6,43	11331	55,74	2,85
	3	5,85	10309	65,35	2,81

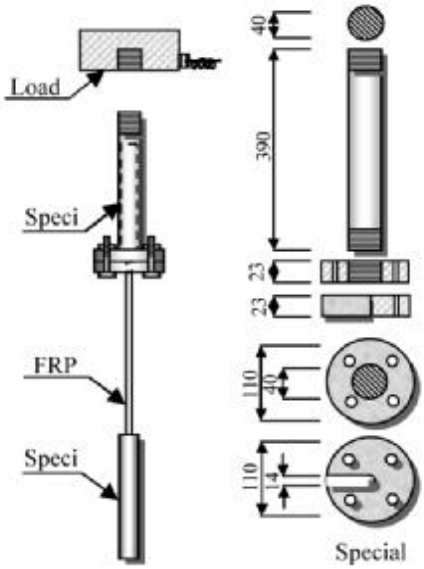


Fig. 8. Schematic diagram of special assembly details and dimensions [4]

Fig. 9. Test setup and instrumentations

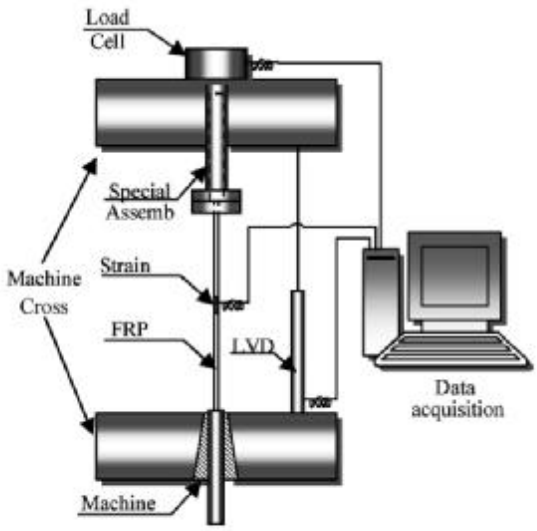


Fig. 9 (cont.)

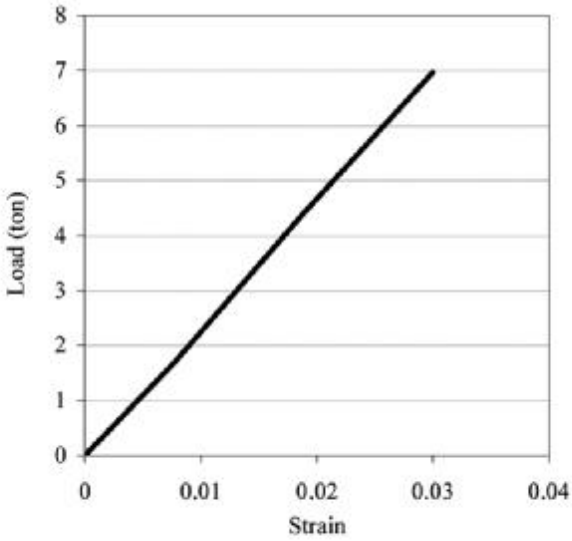


Fig. 10. Load-Strain relationship for pure glass fibers, $V_f = 61$

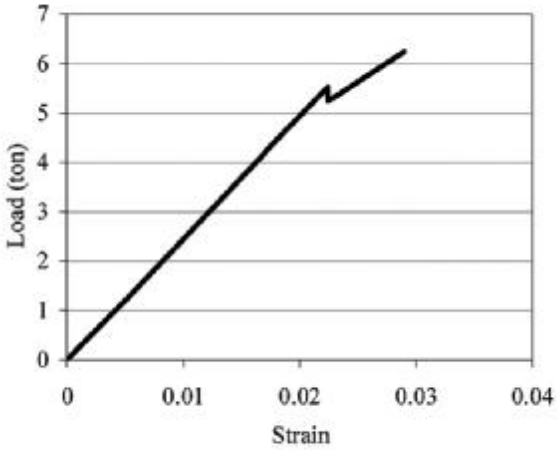


Fig. 11. Load-strain relationship for aramid-glass (HGAF 1), $V_G = 55$ %, $V_A = 5$ %

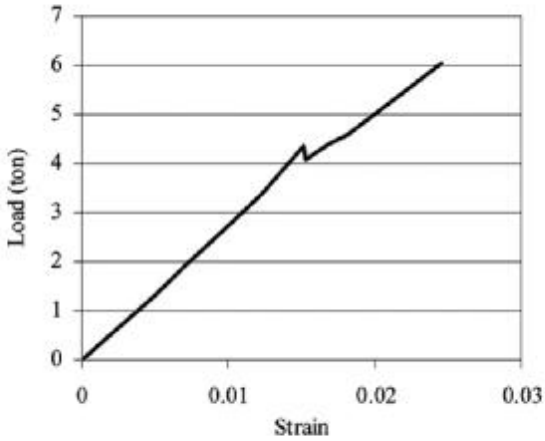


Fig. 12. Load-strain relationship for carbon-glass (HGCF 1) $V_G = 56$ %, $V_C = 5$ %

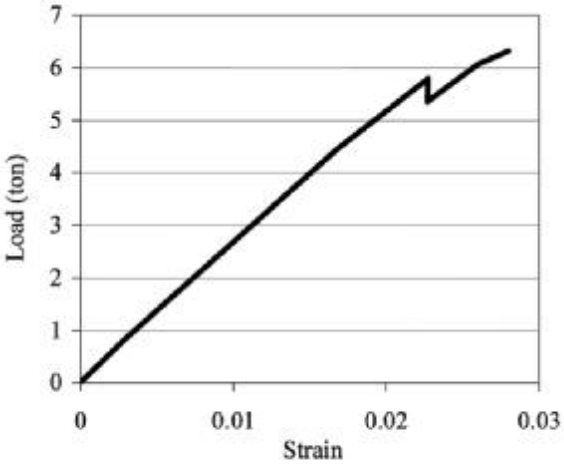


Fig. 13. Load-strain relationship for aramid-glass (HGAF 2), $V_G = 52$ %, $V_A = 9$ %

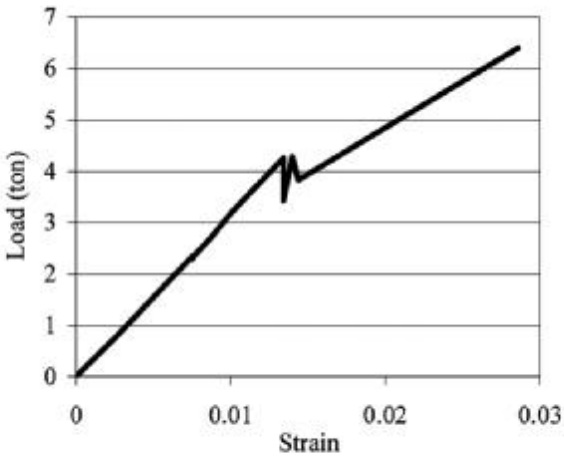


Fig. 14. Load-strain relationship for carbon-glass (HGCF 2), $V_G = 50{,}4$ %, $V_C = 10{,}6$ %

specimen. The anchorage system, Fig. 6, composed of a steel tube of 28 mm and 20 mm external and internal diameter, respectively. The steel tube was filled with a high performance resin grout to assure good bond between the bar and the steel tube. Figure 6 shows a schematic diagram of the details of the used anchorage system. Figure 7 shows a schematic diagram and the dimensions of typical test specimen.

Test setup

In order to satisfy the minimum requirements for the tension test specimens as recommended by ACI-440 [4], the test specimens were provided by a special assembly that consists of steel tube with screwed ends to attach the specimen anchor to the load cell as shown in Fig. 8. Figure 9 shows a schematic diagram of the test setup for tensile characteristic measurements.

A universal testing machine of a capacity of 500 kN was used. A steel anchor tube of external and internal diameters of 28 mm and 20 mm respectively, and 350 mm length was used and constructed so as to transmit loads axially from the testing machine to the test specimen. Load cell of an accurate capacity of 50 N and 240 kN was used and connected to the Data acquisition system that was used for collecting all required readings during the test.

Test results

A summary of test results are presented in Table 4. The load-strain relationships of tested bars are given in Fig. 10 through Fig. 16. It was observed that the failure of all test specimens took place in the middle third of the specimens‘ length where the fibers broke and the damage spread throughout the specimens‘ length, as shown in Fig. 17. With reference to Fig 10, it is clear that GFRP bars showed linear behavior until failure. The bars also showed a clear brittle failure. For bars manufactured with hybrid aramid-glass fibers with aramid-glass fibers percentages V_G = 55 %, V_A = 5 % (HGAF1), Fig. 11, the bars showed linear behavior until about 87 % of the ultimate load, where a sudden drop in the load-strain curve occurred. Then the load-strain rate was shown to be lower than that before the drop. This behavior indicates little bet ductile behavior compared to that of the pure GFRP bars. Similar behavior was shown by the carbon-glass hybrid fiber bars with V_G = 56 %, V_C = 5 % (HGCF1), Fig. 12, but with better ductile behavior as the load-strain dropped at about 70 % of the ultimate load. Also bars manufactured with aramid-glass hybrid fibers with aramid-glass fibers percentages V_G = 52 %, V_A = 9 % (HGAF2), showed similar behavior as that for HGAF1 bars but with better failure criteria, Fig. 13. Figure 14 indicates that the bars manufactured with carbon-glass hybrid fibers, with fibers percentages V_G = 50,4 %, V_C = 10,6 % (HGCF 2), showed a yielding zone at load about 65 % of the ultimate load, also the load-strain rate was clearly low after yielding. The same behavior was observed for bars manufactured with aramid-glass fibers, with fibers percentages V_G = 44,5 %, V_A = 17 % (HGAF 3), but with higher yield/ultimate loads ratio, Fig. 15. For bars manufactured with carbon-glass hybrid fibers, with carbon-glass fibers percentages V_G = 42,6 %, V_C = 19 % (HGAF 3), the load-strain behavior was linear until a clear yielding occurred at load about 80 % the ultimate load. After yielding, the load-strain rate was clearly low and the load-strain curve deviated clearly towards the x-axis showing a clear semi-ductile behavior, Fig. 16.

Test results as indicated in this section revealed that the aramid and carbon fibers improve the behavior and the ductility of GFRP rebars when used with glass fibers in manufacturing the hybrid fibers-reinforced polymers rebars.

Comparing the load strain curves for the hybrid bars to that of the Glass bars as shown in Figs. 18 and 19 revealed that, the manufactured hybrid bars failed in a kind of semi-ductile manner simulating to some extent the behavior of conventional steel reinforcement. Figures 18 and 19 also indicate that the effect of carbon fibers is more significant than the effect of aramide fibers in improving the behavior and the ductility of the hybrid rebars in this research. Also the enhancement in the behavior and ductility of HFRP rebars due to the increase in the percentage of the carbon fibers in the carbon-glass total content, is more clear compared to similar increase in the aramid fibers perentage in the aramid-glass total content, Figs. 18 and 19.

Modulus of elasticity

Figure 20 shows the effect of the different ratios of aramid and carbon fibers in the total fiber volume fraction on the modulus of elasticity of bars in this research. It is clear from Fig. 20 that, increasing the aramid or carbon ratio in the total fiber volume fraction in tested bars, increases their initial modulus of elasticity compared to that of pure glass rebars. This is because that aramid and carbon yarns have higher modulus of elasticity relative to glass yarns, Table 1. It is also indicated in Fig. 20 that, rebars manufactured using hybrid carbon-glass fibers showed higher modulus of elasticity than those for bars manufactured using hybrid aramid-glass fibers. The increase in the modulus of elasticity for the aramid-glass bars compared to that for pure glass fibers bars was estimated as 6,9, 10,19 and 20,85 % corresponding to percentage of aramid fibers in the total fibers content of 8,33, 14,75 and 27,64, respectively. Also the increase in the modulus of elasticity for the carbon-glass bars compared to that for pure glass fibers bars was estimated as 21,82, 34,54 and 57,74 % corresponding to percentage of carbon fibers in the total fibers content of 8,16, 17,38 and 30,84, respectively.

Summary and conclusions

This paper studies the feasibility of using locally available materials and facilities in producing hybrid FRP

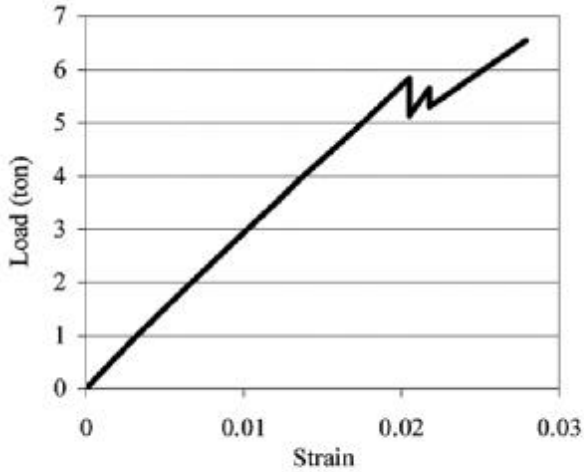


Fig. 15. Load-strain relationship for aramid-glass (HGAF 3), V_G = 44,5%, V_A = 17 %

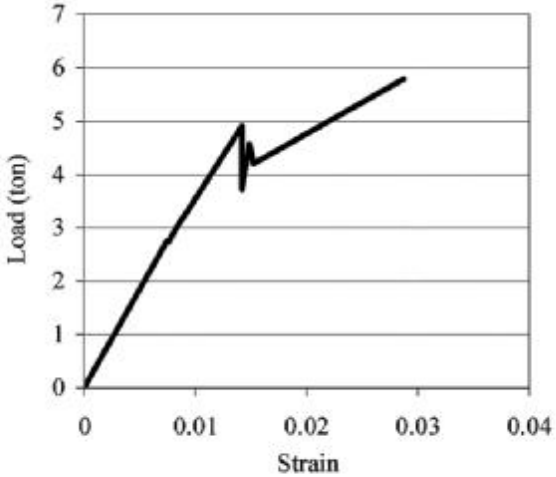


Fig. 16. Load-strain relationship for carbon-glass (HGCF 3), V_G = 42,6 %, V_C = 19 %

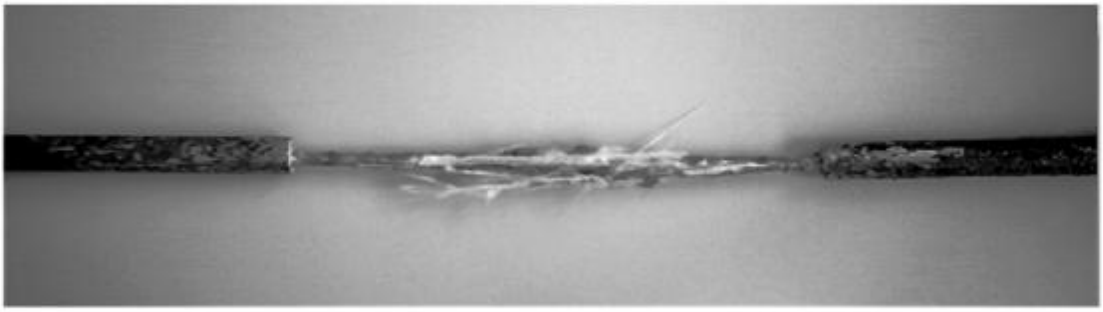


Fig. 17. Typical Failure mode of Tested Rebars

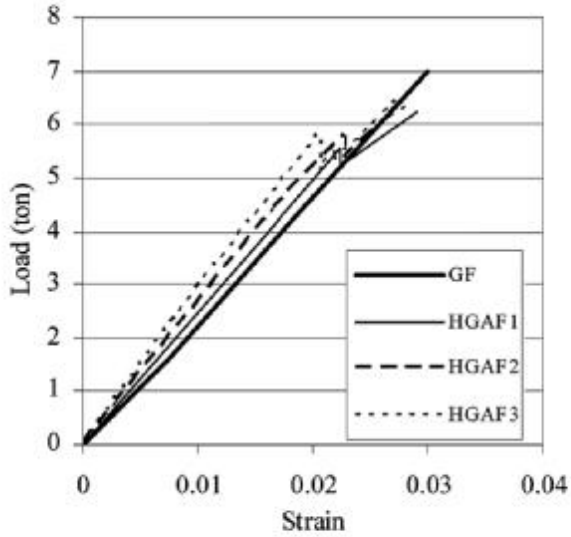


Fig. 18. The Load-strain relationship for aramid-glass FRP rebars with different volume fraction

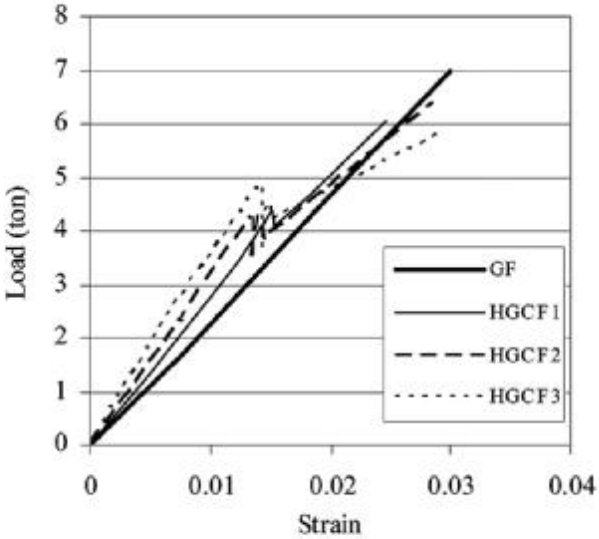


Fig. 19. The Load-strain relationships for carbon-glass FRP rebars with different volume fraction

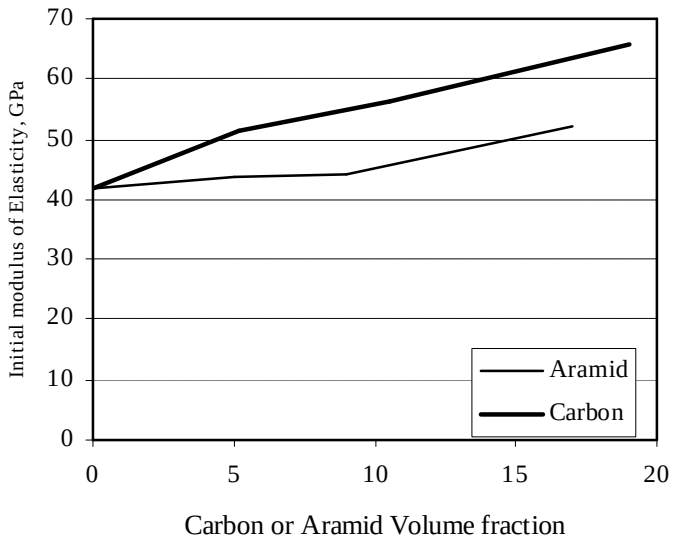


Fig. 20. Effect of aramid and carbon fibers on the initial modulus of elasticity of HFRP rebars

rebars with improved ductility characteristics using glass, carbon, and aramid fibers. Based on the results of the current research, the following conclusions could be drawn:

1. Hybrid fiber-reinforced polymers rebars manufactured using aramid-glass or carbon-glass fibers in this research, have lower unit weight compared to pure glass rebars and improve their behavior and the failure criteria. The percentage in the reduction in the unit weight was estimated as 20 % as an average. Also HFRP rebars showed strength/weight ratio higher than that for pure glass FRP rebars. The increase in the strength/weight ratio was estimated as 20 % and 11 % for aramide-glass and carbon-glass rebars, respectively. The optimum increase in the strength/weight ratio was recorded for aramid-glass rebars with volume fraction of 17 % and 44,5 % for aramid and glass fibers, respectively.

2. Increasing Carbon or aramid volume fraction in total fiber content in hybrid rebars, increases significantly their initial modulus of elasticity, but carbon fibers are more effective than aramid fibers in increasing the initial modulus of elasticity of hybrid rebars. The improvement in the initial modulus of elasticity was estimated as 11 % and 38 % for aramid-glass and carbon-glass hybrid rebars, respectively. The optimum improvement in the initial modulus of elasticity was recorded for carbon-glass rebars with volume fraction of 19 % and 42,6 % for carbon and glass fibers, respectively.

Generally it can be concluded that using the aramid fibers with glass fibers in HFRP rebars is more effective than using carbon fibers in enhancing significantly the rebars strength-to-weight ratio. While the carbon fibers are more effective when used with glass fibers in enhancing the initial modulus of elasticity of HFRP rebars.

Refrences

1. A. Belarbi, K. Chandrashekhara, and S.E. Watkins. Performance Evaluation of Fiber Reinforced Polymer Reinforcing Bar Featuring Ductility and Health Monitoring Capability. 1999.
2. ACI 440.1R-03 Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars. Committee 440, American Concrete Institute, 2003.
3. ACI 440.R-96 State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. Committee 440, American Concrete Institute, 1996.
4. ACI 440 Recommended Test Methods for FRP Rods and Sheets. ACI Committee 440, American Concrete Institute, 15 February 2001.
5. B. Saikia, J. Thomas, A. Ramaswamy and K.S. Nanjunda Rao. Performance of hybrid rebars as longitudinal reinforcement in normal strength concrete. Journal of Materials and Structures ,volume38, December 2005, pp. 857-864.

УДК 661.65

А.В. Заруев
О.Л. Фиговский – профессор, член Европейской АН, иностранный член РААСН (Израиль)
Полимат-Ltd – Международный Исследовательский Центр Нанотехнологий, Мигдал-Хаемек, Израиль

ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА НОВОГО УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО КАРБИДА БОРА B_4C, ПОДОБНОГО АБРАЗИВНОМУ АЛМАЗУ, НА ОСНОВЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ

АННОТАЦИЯ
Главный революционный результат исследовательской работы – создание нового, чистого, абсолютно прозрачного, белого продукта Карбида Бора, обладающего самыми высокими характеристиками, такими как твердость, прочность, равными алмазу. Такой материал будет иметь много практических применений в различных областях промышленности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Карбид Бора, твёрдость, прочность.

A.V. Zaruev
O.L. Figovsky – professor, member of EAS, foreign member of RAABS (Israel)
Polymate Ltd. – International Nanotechnology Research Center (Polymate-INRC), Migdal-HaEmek, Israel

PRODUCTION PROCESS OF THE NEW ADVANCED NANO-BASED SUPER ABRASIVE DIAMOND-LIKE B_4C MATERIAL

ABSTRACT
The main revolutionary result of research work is the creation of the new advanced absolutely pure transparent white Boron Carbide product, possessing the highest possible properties such as hardness, strength, equal to those of diamond. Such material will have many practical usages in the different fields of industry.

KEYWORDS: Boron Carbide, hardness, strenght.

Introduction

The constantly accelerating development of the science and technology at the last time leads to that interest to the traditional materials diminishes because of that their properties doesn't correspond to new requirements. And their further improvement has exhausted itself, both for alloys and abrasives.

The brightest representatives of the contemporary advanced super hard materials are diamonds, both natural and synthetic ones, CBN and traditional boron carbide in bulk. However, the above mentioned materials also have some certain drawbacks. So, for example, diamonds, possessing excellent properties for industrial applications: hardness, strength, wearability and used as jewelry, are very expensive, the natural ones are limited in resources and synthetic ones require very complex technology for their production.

The synthetic diamonds, though they are cheaper than natural ones, however, are more than enough expensive for the mass usage in the abrasive industry. Besides that, their production technology is very complex and level of production is insufficient for the wider usage as abrasives in all fields of industry.

The CBN is second in hardness to diamond, but its usage is limited by very complex production technology and very specific application. It includes impurities from raw materials, which prevents its possible usage for electronics or other precision technologies.

The existing traditional boron carbide is much cheaper than above mentioned materials, possesses high strength and hardness. However, the presence of big quantity of impurities caused both by inclusions of impurities from raw materials and by not fully reacted raw materials when particles contact. We put the following task – to create a new material, which corresponds to diamond in properties of hardness, strength and wearability is relatively simple in the process of production and has very low production costs, close to traditional boron carbide production costs.

This material is a new advanced Diamond-Like Mono Crystalline Boron Carbide (DLCBC) powder according to Israeli patent № 126637. In more detail this product and technology of its production was disclosed by us in the article [1].

The task of the present article is to describe the phenomena and chemical and physical processes, taking place at the creation of this above material DLCBC.

Materials and methods
Traditional Boron Carbide

The previous technologies of traditional Boron Carbide require thorough crushing / comminution and mixing of dry powdered source raw materials for the case of two materials, marked M1 and M2, please, find Figure 1A. Nevertheless, the particle sizes of raw materials before processing may constitute from 25 to 15 μk with later compressing into tablets and sintering in the furnace, – and this presents the phenomenon of low speed solid phase hot diffusion reaction process, wherein there is the diffusion of atoms of carbon and boron from one particle to another, with according reaction between them, which is depicted by straight arrows and simple adhesion by sintering is depicted by distorted arrows.

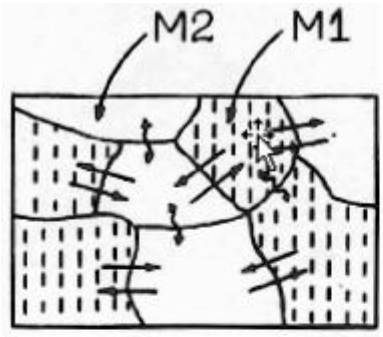
Figure 1B depicts the case for four dry powdered different raw materials, marked as M1 to M4. In the both cases Figures 1A and 1B, it is evident that diffusion process of all materials into one another is more difficult, giving insufficient quantity of atoms to secure fully reacted destination materials molecules.

Figure 2 depicts in more detail schematic formation of not fully reacted zones in the case of solid phase hot diffusion reaction process for the older powder metallurgy type boron carbide production processes. It is evident that interface between powder particles of boron or boron oxide, marked by M2, and carbon, marked M1, may easily get sufficient saturation to produce fully reacted boron carbide with formula B_4C, marked for more general case as $M1_n \cdot M2_m$ and there will remain zones with insufficient saturation, giving B_xC_y, for more general case depicted as $M2_xM1_y$ and B_yC_x, depicted for more general case as $M2_yM1_x$.

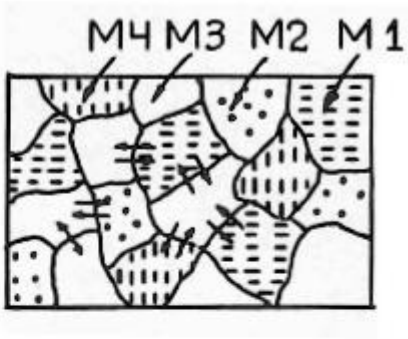
The result of the such incomplete hot diffusion reaction process is depicted in Fig. 3, wherein there are the core boron and carbon particles, marked as B and C, between which there are compounds of the types: B_yC_x and B_xC_y, and saturated zone of reaction, marked as B_4C.

The above phenomenon necessarily gives a fully reacted boron carbide surface layer B_4C on an interface of compressed macro particles within the said tablets, then partially reacted intermediate layer B_xC_y and may contain small non-reacted particle cores of Boron and Carbon, for every particle of raw materials, which are then processed into boron carbide aggregates with included impurities, originating of source materials' impurities and non-fully reacted zones. Those intermediate layers plus particle cores and impurities together weaken the resulting aggregate strength, hardness and wear resistance. *And these are the main disadvantages of the traditional technologies for production of traditional boron carbide in bulk.*

1A



1B



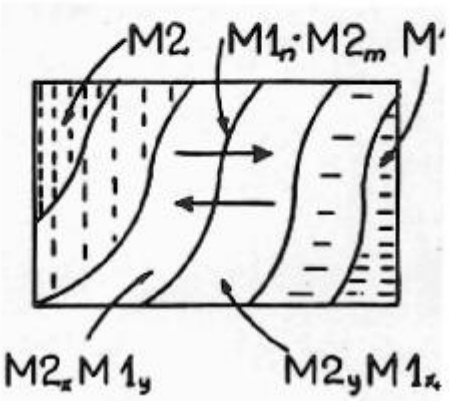


Fig. 1, 2. Thermal diffusion movement of materials M1, M2, M3 and M4 and formation of non-dtoichiometric compounds

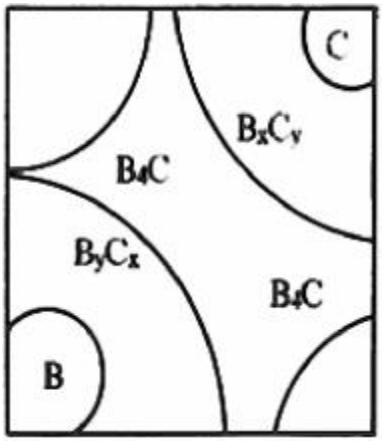


Fig. 3. Boron B and Carbon C particles interactions in the older powder metallurgy processes

The new advanced nano-based tecnological diamond-like boron carbide production process and accompanying phenomena

The offered new Nano-based solution type interdisciplinary chemical and physical Diamond-Like Boron Carbide technological production process has eliminated above disadvantages by securing an intermolecular level of mixing between soluble B-containing components and C-containing components, with the addition of activators / catalysts and synergists like organic acids in corresponding liquid medium.

New advantages and innovative features

In comparison with the old furnace – type boron carbide producing technologies, the present solution based innovative technology has immeasurable advantages: purity up to 99.9 % for boron carbide in bulk and up to 99.99 % for white high clarity mono crystalline B_4C, intended for substitution of the saw-grade and other diamond powders, intended for precision grinding, polishing powders and pastes.

The process generally comprises of three technological stages.

- ***The first*** technological stage is dissolution with mixing and filtration of the principally new soluble raw materials composition, taken from boron containing compounds like B_2O_3 or H_3BO_4, sugars and one or several organic acids. For dissolution we can use a vessel, which is preferably a heated chemical reactor, equipped with mixing, filtering and circulating devices, which operates preferably at the temperature from $+25^0$ Celsius up to $+100^0$ Celsius and at the atmospheric pressure.
- ***The second*** stage is a special drying process of the above said true solution after which we receive a voluminous dry charge, whose components are already mixed on a intermolecular level without any insoluble impurities present. This advantage means that every molecule or atom, participating in the reaction, is placed in the closest proximity to every other participating reacting molecules, in spite of we get also condensed particles after drying.The said drying stage should preferably use an atomizing drying machine, which operates still more preferably, by way of example, at the temperature interval from +75 degrees Celsius up to +350 degrees Celsius. This advantage eliminates the low speed solid phase hot diffusion process, which was substituted with an innovative growth of mono crystals from said voluminous dry charge by means of thermal decomposition of B-containing, C-containing components and organic acids in the controlled atmosphere, that in its turn provides getting active ions and / or ionic groups, procuring multi crystals growth in the whole volume of dry voluminous charge. And this secures getting of pure crystalline boron carbide powder.
- ***The third*** stage is the synthesis stage, wherein during processing time period of 1 hour we can produce mono crystalline almost 99.99 % pure boron carbide of the uniform size and form, in the form of fully transparent white pyramidal crystals with fraction sizes about 5 to 15 μk, and during processing time up to 4 hours we can produce mono crystals up to 50-75 μk in one technological operation, without need to comminute and sieve them once more, please, find Figure 4.

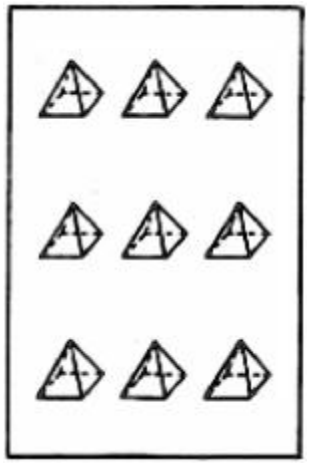


Fig. 4. The Produced Diamond-Like Boron Carbide Mono Crystals

The synthesis stage phenomena is thermal decomposition of the dry voluminous charge particles, formation of the activated / excited plasma-like ion cloud, formation of boron carbide molecules by attraction according to their level of affinity and another attraction type, securing formation of boron carbide molecules clusters and then growth of boron carbide molecules clusters into mono crystals with Natural lattice.

The said synthesis operation begins with thermal decomposition of source chemicals charge at 300 ^{0}C to 350 ^{0}C and is substantially performed within temperature

Table

Calculation of the possible reaction of raw materials components

Formula of compound	Carbon (12) content	Boron (10.82) content	Hydrogen (1) content	Oxygen (16) content	Weight of 1 g*mol, gram
$1*C_6H_{14}O_7$	6	–	14	7	1*198.00 = 198.00
$12*H_3BO_3$	–	12	36	36	12*61.82 = 741.84
$2*(C_2H_4O_2)$	4	–	8	4	2*60.00 = 120.00
Total left	10	12	58	47	1,059.84
Formation					
$- 3*B_4C$	- 3	- 12			- 3*55.28 = -165.84
$- 29*H_2O$			- 58	- 29	- 29*18 = - 522.00
Subtotal 1 right	7	0	0	18	
$- 7*CO_2$	- 7			- 14	- 7*44 = - 308
Subtotal 2 right	0	0	0	4	
$- 2*O_2$				4	- 4*16 = - 64
Total right					- 1,059.84

range from about 1,200 ^{0}C and higher and still more preferably within temperature interval from 1,750 ^{0}C to 2,450 ^{0}C. The phenomenon of synthesis can be called a plasma-like activated / excited ion cloud crystalline boron carbide growth process.

Soluble impurities are removed during synthesis stage by sublimation, as affinity of activated boron atoms to activated carbon atoms and then of boron carbide molecules to one another is immeasurably higher than ability of soluble impurities, suspended in the overheated gas phase of CO_2 and H_2O, to be deposited on crystal growth surfaces.

In the Table 1 we show a preferable approach to calculation of the possible reaction balance according to gram mole concentrations of raw materials components, which helps to envision the preferable formation of new molecules according to their affinity and also exhaust gas composition

Conclusion

1. Product. The main revolutionary result is the creation of the new advanced absolutely pure transparent white pyramidal Diamond-Like Mono Crystalline Boron Carbide product, possessing the highest possible properties such as hardness, strength, wearability, equal to those of diamond. And such material will have many practical usages in the different fields of industry. For example, cutting formed tools, saws and disks, precision grinding, polishing powders and pastes, heat protective coatings, substrates for high T ^{0}C high power microchips in electronics, magnetron sputtering targets, jewelry, and other conventional applications

2. Process. There was developed a Nano-based solution-type interdisciplinary (chemical and physical) process for the production of the above new Diamond-Like Boron Carbide product. The process uses an innovative soluble raw materials composition, chosen of very cheap industrial quality materials. This technology is very simple and uses standard industrial equipment for this process.

3. Phenomena of the DLCBC product processing.

- ***The first phenomenon*** is dissolution with mixing and filtering out of insoluble impurities of the principally new soluble raw materials composition, taken from boron containing compounds like B_2O_3 or H_3BO_4, sugars and one or several organic acids, at temperatures preferably 25 ^{0}C to 100 ^{0}C, if medium is water or water plus alcohol.
- ***The second phenomenon*** is a special atomizing drying process of the above said true solution after which we receive a voluminous dry charge, whose components are already mixed on an intermolecular level without any insoluble impurities present. The preferable temperature interval is from +75 ^{0}C up to +350 ^{0}C.
- ***The third phenomena*** is the integrated thermal decomposition of dry source chemicals charge at 300 ^{0}C to 350 ^{0}C, and synthesis which goes through 1,200 ^{0}C up to 1,750 ^{0}C to 2,450 ^{0}C. This phenomenon can be called a plasma-like activated / excited ion cloud crystalline boron carbide growth process.

References

1. A. Zaruev, V. Vololashik, O. Figovsky. The chemical and physical aspects of a production process of the new advanced nano-based super abrasive diamond-like B_4C material sita - journal, vol.10, No. 2, pp.155-159.
2. Israeli patent № 126637 “Diamond-Like Crystalline Boron Carbide Powder Production Method, the Product, Made Thereof and Pilot Plant for the Production of Same”, 2002.

УДК 691:[628.518:539.16]

Е.В. Королев – доктор технических наук, профессор
А.Н. Гришина – аспирант
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты выбора эффективных элементов для защиты от ионизирующего излучения, предложены составы радиационно-защитных материалов для ослабления различных видов излучения. Установлены зависимости эффективности ослабления излучения жидкостекольным композитом от характеристик вяжущего и его содержания в системе. Сформулированы основные принципы создания радиационно-защитных композитов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Ионизирующие излучение, защитные характеристики, эффективность, химические элементы, состав материала.

E.V. Korolev – doctor of technical sciences, professor
A.N. Grishina – post-graduate student
Penza State University of Architecture and Construction (PSUAC)

BASIC PRINCIPLES OF RADIATION PROTECTIVE MATERIALS CREATION. DETERMINATION OF THE EFFICIENT CHEMICAL COMPOSITION

ABSTRACT

The results of selection of the efficient elements for protection from radiation are presented; compositions of radiation protective materials for different types of radiation weakening are offered. The dependencies of radiation weakening efficiency in case of liquid glass composites upon the binding material characteristics and its presence in the system are determined. The basis principles of creation of radiation protective composites are formulated.

KEYWORDS: Ionizing radiation, protective characteristics, efficiency, chemical elements, material composition.

Введение

Широкое использование на практике источников ионизирующего излучения и приоритетное значение атомной промышленности и энергетики требуют уделять особое внимание вопросам обеспечения экологической безопасности на всех этапах атомного цикла. Важным элементом системы экологической безопасности является защитный материал, который в зависимости от предназначения должен обеспечивать функционирование объекта и (или) надёжное захоронение образующихся радиоактивных отходов.

Специфика взаимодействия ионизирующего излучения с веществом накладывает определённые ограничения на возможности материаловедов в синтезе защитных материалов. Очевидно, что структура радиационно-защитного материала должна быть плотной, обеспечивающей эффективное поглощение излучения. При этом такие материалы, вследствие значительных структурных преобразований, не будут обладать высокой стойкостью. Кристаллическая структура радиационно-стойкого материала должна быть рыхлой, обеспечивая относительную «прозрачность» материала к излучению. Отсюда очевидно, что эффективность защитного материала определяется видом излучения, предназначением и химическим составом композита.

Выбор химических элементов. Практика эксплуатации особо тяжёлых и гидратных бетонов показывает, что эффективность таких материалов определяется сочетанием лёгких, средних и тяжёлых элементов [1]. При выборе таких элементов необходимо учитывать как их защитные характеристики, так и доступность (объём добычи). Одним из возможных обобщённых критериев выбора химических элементов для радиационно-защитных материалов является функционал:

$$k_{ef} = \frac{(V_д)_i}{(V_д)_э}\left[\alpha_1 \frac{(\mu_\gamma)_i}{(\mu_\gamma)_э} + \alpha_2 \frac{(\Sigma_б)_i}{(\Sigma_б)_э} + \alpha_3 \frac{(\Sigma_т)_i}{(\Sigma_т)_э}\right], \quad (1)$$

где μ_γ – коэффициент ослабления гамма-излучения; $\Sigma_б$ – коэффициент выведения быстрых нейтронов; $\Sigma_т$ –

Таблица 1

Значения k_{ef} для некоторых элементов

Значения k_{ef}			
1-0,1	0,1-0,01	0,01-0,001	0,001-0,0001
H	C, Na, Cl, Mn, Fe	N, O, Al, S, K, Ca, Pb	B, F, Cu, Cr, Zn, Ba, Si

коэффициент выведения тепловых нейтронов; $V_д$ – объём добычи элемента; α_i – коэффициенты весомости; индексы «*i*» и «э», соответственно, относятся к выбираемому и эталонному элементам.

Базами данных могут служить геологические сведения и физические свойства элементов, например [2, 3]. Для расчёта по функционалу (1) эталонными элементами выбраны: плутоний (при энергии гамма-излучения 0,5 МэВ – μ_γ=82,2 см$^{-1}$; при энергии 1,0 МэВ – μ_γ=32,4 см$^{-1}$; при энергии 2,0 МэВ – μ_γ=19,6 см$^{-1}$), гадолиний ($\sum_т$ = 49000 барн) и водород ($\sum_б$ = 0,344 см$^{-1}$).

Анализ расчётных данных показывает, что значения критерия эффективности имеют существенный разброс: большинство элементов имеют значение k_{ef} < 0,0001. Только 20 элементов обладают достаточно высокими значениями k_{ef} (табл.1).

Также следует отметить, что распределение элементов по атомной массе соответствует основным положениям космохимии [4] (наибольшее количество химических элементов относятся к лёгким и средним элементам).

Анализ справочных данных (рис. 2) показывает, что радиационно-защитные свойства химических элементов для каждого вида излучения (кроме тепловых нейтронов) изменяются в зависимости от заряда ядра атома: с его увеличением эффективность защиты от гамма-излучения возрастает, а коэффициент выведения быстрых нейтронов уменьшается.

Это вызывает естественные сложности при определении химического состава защитного композита: при использовании критерия

$$k^{/} = \frac{1}{3}\cdot\left[\frac{(m_g)_i}{(m_g)_э} + \frac{(\Sigma_б)_i}{(\Sigma_б)_э} + \frac{(\Sigma_т)_i}{(\Sigma_т)_э}\right]$$

элементами, эффективными для защиты от ионизирующего излучения, являются: водород, свинец, кремний, а при использовании критерия вида:

$$k^{//} = \sqrt[3]{\frac{(m_g)_i}{(m_g)_э}\cdot\frac{(\Sigma_б)_i}{(\Sigma_б)_э}\cdot\frac{(\Sigma_т)_i}{(\Sigma_т)_э}}$$

эффективные элементы – кремний, хлор, марганец.

Очевидно, что на основе указанных элементов синтезировать защитный композит с высокими показателями эксплуатационных свойств затруднительно.

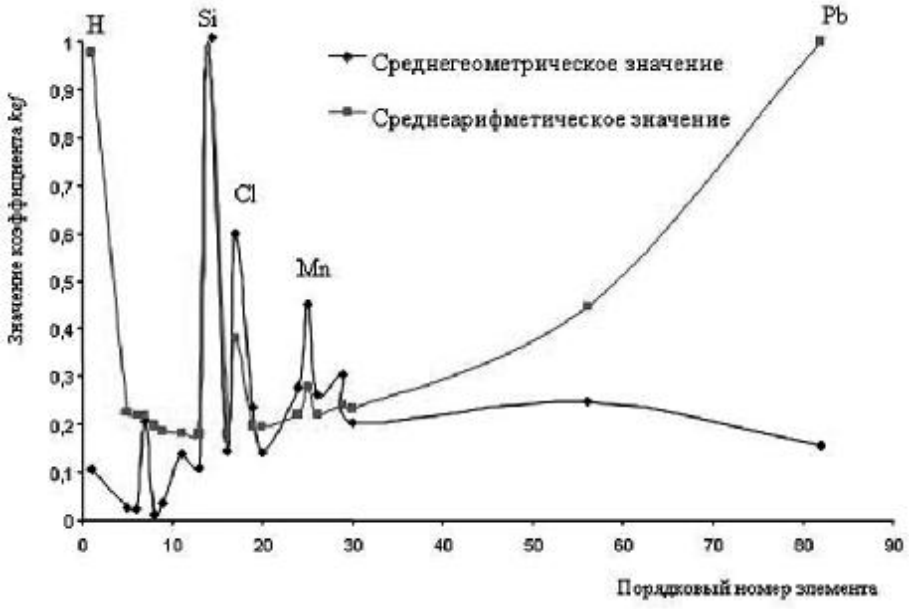


Рис. 1

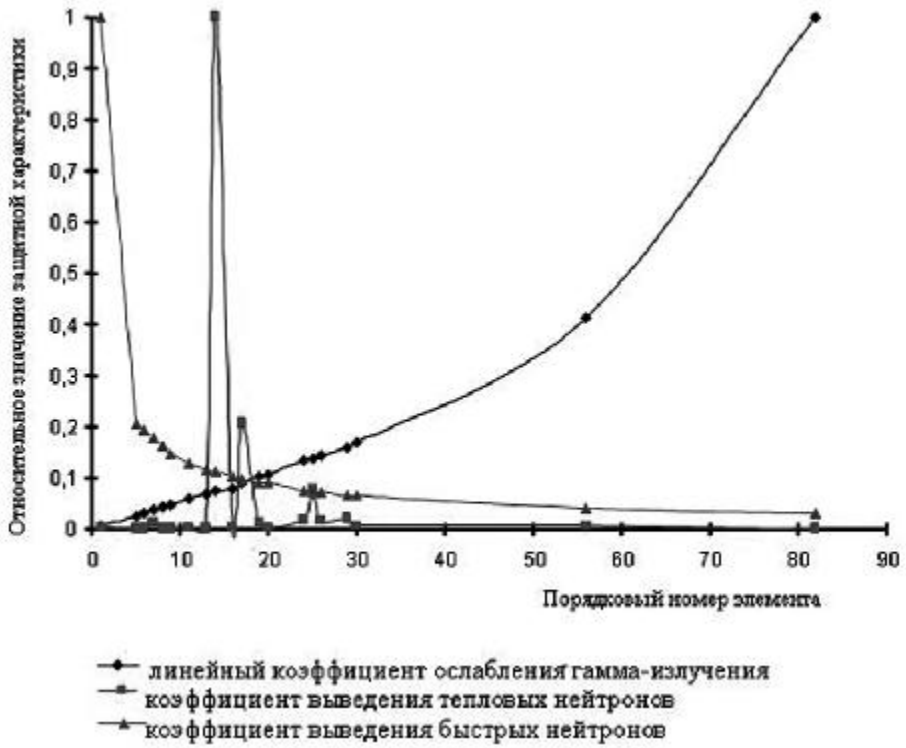


Рис. 2

Определение химического состава композита. Учитывая аддитивное влияние каждого элемента на величину защитных характеристик логично предположить*, что идеальный защитный материал должен содержать водород, кремний и свинец в равных количествах. Установление рецептурных ограничений на содержание отдельных указанных химических элементов приводит к пропорциональному увеличению содержания оставшихся эффективных элементов. Отсюда очевидно, что остальные химические элементы (кроме водорода, кремния и свинца) в композите будут содержаться в микроколичествах, выполняя при этом функции легирующих элементов, модификаторов и т.д.

Важным свойством, определяющим эффективность материала, является однородность состава, обеспечивающаяся равномерным распределением компонентов в объёме композита. Рациональным способом однородного распределения элементов, содержащихся в микроколичествах, является их размещение на высокоразвитой границе раздела фаз. Указанное предполагает целесообразность увеличения дисперсности специальных наполнителей и (или) предварительную обработку их поверхности, и синтез наноструктур.

*Отсюда также становится очевидным правомерность использования результатов определения эффективных элементов как среднеарифметического значения вкладов отдельных защитных характеристик.

Одним из вяжущих веществ, содержащих эффективные элементы (например, водород и кремний) является традиционно применяемое в строительной индустрии [5, 6], а также для изготовления радиационно-защитных бетонов является жидкое стекло. Его химический состав определяет количества натрия, кремния, кислорода и водорода в композите. Учитывая указанное и используя формулы для расчёта защитных характеристик ослабления излучения

$$м_г = с_k \sum_{i=1}^{20} P_i \left(\frac{м}{с}\right)_i ;$$

$$\Sigma_б = \sum_{i=1}^{20} P_i \left(\Sigma_б\right)_i ;$$

$$\Sigma_т = \sum_{i=1}^{20} P_i \left(\Sigma_т\right)_i ,$$

(где P_i – содержание элемента; $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i$ – массовый коэффициент ослабления гамма-излучения химическим элементом; ρ_k – средняя плотность композита), вычислены составы жидкостекольных композитов, имеющие максимальные значения обобщённого коэффициента эффективности ослабления

Таблица 2

Составы радиационно-защитных композитов на основе жидкого стекла и их защитные характеристики

Композиция	Химический состав, %																				Защитные характеристики		
	H	O	Na	Si	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	Al	S	Cl	K	Ca	[illegible]	Mn	Fe	Cr	Zn	Ba	Pb	μ_γ*, $см^{-1}$	$\Sigma_n \cdot 10^2$, $см^{-1}$	Σ_t, барн
Состав № 1 (содержание жидкого стекла 25 %, M_{Si} = 3, $m(H_2O)$ = 4,5)	0,70	14,92	3,55	6,51	$1,09 \cdot 10^{-6}$	$1,78 \cdot 10^{-6}$	$4,99 \cdot 10^{-7}$	$7,80 \cdot 10^{-7}$	$1,73 \cdot 10^{-7}$	$3,09 \cdot 10^{-7}$	$4,28 \cdot 10^{-6}$	$1,57 \cdot 10^{-7}$	$1,62 \cdot 10^{-7}$	$1,92 \cdot 10^{-6}$	$1,52 \cdot 10^{-6}$	$1,40 \cdot 10^{-6}$	$1,22 \cdot 10^{-7}$	$2,58 \cdot 10^{-4}$	$2,83 \cdot 10^{-5}$	74,99	11,06	2,87	11,29
Состав № 2 (содержание жидкого стекла – 24 %, M_{Si} = 3, $m(H_2O)$ = 5)	1,35	18,90	3,41	6,25	$1,58 \cdot 10^{-6}$	$1,63 \cdot 10^{-6}$	$4,63 \cdot 10^{-7}$	$6,51 \cdot 10^{-4}$	$1,64 \cdot 10^{-4}$	$2,98 \cdot 10^{-4}$	$3,33 \cdot 10^{-5}$	$1,47 \cdot 10^{-4}$	$1,38 \cdot 10^{-4}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$	$1,42 \cdot 10^{-5}$	$1,31 \cdot 10^{-8}$	$1,14 \cdot 10^{-7}$	$2,41 \cdot 10^{-4}$	$2,62 \cdot 10^{-5}$	69,99	10,47	3,25	13,83
Состав № 3 (содержание жидкого стекла 24 %, M_{Si} = 3, $m(H_2O)$ = 4,5)	0,61	16,72	2,11	9,50	$1,53 \cdot 10^{-5}$	$1,65 \cdot 10^{-5}$	$4,30 \cdot 10^{-6}$	$6,81 \cdot 10^{-4}$	$1,64 \cdot 10^{-4}$	$2,99 \cdot 10^{-4}$	$3,38 \cdot 10^{-5}$	$1,47 \cdot 10^{-4}$	$1,38 \cdot 10^{-4}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$	$1,42 \cdot 10^{-5}$	$1,31 \cdot 10^{-8}$	$1,13 \cdot 10^{-7}$	$2,41 \cdot 10^{-4}$	$2,66 \cdot 10^{-5}$	69,99	10,37	2,36	16,38

Примечания: * – при энергии гамма-квантов 1МэВ; цветом выделены эффективные элементы, а также максимальные значения защитной характеристики отдельного вида излучения; $m(H_2O)$ – содержание воды в композите; M_{Si} – силикатный модуль жидкого стекла.

$$k_{ef} = б_1 \frac{\left[м\left(E_g\right)_i\right]}{\left[м\left(E_g\right)_{Pb}\right]} + б_2 \frac{\left(\Sigma_б\right)_i}{\left(\Sigma_б\right)_Н} + б_3 \frac{\left(\Sigma_т\right)_i}{\left(\Sigma_т\right)_{Si}} \to \max. \quad (2)$$

Анализ расчётных данных показывает, что значения k_{ef} зависят от количества жидкого стекла P_w (5…50%) и его силикатного модуля M_{Si} (1…15):

Для смешанного гамма-нейтронного (быстрые и тепловые нейтроны) излучения ($a_1 = a_2 = a_3$ =0,33 по уравнению (2))

$$k_{ef} = \left(9\cdot10^{-7} M_{Si}^3 + 3\cdot10^{-5} M_{Si}^2 + 3\cdot10^{-4} M_{Si} - \right.$$

$$\left. - 2{,}4\cdot10^{-3}\right)\cdot P_w + 0{,}3364 - 1\cdot10^{-6}\cdot M_{Si}^4 +$$

$$+ 3\cdot10^{-5} M_{Si}^3 - 2\cdot10^{-4} M_{Si}^2 + 6\cdot10^{-6} M_{Si};$$

Для смешанное гамма-нейтронного (быстрые нейтроны) излучения ($a_1 = a_2$ =0,5)

$$k_{ef} = -0{,}0042\cdot P_w + 0{,}5088 - 4\cdot10^{-7}\cdot M_{Si}^4 +$$

$$+ 10^{-5} M_{Si}^3 - 2\cdot10^{-4} M_{Si}^2 + 0{,}0009 M_{Si};$$

Для смешанного гамма-нейтронное (тепловые нейтроны) излучения ($a_1 = a_3$ =0,5)

$$k_{ef} = \left(2\cdot10^{-6} M_{Si}^3 + 6\cdot10^{-5} M_{Si}^2 + 6\cdot10^{-4} M_{Si} - \right.$$

$$\left. - 4{,}7\cdot10^{-3}\right)\cdot P_w - 0{,}4513 - 4\cdot10^{-4}\cdot M_{Si}^4 +$$

$$+ 1{,}18\cdot10^{-2} M_{Si}^3 - 13{,}48\cdot10^{-2} M_{Si}^2 + 0{,}6243 M_{Si};$$

Для нейтронного (быстрые и тепловые нейтроны) излучения ($a_2 = a_3$ =0,5)

$$k_{ef} = \left(10^{-6} M_{Si}^3 + 4\cdot10^{-5} M_{Si}^2 + 4\cdot10^{-4} M_{Si} - \right.$$

$$\left. - 0{,}3\cdot10^{-3}\right)\cdot P_w + 0{,}1411 - 5\cdot10^{-8}\cdot M_{Si}^4 +$$

$$+ 10^{-6} M_{Si}^3 + 2\cdot10^{-6} M_{Si}^2 + 0{,}0002 M_{Si}.$$

Составы некоторых жидкостекольных композитов, а также защитные характеристики приведены в табл. 2.

Анализ табл. 2 показывает, что обеспечить высокую эффективность защиты от ионизирующего излучения можно формированием многослойной конструкции, в которой каждый слой имеет высокие защитные характеристики к определённому виду излучения. При этом изменение рецептуры слоя незначительно.

Анализ полученных данных позволяет сформулировать принципы создания радиационно-защитных материалов:

1) Химический и фазовый составы материала должны быть эффективными и определяться фактической материально-технической и ресурсной базой.

2) Фазовый состав должен обеспечивать получение композита с заданными показателями качества (совокупностью эксплуатационных свойств).

3) Распределение химических элементов по объёму радиационно-защитного материала (как в микро-, так и в макрообъёме) должно быть однородным.

4) Размещение химических элементов, содержащихся в микроколичествах, должно осуществляться на границах раздела фаз.

5) Формирование структуры материала с минимальными внутренними напряжениями должно осуществляться путём уменьшения размеров частиц дисперсной фазы.

6) Применение многокомпонентных дисперсных фаз нецелесообразно вследствие существенного снижения устойчивости технологического процесса изготовления материала (воспроизводимости технологии).

7) Эффективность радиационной защиты повышается при использовании многослойных композиционных материалов, в которых индивидуальные слои эффективно поглощают только определённый вид излучения. При этом изделие должно работать как монолитный материал.

Литература

1. Прошин А.П., Демьянова В.С., Калашников Д.В. Особо тяжелый высокопрочный бетон для защиты от радиации вторичных ресурсов. – Пенза: ПГУАС, 2004. – 140 с.
2. Немец О.Ф., Гофман Ю.В. Справочник по ядерной физике. – Киев: Наукова думка, 1975. – 414 с.
3. Дж. Эмсли. Элементы. – М.: Мир, 1993. – 156 с.
4. Ахметов Н.С. Неорганическая химия. – М.: Высшая школа, 1969. – 638 с.
5. Субботкин М.И., Курицына Ю.С. Кислотоупорные бетоны и растворы на основе жидкого стекла. – М.: Стройиздат, 1967. – 135 с.
6. Корнеев В.И., Данилов В.В. Производство и применение растворимого стекла. Жидкое стекло. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1991. – 176 с.

УДК 666.973.6

Н.М. Красиникова – доцент
В.Г. Хозин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

НОВЫЙ СПОСОБ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ПЕНОБЕТОНА

АННОТАЦИЯ
Описывается новый способ приготовления пенобетона, включающий предварительную комплексную механоактивацию смеси, состоящую: из портландцемента, жидкого концентрата пенообразователя и водопонижающего реагента, с последующим затворением сухой смеси водой и смешением в скоростном смесителе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Технология, сухая механоактивированная смесь, неавтоклавный пенобетон, прочность.

N.M. Krasinikova – associate professor
V.G. Khozin – doctor of technical sciences, professor, head of Technologies of the Building Materials, Product and Designs department
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

A NEW METHOD OF A FOAMED CONCRETE PREPARATION

ABSTRACT
A new method of a foamed concrete preparation is described. It includes the preliminary complex foamactivation of mixture consisting of portland cement, liquid concentrate of foam-producing agent, and water-reducing reagent followed by compositing in a speed mixer.

KEYWORDS: Technology, mechanically activated mixture, non-autoclave foamed concrete, hardness, contraction.

В связи с интенсивным развитием отечественного строительного комплекса, направленным на реализацию федеральных программ «Жилище», «Энергосбережение», Национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России», и планами увеличения к 2010 году в 2 раза темпов жилищного строительства резко возросла потребность в эффективных утеплителях, которые отвечают требованиям СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Нормативы по теплозащите зданий приближают термическое сопротивление ограждающих конструкций зданий в РФ к нормам Евросоюза (EnEV-2000) [2]. Актуальной стала проблема разработки и использования эффективных теплоизоляционных материалов (ТИМ), отвечающих современным установленным требованиям качества. Реализация национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» наталкивается на ряд тормозящих факторов, в том числе на дефицит качественных строительных материалов и конструкций [1]. Упомянутым проектом предусматривается доведение ежегодных объемов жилищного строительства к 2010 г. до 80 млн. м^2. Учитывая, что в 2004 г. было построено около 41 млн м^2, в 2005 г. – 43,6, а в 2006 г. – 50,2 млн м^2, 2007 г. – 75,9 млн м^2, 2008 г. – 81,8 млн м^2 [5], становится совершенно очевидным, что выполнение такой программы потребует изготовления огромного объема ограждающих конструкций, в том числе для стен и крыш жилых зданий. Среди наиболее эффективных для этих целей материалов, специалисты, как отечественные, так и зарубежные, выделяют ячеистые бетоны.

Варианты технологических схем приготовления пенобетонной смеси, получивших широкое применение в нашей стране, следующие:

- классический (двухстадийный), при котором раздельно готовят водную пену и водное цементное тесто (или цементно-песчаный раствор), а затем их смешивают в механическом смесителе;
- метод сухой минерализации пены [3];
- метод баротехнологии [4].

Анализ данных технологий производства пенобетона свидетельствует о том, что каждая из них имеет свои достоинства и недостатки, отражающиеся на технических свойствах получаемого пенобетона и его себестоимости. В таблице 1 отражены основные «плюсы и минусы» этих технологий.

Таблица 1

Основные различия в технологиях приготовления пенобетона

Способ получения	Достоинства технологии	Недостатки и их причина
Традиционный метод	1) Наиболее отработанный и надежный; 2) Параметры пенобетона регулируются соотношением между пеной и раствором в составе пеномассы.	1) В процессе перемешивания частично происходит разрушение структуры пеномассы. Это зависит от: - длительности перемешивания – при долгом перемешивании можно разрушить всю пену и не получить поризованной пеномассы; - скорости перемешивания; - характера циркуляции смешиваемой пеномассы в смесителе и формы смесительных лопаток; - тиксотропных характеристик смеси: подвижности, вязкости, пластической прочности и т.д.; - от стойкости исходной пены (зависит от типа пеногенератора).
Метод «сухой минерализации»	1) Такой метод пригоден для непрерывной технологии производства пенобетона; 2) Образуется устойчивая пенобетонная смесь с малым количеством свободной воды; 3) Управлять эксплуатационными характеристиками пенобетона можно за счет изменения кратности пены.	1) Необходимо точное и равноскоростное дозирование сухих компонентов и их равномерное распределение в поризуемой смеси без ее разрушения.
Баротехнология	1) Отсутствует такой сложный технологический передел, как пеногенерация и, соответственно, пеногенератор; 2) Возможность получения сверхлегкого пенобетона (менее 300 кг/м^3); 3) Обжатие пены и пеносмеси вызывает искусственное снижение их кратности; 4) С повышением степени обжатия улучшаются технологические свойства смеси – при повышении давления пузырьки сжимаются пропорционально величине избыточного давления. В сжатом состоянии пузырьки упрочняются. Сырьевая смесь по выходу из растворопровода «расширяется» из-за перепада давления; 5) Возможность транспортирования на большие расстояния и по горизонтали, и по вертикали.	1) Многофакторная взаимосвязь параметров процесса; 2) Необходимость жесткого соблюдения последовательности загрузки компонентов в смеситель, продолжительности и интенсивности перемешивания.

Все перечисленные технологии отличаются нестабильностью получаемой ячеистой структуры и поэтому – свойств материала, поскольку пенобетонная смесь чрезвычайно чувствительна к минералогическому и вещественному составу вяжущего и наполнителей, с одной стороны, и добавок – с другой. Другим недостатком является повышенная влажность пенобетона, ввиду высоких значений исходного В/Т, и вследствие этого усадка при длительном твердении (в основном влажностная).

Мониторинг качества, проводимый Службой государственного строительного надзора и экспертизы по г. Санкт-Петербургу (ведущий регион по производству пенобетона), выявил следующие технологические причины брака (разброс показателей по плотности, прочности и несоответствие НТД, большая усадка пенобетонных изделий) [6]:

- нестабильность производственной технологии (не оптимальна или не налажена, некоторые необходимые технологические операции не проводятся);
- работниками предприятий не соблюдаются правила выполнения технологических операций;
- качество применяемых материалов имеет недопустимые отклонения;
- не осуществляется адекватная корректировка составов пенобетона при изменении качества материалов.

Обобщая технические недостатки производства пенобетона, можно сделать следующий вывод: для получения пенобетона стабильного качества необходим комплекс технологических мероприятий, которые позволят получить пенобетон с высокой прочностью, меньшей теплопроводностью, повышенной морозостойкостью и малой усадкой.

Решение поставленной задачи авторы видят в идеологии современного производства строительных материалов и работ с помощью сухих смесей. Неоспоримым преимуществом изготовления и применения сухих смесей является высокая точность дозирования, степень гомогенизации их компонентов и, следовательно, стабильность технологических и эксплуатационно-технических свойств строительного материала. Необходимо отметить, что все исходные компоненты смеси в этом случае должны быть сухими, а для производства же пенобетона в основном применяются концентрированные водные растворы пенообразователей.

Нами разработана технология изготовления механоактивированных сухих смесей для получения неавтоклавного пенобетона, лишенного присущих ему недостатков и близкого по свойствам к автоклавному газобетону. Технология и ее аппаратурное оформление достаточно просты, мало энерго- и металлоемки. *Состав сухих смесей включает все известные компоненты, в том числе жидкие пенообразователи, переходящие в процессе получения СС в сухое состояние* (патент РФ № 2342347, дата приоритета от 18.01.2007).

Способ заключается в совместной механоактивации составляющих сухой смеси (портландцемента, концентрированного раствора пенообразователя и водопонижающего реагента), что созвучно с технологией производства цементов низкой водопотребности (ЦНВ). Важно отметить, что количество воды, сорбируемой сухой смесью из пенообразователя, составляет 1,3 % от общей массы смеси и не превышает 3 %, допустимых при приготовлении ЦНВ [8]. Одним из путей улучшения свойств пенобетона, приготовляемого по традиционным схемам, также является предварительная механическая активация цемента, без изменения принятой технологии приготовления пенобетона [7, 9]. Технология производства неавтоклавного пенобетона традиционным методом с использованием цемента низкой водопотребности была изучена Б.Э. Юдовичем [10], авторы, кроме положительной стороны этого метода – значительного повышения прочностных показателей и морозостойкости, также указывают на необходимость частой чистки смесителей от «наростов» пенобетона, что снижает производительность и качество пенобетонной смеси.

В данной работе в качестве исходных материалов использованы промышленно выпускаемые химические продукты и материалы: синтетические пенообразователи на основе нефтяных сульфокислот ПБ-2000 (ТУ 2481-185-05744685) и ПО-6 ЦТ (ТУ 0258-148-05744685-95) производства «Ивхимпром», белковый пенообразователь «Адимент» производства Германии, портландцемент ПЦ 500 Д0-Н Вольского цементного завода (C_3A = 4,6 %), водопонижающий реагент – порошкообразный суперпластификатор С-3.

Для оптимизации технологии неавтоклавного пенобетона из сухой механоактивированной смеси было изучено:

- влияние пенообразователей на сроки схватывания цементного теста (метод оценки по ГОСТ 310.1-310.2). На основании этого были выбраны пенообразователи синтетический ПБ -2000 и белковый «Адимент» с наименьшими сроками схватывания цементного теста и максимальным водоредуцирующим эффектом, дальнейшее применение которых позволит снизить тормозящее действие пенообразователей на структурообразование цементного камня, обусловленное блокированием активных центров цементных зерен молекулами ПАВ;
- влияние химических добавок на свойства пены различной природы;
- размолоспособность портландцемента с водопонижающим реагентом в трех видах лабораторных мельниц, отличающихся способом измельчения: *шаровой* с истирающим и ударно-гравитационным измельчением, *вибрационно-*

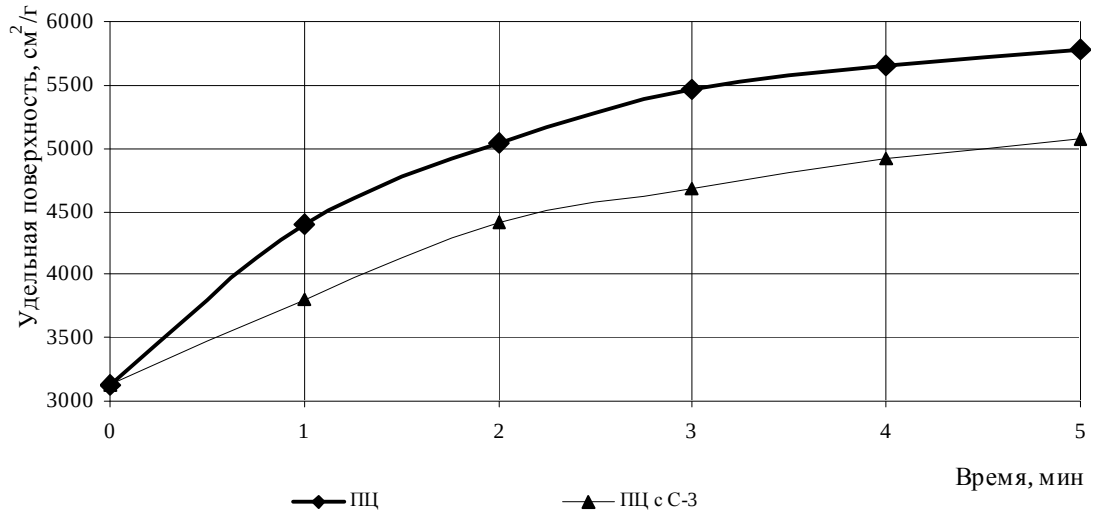


Рис. 1. Размолоспособность портландцемента с суперпластификатором С-3 в пружинной мельнице

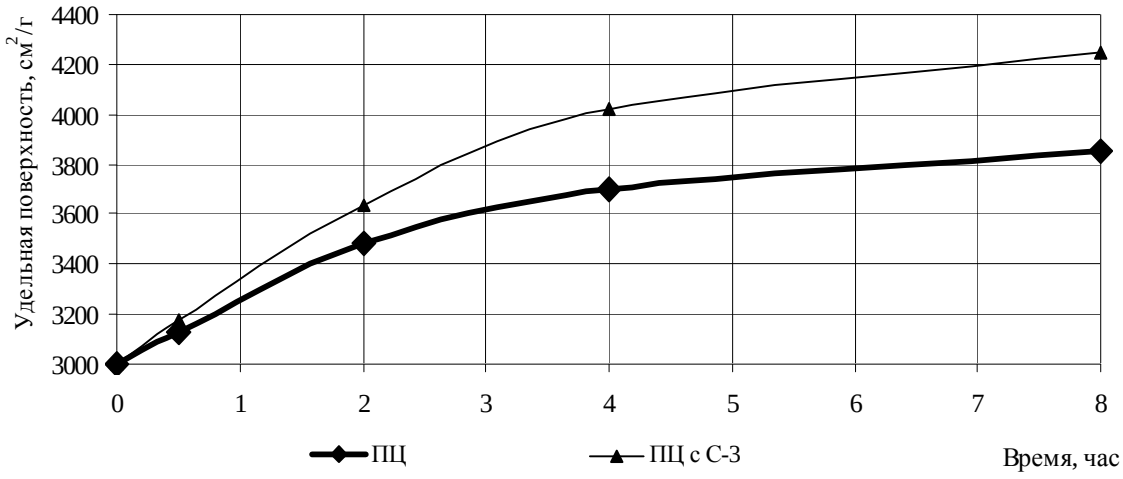


Рис. 2. Размолоспособность портландцемента с суперпластификатором С-3 в шаровой мельнице

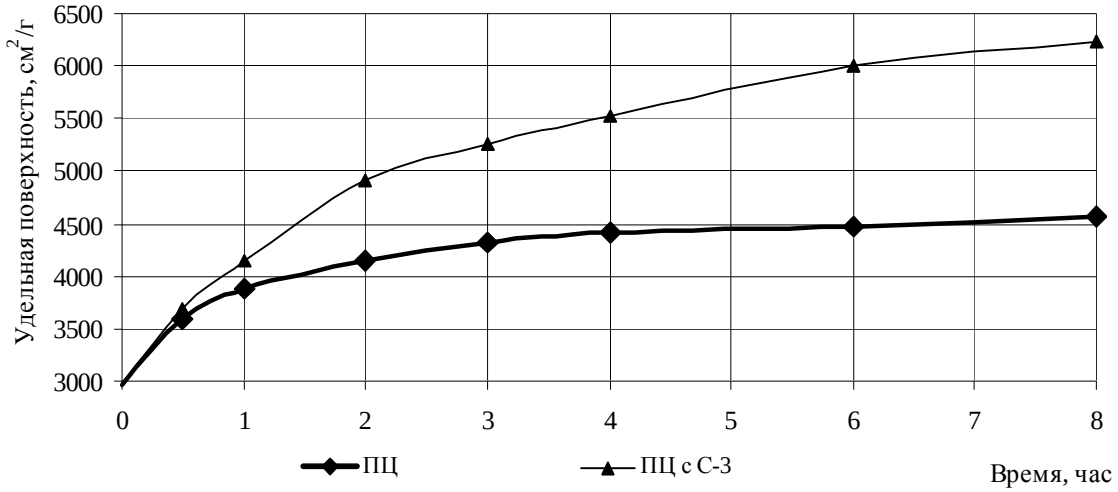


Рис. 3. Размолоспособность портландцемента с суперпластификатором С-3 в вибрационно – шаровой мельнице

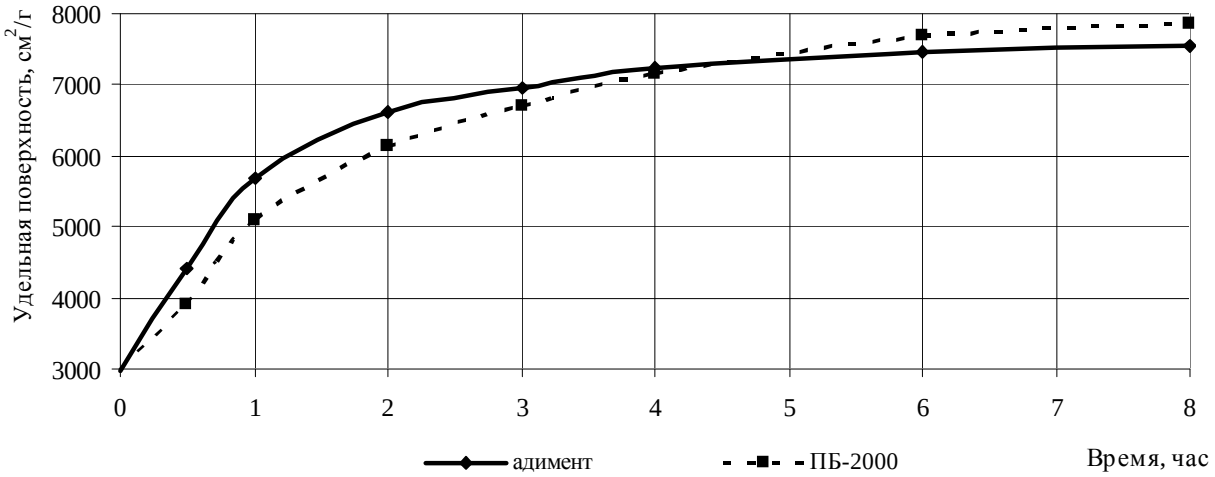


Рис. 4. Размолоспособность портландцемента с пенообразователями в вибрационно-шаровой мельнице

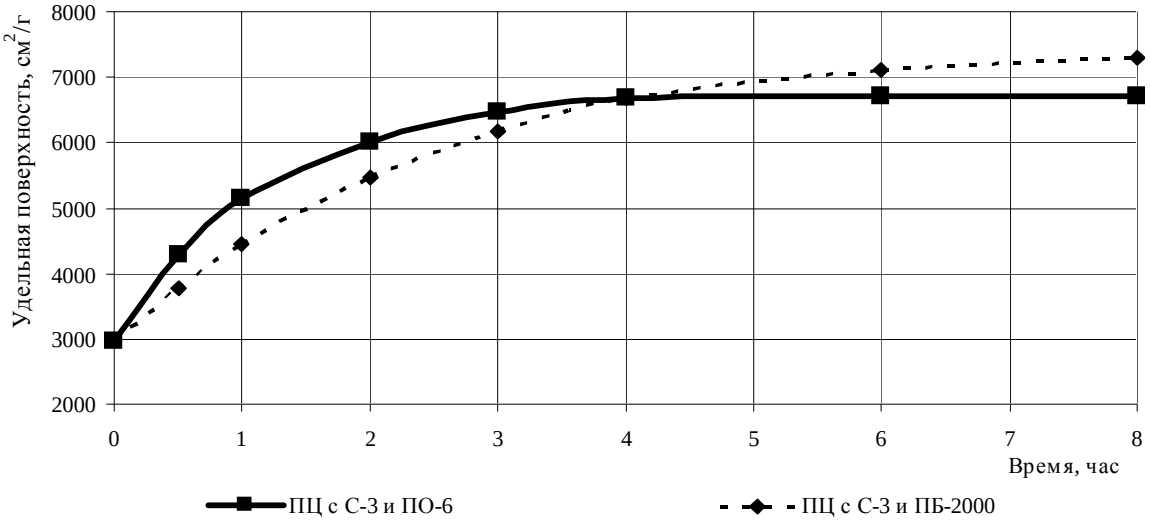


Рис.5. Размолоспособность портландцемента с суперпластификатором и пенообразователями в вибрационно-шаровой мельнице

Рис. 6. Поровая структура пенобетона D 400, полученного из сухой смеси

шаровой с истирающим и ударно-вибрационным измельчением, *пружинной* с истирающим и раскалывающе-сдавливающим измельчением. Критерием размолоспособности явились степень измельчения портландцемента с водопонижающим реагентом и обеспечение высокой удельной поверхности, которая определяет активность портландцемента при твердении.

Как видно из графиков размолоспособности (рис. 1-3), измельчение портландцемента в присутствии С-3 в вибрационно-шаровой и шаровой мельницах значительно усиливается (за 8 часов в 1,37 и 1,1 раза, соответственно), в отличие от измельчения в пружинной мельнице, где несмотря на быструю размолоспособность, наблюдается обратная зависимость (за 5 мин уменьшилась в 1,14 раза). Из сравнения интенсивности размолоспособности портландцемента с С-3 в шаровой ($S_{уд}$ = 4250 см^2/г) и вибрационно-шаровой мельницах ($S_{уд}$ = 6230 см^2/г) видно, что наибольшая удельная поверхность достигается для последней. Поэтому для оценки влияния пенообразователя на размолоспособность портландцемента с суперпластификатором С-3 и без него далее использовали вибрационно-шаровую мельницу. Результаты приведены на рис. 4 и 5.

Из рис. 4 видно, что с добавлением пенообразователя (Адимент или ПБ-2000) размолоспособность портландцемента существенно усиливается. Такая же удельная поверхность, как и у портландцемента с С-3 ($S_{уд}$ = 6230 см^2/г), обеспечивается при добавлении к портландцементу пенообразователя Адимент или ПБ-2000 за более короткий промежуток времени (соответственно, за 2 и 2,5 часа).

Из рис. 5 видно, что с добавлением С-3 к портландцементу с пенообразователем (Адимент или ПБ-2000) размолоспособность несколько снижается: для портландцемента с Адимент – на 11 %, а с ПБ-2000 – на 7 %.

Поровая структура полученного пенобетона из сухой смеси, состоящей из портландцемента, пенообразователя ПБ-2000 и водопонижающего реагента, приведена на рисунке 6.

Свойства пенобетона из сухой смеси представлены в таблице 2.

Выводы:

1. Предложенный новый способ приготовления пенобетона позволяет избежать недостатки, присущие пенобетонам, изготовленным по традиционным схемам производства, а именно нестабильность показателей основных технических свойств.

2. Полученный пенобетон плотностью D400 из сухой смеси по своим прочностным характеристикам близок к газобетонам.

3. Полученный пенобетон плотностью D400 из сухой смеси имеет усадку менее 3 мм/м, что значительно меньше, чем у пенобетонов по другим технологиям.

Авторы выражают благодарность старшему преподавателю кафедры ТСМиК Хохрякову О.В. за помощь в проведении исследования размолоспособности.

Таблица 2

Свойства пенобетонов различной технологии приготовления

Технология	Свойства пенобетона				
	Плотность, кг/м^3	Прочность на сжатие, МПа	Морозостойкость, цикл	Теплопроводность, Вт/м*К	ККК
Из сухой механоактивированной смеси	440	1,76	35	0,08	0,4
Классическая [1]	400	1,24	35	0,09	0,31
Метод сухой минерализации [2]	360	0,76	не приведена	0,09	0,21
Баротехнология [3]	400	1,2	25	0,1	0,3
Газобетон автоклавный [4]	400	2,0	25	0,095	0,5

[1] – данные РУП «Волковысский завод КСОМ» (г. Волковыск, Белорусь); [2] – из автореферата Аникановой Т.В. Теплоизоляционные пенобетоны с ускоренным схватыванием (г. Белгород); [3] – данные ООО «Строй-Бетон» (г. Санкт-Петербург); [4] – данные ОАО «ЗЯБ» (г. Набережные Челны).

Литература

1. Трамбовецкий В.П. Ячеистый бетон в современном строительстве // Технология бетонов, 2007, № 2. – С. 30-33.
2. Матросов Ю.А. Законодательство и стандартизация Европейского Союза по энергоэффективности зданий // www.abok.ru. – С. 1-4.
3. Меркин А.П. Научные и практические основы улучшения структуры и свойств поризованных бетонов // Автореф. докт. дисс. – М., 1972. – 44 с.
4. Ружинский С., Портик А., Савиных А. Все о пенобетоне. – СПб.: ООО «Стройбетон», 2006. – 630 с.
5. Николаев И. Директор департамента стратегического анализа ФБК: темпы жилищного строительства // www.rosfincom.ru.
6. Коноплев С.Н. Некоторые вопросы качества пенобетона // Популярное бетоноведение, № 2006, № 2.
7. Черных В.Т. Активация сырьевых смесей дает хороший результат при производстве неавтоклавного пенобетона // Ячеистые бетоны в строительстве. – СПб.: ООО «Строй- Бетон», 2008. – С. 283-286.
8. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
9. Черных В.Т., Удодов С.А., Шестакова Е.В. Проблемы производства и эксплуатации неавтоклавного пенобетона // Ячеистые бетоны в строительстве. – СПб.: ООО «Строй- Бетон», 2008. – С. 198-203.
10. Юдович Б.Э., Зубехин С.А. Субмикрокристаллический пенобетон: новое в основах технологии // Цемент и его применение, 2009, №1. – С. 81-85.

УДК 691.3;620.192;620.173

А.Н. Круглова – аспирант
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

МЕТОД АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ: ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ

АННОТАЦИЯ
Приводятся результаты исследования кинетики разрушения радиационно-защитных эпоксидных композиционных материалов. В процессе механического нагружения анализировались информативные параметры акустической эмиссии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Акустическая эмиссия, кинетика разрушения.

A.N. Kruglova – post-graduate student
Penza State University of Architecture and Construction (PSUAC)

ACOUSTIC EMISSION METHOD: INVESTIGATION OF EPOXY COMPOSITES DESTRUCTION

ABSTRACT
The results of kinetics of radiation-protective epoxy composites destruction are presented. During the stress testing the informative parameters of acoustic emission signals are analyzed.

KEYWORDS: Acoustic emission, kinetics of destruction.

Эксплуатация радиационно-опасных объектов и безопасность их персонала невозможны без использования материалов, обладающих высокими радиационно-защитными свойствами. Весьма перспективными в отношении эксплуатационных и защитных показателей оказываются дисперсно-наполненные полимерные *композиционные материалы* с эпоксидной матрицей (ЭКМ). Высокая радиационная стойкость подобных материалов позволяет применять их в различных областях промышленности.

Комплекс основных свойств ЭКМ к настоящему времени исследован весьма подробно. В то же время при использовании многих методов исследований информация о деструктивных процессах может оказаться недоступной. Весьма информативным методом исследования является метод *акустической эмиссии* (АЭ), позволяющий определять интенсивность и многие другие параметры (момент возникновения, положение, скорость и направление развития дефектов) процесса дефектообразования [1]. Тип АЭ определяется характером дефектов (упругие деформации сопровождаются всплесковой АЭ; пластическая деформация сопровождается непрерывной АЭ; развитие магистральных трещин сопровождается импульсами высокой амплитуды). Отсутствие активных воздействий на исследуемый объект, характерных для метода АЭ, является причиной значительного внимания к нему со стороны многих исследователей [2, 3].

В настоящей работе приведены результаты исследования прочностных свойств ЭКМ. В процессе механических испытаний регистрировались (с использованием разработанного аппаратно-программного комплекса) информативные параметры сигналов АЭ.

В качестве матричного материала ЭКМ использована диановая смола ЭД-20, отверждаемая полиэтиленполиамином. В качестве наполнителя и заполнителя использовался промышленный отход с высоким содержанием сульфата свинца. Для улучшения защитных и прочностных свойств выполнялось армирование короткими металлическими волокнами. Суммарная объемная доля дисперсных фаз составляла около 50 %. Были изготовлены образцы размером 20x20x20 мм. Отверждение матричного материала проходило в течение 24 часов при комнатной температуре. Готовые образцы были подвергнуты тепловой обработке в течение 5 часов при температуре 80 ^{0}С. Испытания образцов на осевое сжатие производились на разрывной машине ИР5057-50 (при испытаниях осуществлялась коррекция систематической погрешности (достигающей 500 %), обусловленной деформацией подвижных частей).

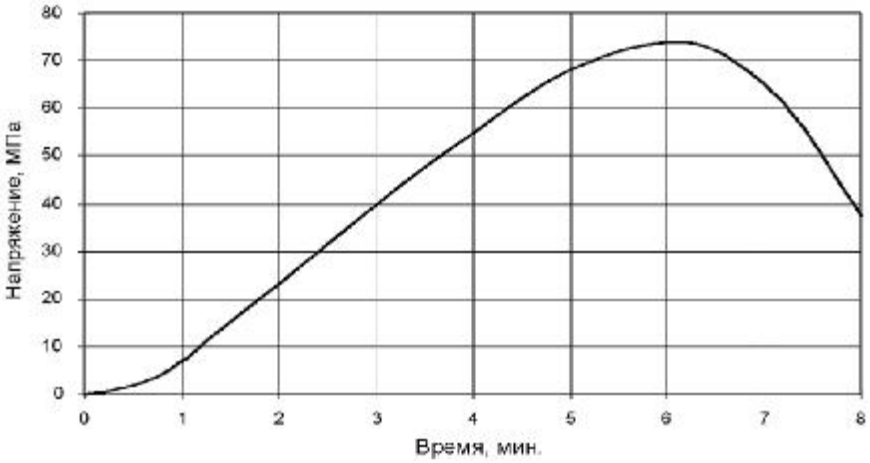


Рис. 1. Механическое напряжение в исследуемом образце

Рис. 2. Диаграмма сжатия

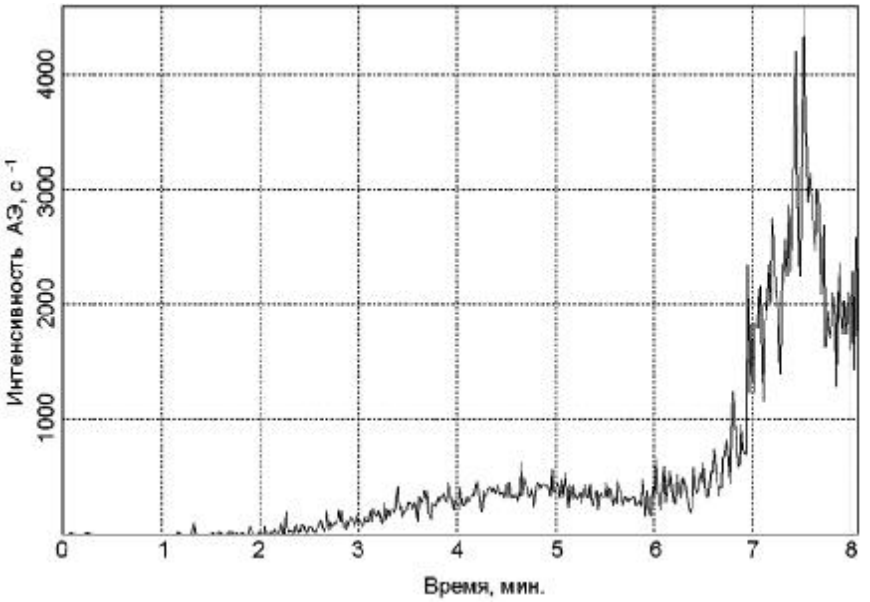


Рис. 3. Интенсивность АЭ

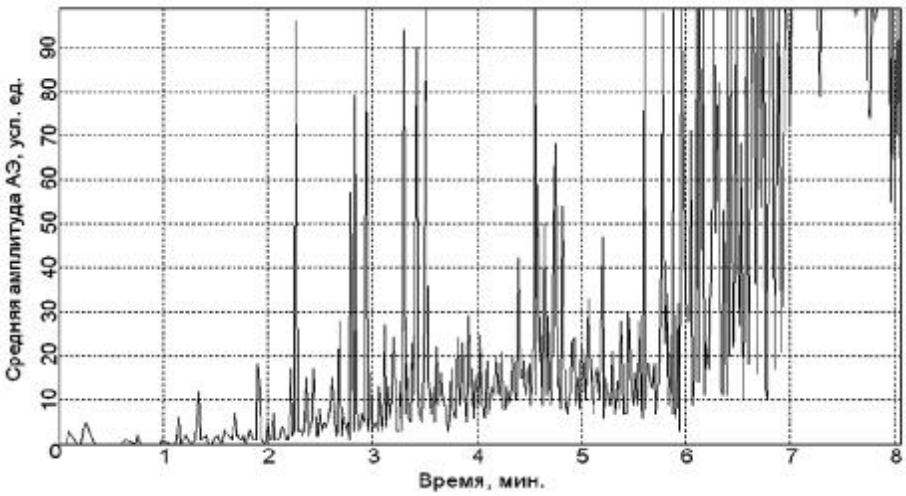


Рис. 4. Амплитуда АЭ

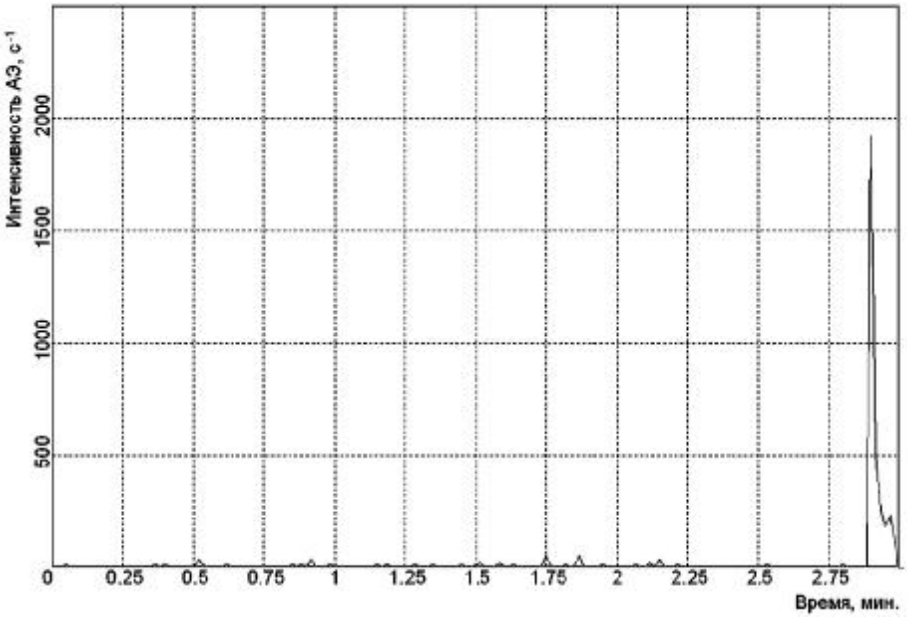


Рис. 5. Интенсивность АЭ, регистрируемой
при нагружении образца матричного материала

Регистрация информативных параметров сигналов АЭ выполнялась прибором АФ-15, дополненным устройством сопряжения с персональным компьютером (ПК). В качестве приемного преобразователя использовался пьезоэлемент на основе керамики ЦТС-19, волновод которого был приведен в акустический контакт с образцом. Для сопряжения АФ-15 с ПК в ПГУАС разработано устройство (микроконтроллер, передающий данные по стыку RS-232). Информация накапливалась в постоянной памяти персонального компьютера и становилась доступной по завершению эксперимента (регистрация и обработка разделены во времени). Измерялась *интенсивность* (число превышений сигналом заданного уровня в единицу времени) и *амплитуда* АЭ (усреднена за это же время).

В силу конструктивных особенностей машины ИР5057-50 нагружение было нелинейным. Зависимость механического напряжения от времени соответствует рис. 1. Диаграмма сжатия приведена на рис. 2.

Зависимости параметров АЭ от времени (соответствуют шкале рис. 1) приведены на рис. 3 и 4.

Информативные параметры АЭ регистрировались также для матричного материала (в отсутствии дисперсных фаз). Разрушающее напряжение (113 МПа) было достигнуто в момент времени 2,87 мин. Соответствующая зависимость интенсивности АЭ приведена на рис. 5.

Как следует из рис. 1, на участке $s \in [0; 20]$ МПа механическое напряжение практически линейно зависит от относительной деформации; предел пропорциональности $s_n = 20$ МПа (соответствует

относительной деформации $e_n = 6 \cdot 10^{-4}$) достигается в момент времени t = 1,8 *мин*.

Снижение скорости роста напряжений $\frac{ds}{de}$ при $s > s_n$ по всей видимости обусловлено разрывами связей между структурными элементами (напряжения $s > 20$ МПа) и взаимными перемещениями структурных элементов, в то время как на участке $s \in [0; 20]$ МПа рост напряжений обусловлен почти исключительно упругими деформациями. Это подтверждается характером эмиссионного излучения, а также сравнительным анализом характера АЭ для ЭКМ и ненаполненного матричного материала (рис. 3). На участке $s < s_n$ упругие деформации сопровождаются крайне слабой всплесковой эмиссией, вызванной разрушением отдельных структурных элементов. Регистрация импульсов высокой интенсивности начинается только при напряжениях $s \geq s_n$. Предел пропорциональности ненаполненного матричного материала практически совпадает с пределом упругости: для зависимости на рис. 3 характерно отсутствие АЭ до момента разрушения.

При напряжениях $s \in [55; 75]$ МПа уровень сигналов АЭ остается приблизительно постоянным. По всей видимости, это связано с развитием деформаций за счет взаимных перемещений структурных элементов (сопровождаются непрерывным эмиссионным излучением средней интенсивности, рис. 3). Превышения локальными перенапряжениями определенного уровня (напряжения свыше 55 МПа) приводят к разрыву адгезионных связей на границе армирующего и армируемого материалов, что сопровождается АЭ высокой интенсивности.

Предел прочности при сжатии $s_{\text{вр}} = 75$ МПа достигается в момент времени t = 6 мин. Значению $s_{\text{вр}}$ соответствует относительная деформация $e_{\text{вр}} = 3 \cdot 10^{-2}$, существенно превышающая e_n.

За время $t \in [6; 8]$ мин относительная деформация возрастает до $3e_{\text{вр}}$, достигая к моменту окончания эксперимента величины $e = 0{,}12$. В этот период развиваются многочисленные трещины, длина которых сравнима с размерами образца. Однако полного разрушения образца не происходит – его отдельные части удерживаются армирующими волокнами (ниспадающий участок рис. 2). Прохождение макротрещин сопровождается импульсами с высокой амплитудой, которые резко выделяются на фоне непрерывной АЭ (рис. 3, 4).

Таким образом, регистрация информативных параметров АЭ позволяет получить дополнительную информацию о процессе дефектообразования, сделать на данной основе выводы о характере разрушения материала и выбрать способы повышения прочностных характеристик ЭКМ.

Литература

1. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия: применение для испытаний материалов и изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 272 с.
2. Hellier C. Handbook of Nondestructive Evaluation. – NY: McGraw-Hill, 2001. – 603 p.
3. Miller R., Hill E., Moore P. Nondestructive Testing Handbook, Third Edition: Volume 6, Acoustic Emission Testing. – OH:ASNT, 2005. – 446 p.

УДК 69.059.4

В.М. Латыпов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций
Т.В. Латыпова – кандидат технических наук, доцент
А.Н. Авренюк – аспирант, инженер
Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ)

РАЦИОНАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ БЕТОНА ПРИ РЕМОНТЕ КОНСТРУКЦИЙ ПОСЛЕ ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ СЕРОСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

АННОТАЦИЯ
В статье показана необходимость тщательного удаления продуктов коррозии бетона после деструктивного воздействия серосодержащих соединений при восстановлении конструкций. Приведены рациональные способы подготовки поверхности бетона, обеспечивающие сохранение высокого уровня адгезии ремонтных составов на весь послеремонтный период эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Ремонт бетона, воздействие сульфатов, очистка поверхности.

V.M. Latypov – doctor of technical sciences, professor, head of Building Designs department
T.V. Latypova – candidate of technical sciences, associate professor
A.N. Avrenyuk – post-graduate student, engineer
Ufa State Petroleum Technical University (USPTU)

RATIONAL WAYS OF PREPARATION OF CONCRETE SURFACE AT DESIGNS RESTORATION AFTER DESTRUCTIVE INFLUENCE OF SULFUR-CONTAINING COMPOUNDS

ABSTRACT
The necessity of careful removal of corrosion products of reinforced concrete after destructive influence of sulfur-containing compounds at designs restoration is shown. Rational ways of preparation of concrete surface, providing preservation of high level of adhesion of repair composites for all period of after repair operation are discussed.

KEYWORDS: Concrete restoration, influence of sulphates, surface clearing.

Ремонт бетонных и железобетонных конструкций после деструктивного воздействия серосодержащих соединений (при II и III виде коррозии) часто бывает неэффективным вследствие скорого отслоения ремонтных покрытий. Причина этого – сохранение сульфатизированного слоя даже при тщательной на первый взгляд подготовке поверхности перед ремонтом и, как следствие, образование в контактной зоне «покрытие – бетон основы» расширяющихся соединений типа гидросульфоалюмината кальция (ГСАК) – продукта взаимодействия сульфатов с алюминатной фазой материала покрытия. Появление в контактной зоне внутренних напряжений приводит к отслоению ремонтного покрытия [1, 2].

На рис. 1 приведен характерный состав корродированного слоя бетона при воздействии серосодержащих сред, определенный по результатам химического, рентгенофазового и микрорентгеноструктурного анализов. Во всех случаях корродированный слой делится на 2 зоны [3]:

– внутреннюю, имеющую достаточно высокую прочность (сульфатизированный слой);

– внешнюю, прочность, которой может быть очень мала (при микробиологической коррозии этот слой оплывает под собственным весом).

Отслоение покрытия может произойти даже при использовании для ремонта обычных растворов на средне- или высокоалюминатном цементе. Большинство же современных ремонтных составов, поставляемых в виде сухих смесей, с целью обеспечения безусадочности (усадка – один из главных недостатков ремонтного материала, способствующих

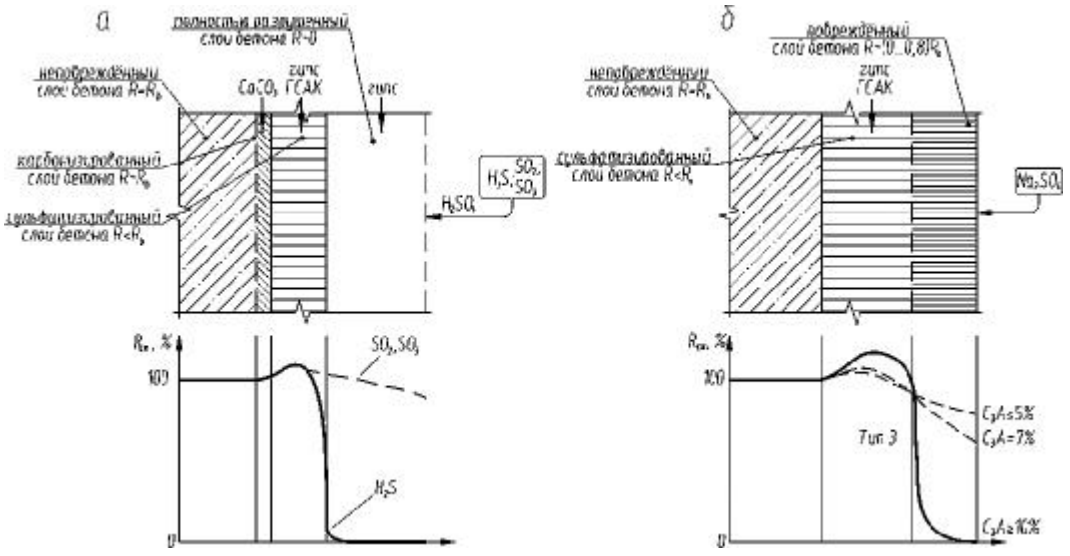


Рис. 1. Схема коррозионного воздействия соединений серы на бетон:
а – при микробиологической коррозии и воздействии сернистых газов; б – при сульфатной коррозии, R – прочность бетона

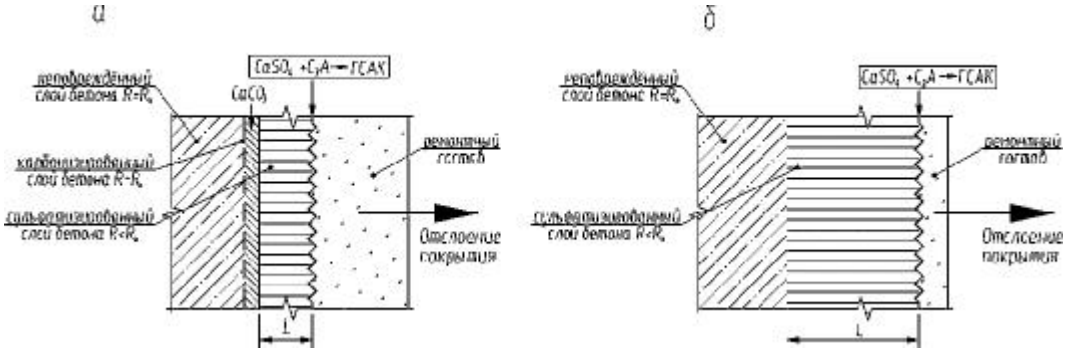


Рис. 2. Отслоение ремонтного состава из-за развития сульфатной коррозии
в контактной зоне «сульфатизированный слой – ремонтный состав» (L – слой, подлежащий обязательному удалению):
а – при микробиологической коррозии и воздействии сернистых газов; б – при сульфатной коррозии

снижению адгезии и появлению микротрещин) имеют в своем составе повышенное содержание алюминатов (C_3A). Это обеспечивает образование дополнительного количества соединений типа эттрингита в контактной зоне «бетон основы – ремонтный состав» с последующим отслоением покрытия (рис. 2).

Помимо сульфатизированного слоя, в случае микробиологической коррозии и воздействия сернистых газов, в составе корродированного слоя присутствует также карбонизированный слой, что обусловлено опережающей диффузией в бетон углекислого газа по сравнению с H_2S, SO_2 и SO_3 (см. рис. 1а).

Поскольку в карбонизированном слое не содержится веществ, вызывающих протекание реакций с увеличением объема продуктов, он при подготовке поверхности и ремонте может быть сохранен. Кроме того, при ремонте материалами на цементной основе будет иметь место восстановление pH в этом слое за счет миграции щелочей из нового покрытия, что исключит опасность коррозии арматуры.

Таким образом, при выборе способа очистки следует исходить из того, что обязательным условием является полное удаление лишь наружной (сульфатизированной) части корродированного слоя. Кроме того, при очистке не должно происходить повреждения структуры бетона.

В настоящее время применяется большое количество способов подготовки поверхности бетона перед ремонтом (табл.), с некоторой условностью их можно разделить на традиционные («сухие») и относительно новые способы водоструйной очистки («мокрые»), а также комбинированные и специальные способы. Существенными недостатками сухих способов являются необходимость обеспыливания и последующего увлажнения поверхности бетона, удаления использованного материала из зоны очистки и повреждение структуры бетона (появление

Таблица

Обзор наиболее распространенных способов очистки

№ п/п	Наименование способа очистки	Производительность	Глубина очистки за один проход	Положительные качества	Отрицательные качества
1	2	3	4	5	6
	Сухие				
1.	Механический ручной	1-5 $м^2$/час	1-10 мм	Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения pH-контроля на очищенной поверхности.	Высокая трудоемкость. Появление микротрещин. Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности.
2.	Механический механизированный	10-400 $м^2$/час	3-50 мм	Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения pH-контроля непосредственно на очищенной поверхности.	Появление микротрещин. Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности.
3.	Пескоструйный	50-300 $м^2$/час	1-5 мм	Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения pH-контроля на очищенной поверхности.	Высокая стоимость работ. Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности. Высокая степень загрязнения зоны очистки или необходимость специальной вакуумной улавливающей установки. Санитарно-гигиенические ограничения по использованию в конкретных условиях.
4.	Дробеструйный давлением 7 атм.	10-40 $м^2$/час	3-6 мм	Достаточно высокая производительность. Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения pH-контроля на очищенной поверхности. Создает высокую степень шероховатости поверхности.	Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности бетона, а также удаления использованного абразива из зоны очистки.
5.	Дробеструйный давлением 10 атм. и более	до 300 $м^2$/час	4-8 мм	Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения pH-контроля на очищенной поверхности.	Появление микротрещин. Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности бетона, а также удаления использованного абразива из зоны очистки.
	Мокрые				
6.	Водоструйный давлением 100-250 атм.	50-100 $м^2$/час	1-3 мм	Происходит удаление лишь непрочной части сульфатизированного слоя и поверхностных загрязнений.	Сульфатизированный и карбонизированный слои полностью не удаляются.
7.	Водоструйный давлением 450-500 атм.	30-80 $м^2$/час	3-6 мм	Полное удаление сульфатизированного слоя. Высокая производительность. Невысокая стоимость производства работ. Осуществление необходимого увлажнения поверхности перед ремонтом.	Карбонизированный слой практически не удаляется, что затрудняет проведение pH-контроля на очищенной поверхности. Ограничение при использовании для очистки бетонов класса по прочности ниже B10. Невозможность использования мокрых видов очистки в конкретных условиях.
8.	Водоструйный давлением 550-600 атм.	40-90 $м^2$/час	4-8 мм	Полное удаление сульфатизированного слоя.	Карбонизированный слой практически не удаляется. Появляются признаки поверхностного повреждения структуры бетона класса по прочности B35 и ниже.

Таблица (продолжение)

№ п/п	Наименование способа очистки	Производительность	Глубина очистки за один проход	Положительные качества	Отрицательные качества
1	2	3	4	5	6
9.	Водоструйный давлением 800-900 атм. и более	50-100 м^2/час	до 12 мм	Полное удаление сульфатизированного слоя.	Карбонизированный слой удаляется лишь на треть. Происходит сильное повреждение структуры бетона бетона класса по прочности В35 и ниже в виде трещин глубиной более 5 мм и выкрашивания зерен заполнителя.
10.	Водопескоструйный давлением до 250 атм.	100-300 м^2/час	1-5 мм	Полное удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев. Возможность проведения pH-контроля на очищенной поверхности.	Достаточно высокая стоимость работ. Высокая степень загрязнения зоны очистки.
	Комбинированные				
11.	Водоструйный давлением 150-250 атм. + механический (ручной или механизированный)	от 20 до 400 м^2/час	1-50 мм	Снижение трудоемкости при удалении непрочной части сульфатизированного слоя перед использованием механического способа.	Появление микротрещин. Необходимость обеспыливания и увлажнения поверхности.
	Специальные				
12.	Химический	150-400 м^2/час	3-6 мм	Удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев в зависимости от используемого реактива.	Необходим индивидуальный подбор реактива по отношению к виду продуктов коррозии. Процессом трудно управлять. После химического воздействия поверхность бетона промывают водой и очищают от отслоившегося слоя бетона механическими способами. После промывки бетон должен быть проверен на pH.
13.	Огневой	5-60 м^2/час	3-6 мм	Удаление сульфатизированного и карбонизированного слоев.	Большая вероятность повреждения структуры поверхности бетона.

Условные обозначения:

– применение возможно при контроле состояния структуры очищаемой поверхности бетона;

– рекомендуется применение во всех случаях (повреждения структуры очищаемой поверхности бетона не происходит);

– остальные виды обработки могут применяться в индивидуальных случаях очистки по согласованию с проектной организацией.

микротрещин). Главным достоинством мокрых способов является их высокая производительность, а также одновременное глубокое водонасыщение бетона и отсутствие необходимости в обеспыливании поверхности. Благодаря этим преимуществам, водоструйный способ очистки рекомендуется в качестве основного в большей части современных технологических инструкций. Однако, параметры этого способа, определяющие возможность полного удаления сульфатизированного слоя без разрушения структуры бетона основы, до настоящего времени не исследованы.

С целью определения необходимых параметров метода водоструйной очистки (давления и продолжительности воздействия) были проведены исследования, в ходе которых изучалась также возможность использования pH-контроля качества очистки поверхности, поскольку сохранение сульфатизированного слоя даже на небольших участках может привести к локальным повреждениям ремонтного покрытия. Исследования были проведены на натурном образце (фрагменте размерами 500x1000 мм) стенки железобетонной трубы самотечного коллектора d = 1000 мм после 35 лет эксплуатации. Толщина стенки трубы вследствие воздействия серной кислоты (продукта жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий в процессе микробилогической коррозии) уменьшилась со 100 мм до 45-50 мм, на поверхности

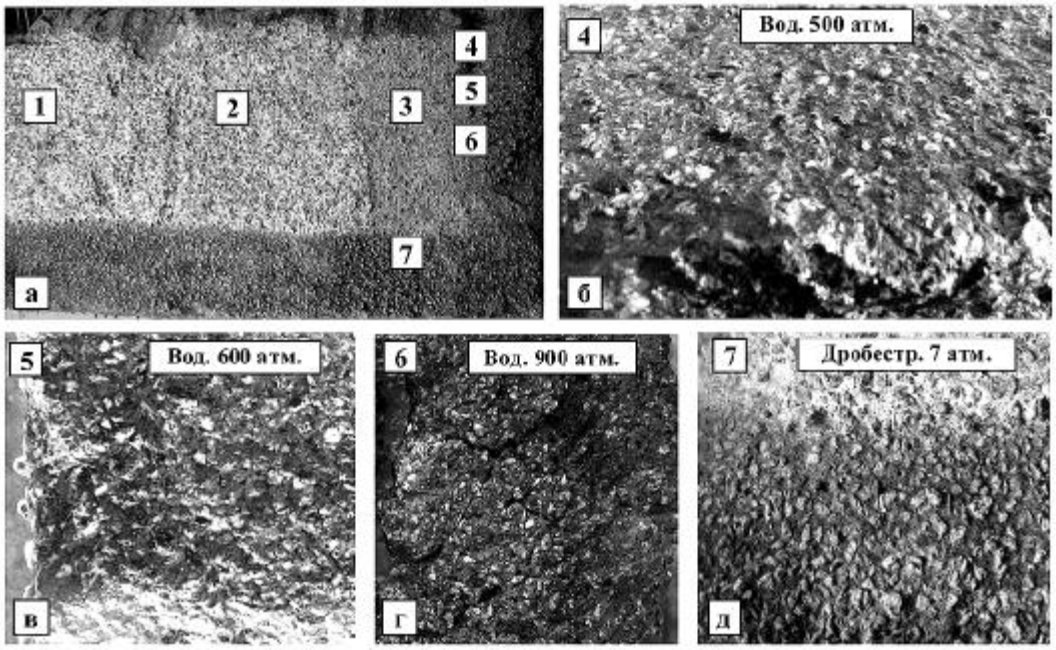


Рис. 3. Состояние поверхности бетона при различных способах очистки

обнаружены продукты коррозии, в основном, в виде слоя гипса толщиной около 15-20 мм.

Образец был разделен на зоны, каждая из которых подверглась определенному виду очистки: 1 зона – без обработки; 2-6 зоны – обработка водой под давлением 150, 250, 500, 600 и 900 атм. соответственно. Кроме того, для сравнения в 7 зоне была проведена обработка одним из наиболее эффективных сухих способов – дробеструйным, при помощи компрессора под давлением 7 атм. абразивным порошком из шлаков медеплавильного производства (рис. 3). Необходимая продолжительность обработки каждым из данных способов, которая составила 30-60 сек. на зону, была определена из условия, что при дальнейшей обработке степень очистки не изменяется.

Контроль качества очистки проводился двумя визуальными способами: первый – с помощью раствора фенолфталеина (pH-контроль), дающего контрастную малиновую окраску на поверхности бетона, с которого полностью удалены продукты коррозии (и сульфатизированный, и карбонизированный слои); второй – с сохранением на поверхности бетона сульфатизированного слоя, имеющего светло-коричневый цвет.

При оценке полученных результатов было выявлено три степени очистки:

- При обработке водой под давлением 150 и 250 атм. в различной степени удаляется лишь рыхлый наружный слой продуктов коррозии, а прочный переходный слой гипса светло-коричневого цвета остается. При этом очищенная поверхность индикатором не окрашивается (рис. 3а, зона 2 и 3);
- При обработке водой под давлением 500 атм. сульфатизированный слой полностью удаляется, однако бетон принимает малиновую окраску лишь на 10 % площади, по-видимому, из-за сохранения внутреннего карбонизированного слоя. При обработке водой под давлением 600 атм. ситуация аналогична, поверхность окрашивается на 20 % площади, однако появляются признаки повреждения структуры бетона. При давлении 900 атм. и выше поверхность окрашивается на 30 % площади, однако при этом происходит сильное повреждение структуры бетона в виде трещин глубиной более 5 мм и выкрашивания зерен заполнителя (рис. 3б-3г, рис. 5);
- При дробеструйной обработке под давлением 7 атм. абразивным порошком из шлаков медеплавильного производства сульфатизированный слой продуктов коррозии удаляется полностью, а очищенная поверхность окрашивается в малиновый цвет на 90-95 % площади (т.е. карбонизированный слой также удаляется практически полностью, рис. 8), при этом расход абразива небольшой и составляет около 9-11 кг/м^2, абразив является экологически чистым материалом. Данный вид обработки полностью надежно удаляет корродированные слои, не повреждает поверхность, степень очистки легко контролируется; кроме того, создается высокая степень шероховатости поверхности, что увеличивает сцепление наносимого ремонтного состава с бетонной поверхностью.

Из данных рис. 4 и 5 следует, что pH-контроль позволяет надежно контролировать качество подготовки поверхности лишь при дробеструйной обработке. В случае же водоструйной обработки контроль качества очистки должен осуществляться лишь вторым визуальным способом – по полному

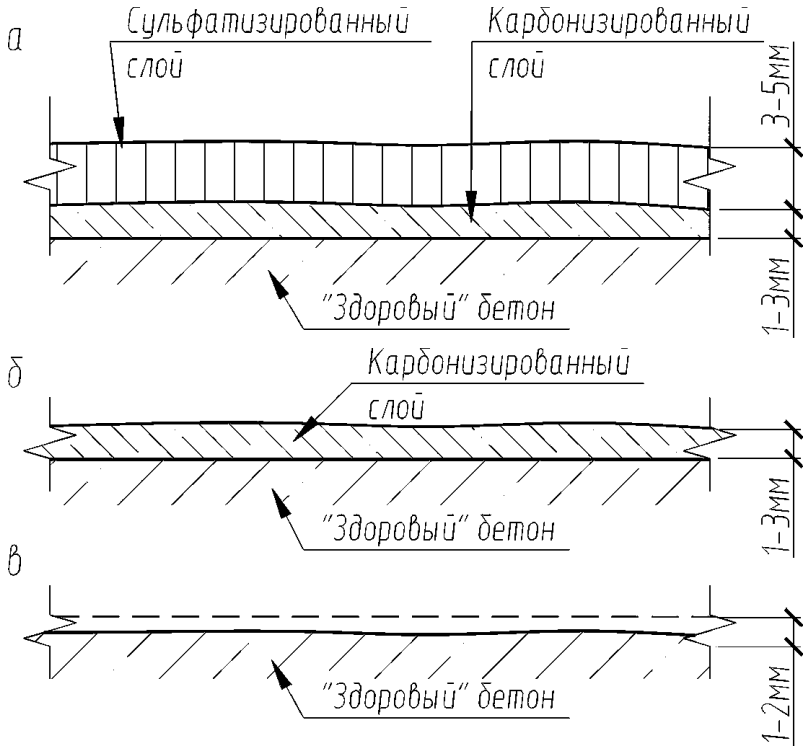


Рис. 4. Степень очистки поверхности бетона: а – при водоструйной обработке 250 атм., б – то же при 500 атм., в – при дробеструйной обработке 7 атм.

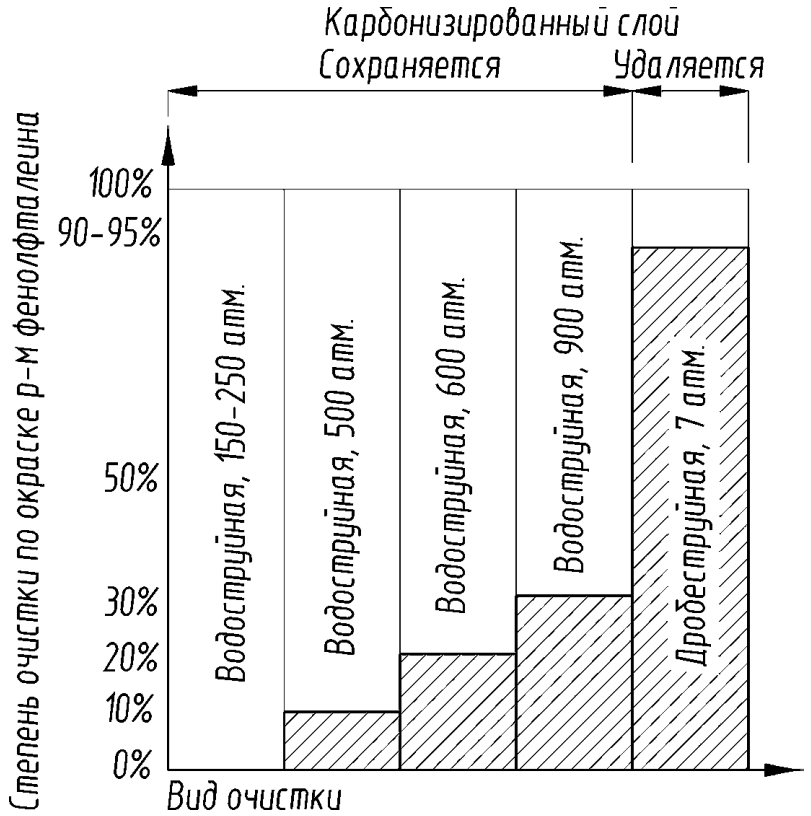


Рис. 5. Степень очистки поверхности по окраске раствором фенолфталеина (pH-контроль)

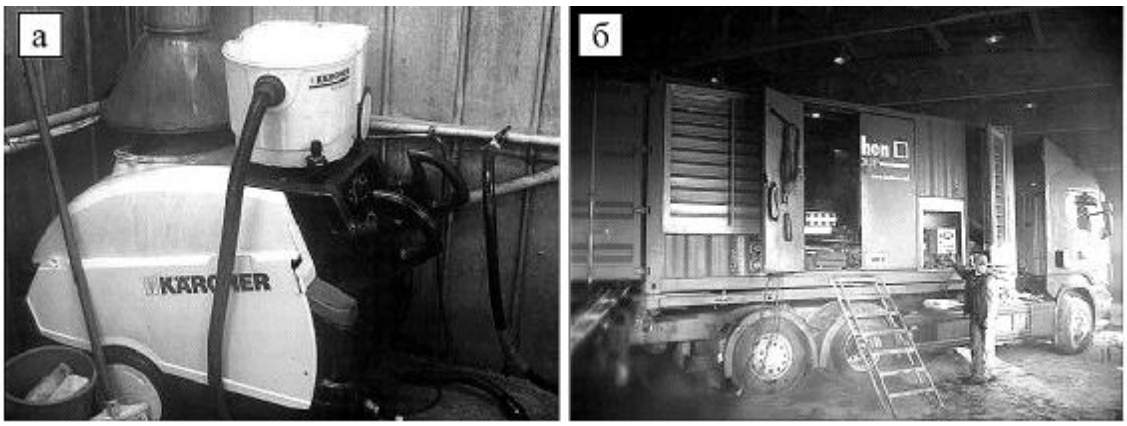


Рис. 6. Оборудование для водоструйной обработки под давлением:
а – до 250 атм., б – 500-1200 атм.

удалению светло-коричневого сульфатизированного слоя (рис. 3д).

Таким образом, параметры водоструйной обработки, обеспечивающие полное удаление сульфатизированного слоя при сохранении структуры поверхности бетона – это давление 450-500 атм. при продолжительности воздействия около 1 мин/м^2. Этот способ целесообразно рассматривать как основной при производстве ремонтных работ. Исключение составляют зоны, где использование воды невозможно, а также при обработке бетона класса по прочности ниже В10. В этом случае очистку необходимо проводить дробеструйным способом, хотя он имеет более высокую стоимость, включающую в себя стоимость дроби, работ по очистке, обеспыливанию, увлажнению поверхности и удалению использованной дроби из зоны очистки.

Таким образом, для очистки поверхности бетона перед ремонтом после деструктивного воздействия серосодержащих соединений в зависимости от условий проведения работ можно рекомендовать следующие два наиболее эффективных способа:

1. Водоструйный при давлении 450-500 атм.;
2. Дробеструйный при давлении 7 атм.

Необходимо отметить, что давление в 500 атм. может быть обеспечено лишь при ипользовании достаточно габаритного и дорогостоящего оборудования (рис. 6). При небольших объемах работ экономически может быть целесообразно использование малогабаритного оборудования для очистки одним из двух других менее производительных способов:

3. Водоструйный при давлении 200-250 атм. + механический (ручным или механизированным инструментом);
4. Механический (ручным или механизированным инструментом).

Литература

1. Базанов С.М. Механизм разрушения бетона при воздействии сульфатов // Строительные материалы, 2004, № 9. – С. 46-47.
2. Латыпова Т.В. Качество подготовки поверхности перед ремонтом поврежденных железобетонных конструкций на объектах водоотведения // Международное аналитическое обозрение «Цемент. Бетон. Сухие строительные смеси», 2007, № 3-4. – С. 83-86.
3. Латыпов В.М., Латыпова Т.В., Авренюк А.Н., Федоров П.А., Тимеряев Д.В., Кантор П.Л. Восстановление бетона и железобетона после деструктивного воздействия серосодержащих соединений // Строительные материалы, 2009, № 3.

УДК 691.33

В.И. Логанина – доктор технических наук, профессор
О.А. Давыдова – аспирант
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИЗВЕСТКОВЫХ ОТДЕЛОЧНЫХ СОСТАВОВ С ДОБАВКОЙ ЗОЛЯ

АННОТАЦИЯ

Приведены сведения о реологических и технологических свойствах известковых составов, предназначенных для реставрации памятников архитектуры. Показано, что введение в рецептуру золя кремниевой кислоты замедляет сроки высыхания покрытий, увеличивает пластическую прочность, снижает деформации набухания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Золь кремниевой кислоты, пластическая прочность, деформации набухания, время высыхания, прочность при сжатии, количество теплоты, микроволластанит, водостойкость.

V.I. Loganina – doctor of technical sciences, professor
O.A. Davydova – post-graduate student
Penza State University of Architecture and Construction (PSUAC)

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF LIMESTONE DECORATIVE COMPOUNDS WITH SOL ADDITIVE

ABSTRACT

The data on rheological and technological properties of limestone compounds intended for architectural monuments restoration are presented. It is shown that addition of silicon acid sol compound results in time decreasing for cover drying, in enhancing of plastic durability, and in reducing of swelling deformations.

KEYWORDS: Silicon acid sol, plastic durability, swelling deformations, time of drying, compression durability, quantity of radiation, microwallastanit, water resistance.

Традиционными составами, на протяжении многих лет применяющимися при выполнении отделочных работ, являются известковые композиции. Однако, тонкослойные композиции, формирующие отделочные слои на поверхности строительных изделий и конструкций, характеризуются высокой открытой площадью поверхности уложенного материала. При таких особенностях известковые составы должны обладать хорошей водоудерживающей способностью, замедленными сроками высыхания, низкими усадочными деформациями.

С целью регулирования свойств известковых композиций в их рецептуру вводят различные добавки, в том числе в виде дисперсий, в которых размер частиц составляет 1-100 нм. К таким дисперсиям относятся добавки коллоидных растворов, например, коллоидный раствор кремнекислоты. Анализ научно-технической литературы свидетельствует об эффективности применения золь-гель технологии в строительном материаловедении [1-3].

Нами сделана попытка выявить возможность повышения технологических свойств известковых составов и эксплуатационных свойств отделочных слоев на их основе путем введения золя кремниевой кислоты. Для получения золя применялось натриевое жидкое стекло плотностью 1,46 г/см^3, которое разбавляли водой, пропускали через катионитовую колонку и получали 2 %-ный золь с pH 3,0-4,0. Для изготовления известковых составов в качестве декоративного наполнителя применялся цветной песок Нижнеаблязовского месторождения (Пензенская область, Кузнецкий район). Наполнитель представляет собой смесь песка и глины, имеющую красно-коричневый цвет. Отделочные слои на основе известковых составов с применением цветного наполнителя в зависимости от его крупности имеют цвета от терракотового до бежевого.

При разработке рецептуры соотношение компонентов известь:песок варьировалось от 2 до 4. Составы приготавливались на молотом песке с удельной поверхностью $S_{уд}$ = 5065 см^2/г, а также песке фракции 2,5…0,14 мм. Удельная поверхность гашеной извести составляла $S_{уд}$ =5590 см^2/г.

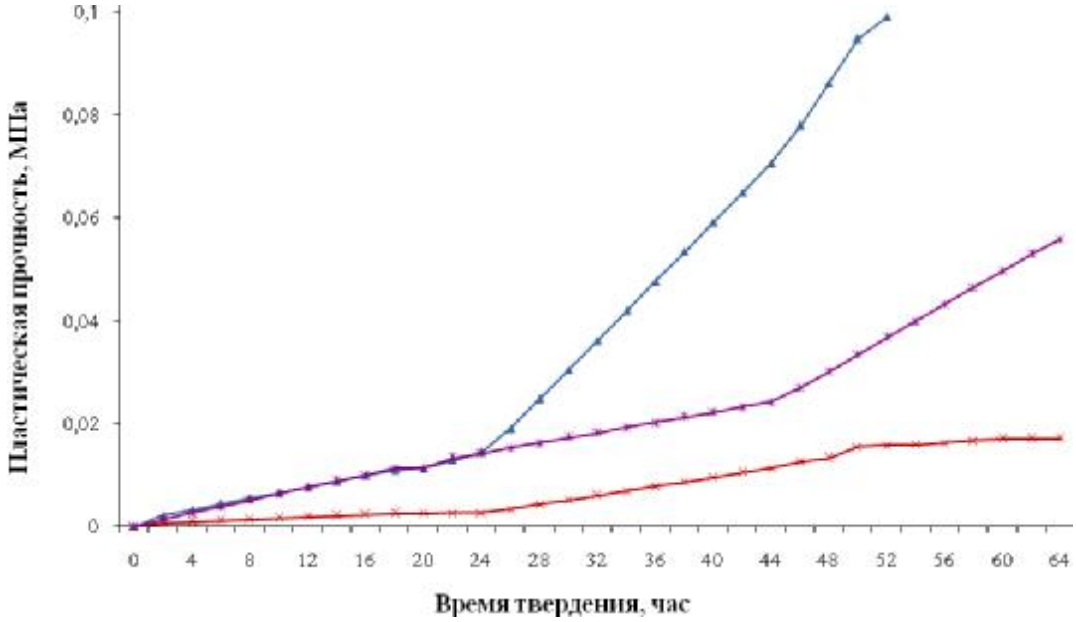


Рис. 1. Влияние добавки золя SiO_2 на пластическую прочность смеси. Состав И:П=1:3, В/И=2 (песок молотый): 1 – контрольный состав; 2 – отношение И:Золь = 1:1 (возраст 11 суток); 3 – отношение И:Золь = 1:1 (возраст 1 час)

Установлено, что при введении добавки золя в известковую смесь наблюдается ускорение набора пластической прочности. Так, спустя 48 ч после затворения пластическая прочность состава с добавкой золя SiO_2 (отношение известь:золь (И:Золь) = 1:1) составила 0,09 МПа, а у контрольного состава – 0,01 МПа (рис. 1). Увеличение возраста золя до 11 суток снижает активность взаимодействия с известью. Спустя 48 час пластическая прочность состава с добавкой золя (отношение И:Золь = 1:1) составила 0,03 МПа, в то время как у состава с добавкой золя (возраст 1 час) при отношении И:Золь = 1:1 – 0,09 МПа.

В продолжение дальнейших исследований нами оценены технологические свойства известковых составов с добавкой золя SiO_2: водоудерживающая способность и сроки высыхания. С целью повышения физико-механических свойств отделочных известковых составов в их рецептуру нами вводилась добавка сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$. Однако сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$ является электролитом, вызывающим коагуляцию золя SiO_2, поэтому для стабилизации золя SiO_2 применялась добавка желатина. Время высыхания покрытий оценивалось в соответствии с ГОСТ 19007. Результаты исследований свидетельствуют, что известковые составы с добавкой золя SiO_2 характеризуются замедленными сроками высыхания. Так, время высыхания до степени 3 состава с добавкой золя SiO_2 на бетонной подложке составляет 27 мин, в то время как у контрольного состава – 7 мин (табл. 1).

Таблица 1

Время высыхания известковых составов, мин

Степень высыхания	Составы			
	Контрольный	С не стабилизированным золем	Со стабилизированным золем	Со стабилизированным золем и электролитом
3	7	27	8	9
5	15	48	20	17

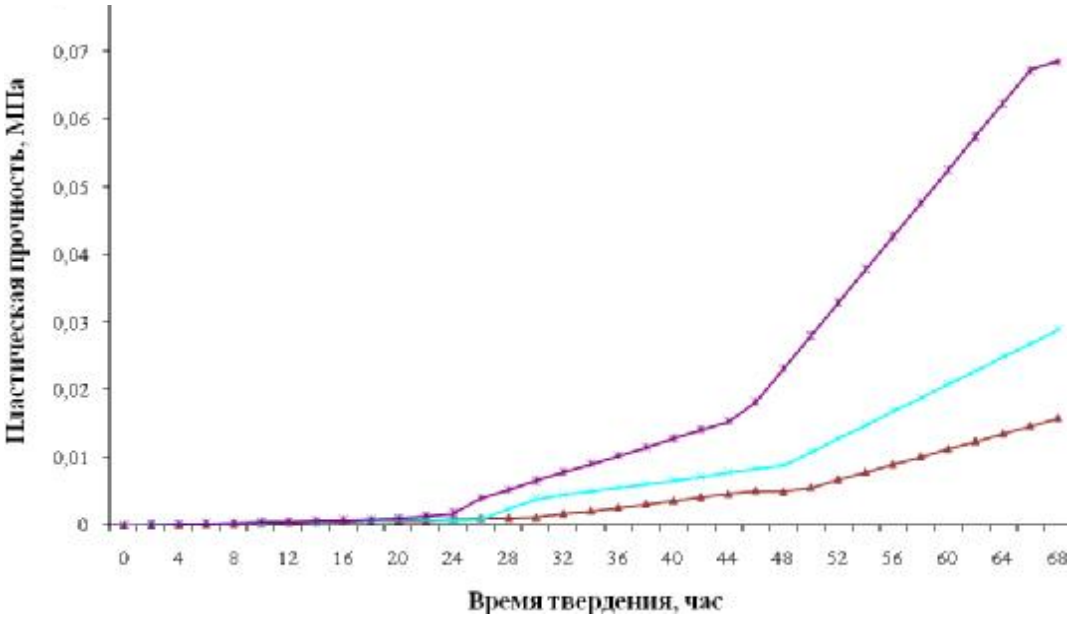


Рис. 2. Влияние добавки микроволластанита на пластическую прочность смеси И:П = 1:3, В/И = 2 (песок молотый): 1 – контрольный состав; 2 – микроволластанит 1% от массы извести; 3 – микроволластанит 1% и отношение И:Золь = 1:1

Водоудерживающая способность (определялась в соответствии с ГОСТ 5802 «Растворы строительные. Методы испытаний») составляет 97 %.

Введение добавки золя SiO_2 способствует повышению прочности при сжатии известковых растворов. Прочность при сжатии состава с соотношением компонентов И:П = 1:3, В/И = 2 (молотый песок удельной поверхности $S_{уд}$ = 5065 см^2/г) с добавкой золя (возраст золя 1 ч) при отношении И:Золь = 1:0,5 в возрасте 7 суток составила $R_{сж}$ =0,68 МПа и в возрасте 56 суток $R_{сж}$ =0,95 МПа, в то время как у контрольного состава соответственно $R_{сж}$ = 0,25 МПа и $R_{сж}$ = 0,61 МПа.

Повышение прочности, на наш взгляд, обусловлено взаимодействием извести с золем кремниевой кислоты с образованием гидросиликатов кальция. Нами оценивалось количество теплоты, выделяющееся в процессе взаимодействия золя SiO_2 с известью. Количество теплоты рассчитывалось по формуле:

$$Q = c \cdot Д t \cdot m \qquad (1)$$

где с – удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С);

Д t – изменение температуры, °;

m – масса навески, кг.

Для определения температуры применялся сосуд Дьюара. Результаты расчета показали, что количество теплоты, выделившейся при взаимодействии известь – золь SiO_2 – вода, составило 0, 150 кДж, а у состава известь SiO_2 – вода 0,106 кДж.

Как уже отмечалось, по-видимому, повышение прочности обусловлено образование гидросиликатов кальция. Однако, введение в рецептуру известковых составов добавки – микроволластанита, представляющего собой природный силикат кальция с молекулярной формулой $CaSiO_3$, не привело к существенному увеличению прочности. На рис. 2 приведены значения, характеризующие влияние добавки микроволластанита на пластическую прочность смеси. Так, спустя 60 часов после затворения пластическая прочность состава с добавкой волластанита в количестве 1% от массы извести, составила всего лишь 0,02 МПа, а у контрольного состава – 0,01 МПа. При совместном введении микроволластанита и золя SiO_2 прослеживается небольшое повышение пластической прочности. В возрасте 60 ч пластическая прочность составляет 0,05 МПа, т.е. введение волластанита подавляет действие золя.

В табл. 2 приведены числовые значения прочности известковых композиций с добавкой волластанита, подтверждающие незначительное повышение прочности при введении в рецептуру волластанита. Однако наличие в отделочном составе волластанита способствует повышению его трещиностойкости. При визуальном осмотре состояния поверхности отделочных слоев на бетонной подложке установлено, что на поверхности отделочных слоев, на основе контрольного состава наблюдаются трещины, а на образцах на основе составов с добавкой микроволластанита и с добавками микроволластанита и золя SiO_2 наличие трещин не зафиксировано.

Отделочные слои на основе известковых составов с применением золя кремниевой кислоты характеризуются пониженными деформациями набухания. Результаты испытаний показывают, что стабилизация деформаций набухания состава на молотом песке с добавкой золя SiO_2 наступает на 9 сутки, а контрольного – на 15 сутки. Значения деформаций

Таблица 2

Влияние добавок на прочность при сжатии известковых составов, МПа

		Прочность при сжатии, МПа
1	Контрольный состав	0,51
2	Микроволластанит 1% от массы извести	0,66
3	Микроволластанит 1% и отношение И:Золь = 1:1	1,29

составляют соответственно 0,010 мм/мм и 0,017 мм/мм, снижение деформаций набухания состава с добавкой золя SiO_2 составляет 40 %.

Введение в рецептуру добавки золя SiO_2 способствует повышению водостойкости известкового отделочного слоя на 20 %. Коэффициент размягчения $К_р$ контрольного состава составляет $К_р = 0,4$, а состава с добавкой золя SiO_2 – $К_р = 0,5$.

Предлагаемая рецептура и технология приготовления известковых составов позволила обеспечить совместимость с поверхностью, ранее окрашенной известковыми составами.

Литература

1. Комохов П.Г., Сватовская Л.Б., Сычева А.М. Высокопрочный бетон на основе элементов нанотехнологии по методу золь-гель // Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения: Материалы десятых академических чтений РААСН. – Пенза - Казань, 2006. – С. 8-10.
2. Комохов П.Г. Золь-гель как концепция нанотехнологии цементного композита // Строительные материалы, 2006, № 8. – С. 14-15.
3. Попович Н.В., Федоров В.В. Особенности кинетики процесса синтеза люминесцентных материалов золь-гель методом // Стекло и керамика, 2000, № 3. – С. 8-10.

УДК 661.2

Г.А. Медведева – кандидат технических наук, старший преподаватель
Р.Т. Порфирьева – доктор технических наук, профессор
В.В. Герасимов – доктор технических наук, профессор
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭЦ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

АННОТАЦИЯ

Разработаны полисульфидные композиционные материалы на основе золошлаковых отходов ТЭЦ, модифицированные глицерофосфатом кальция с высокими физико-механическими свойствами. Установлено, что высокие прочностные свойства и устойчивость их к агрессивным средам и воде обусловлены химическим взаимодействием компонентов и образованием полисульфидов, возможно, сшитой структуры. Разработанные материалы могут использоваться в качестве плиток, полов, тротуарных и бордюрных камней в производстве коррозионностойких материалов и в теплоэнергетике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Полисульфидные композиционные материалы, сера, золошлаковые отходы ТЭЦ, глицерофосфат кальция.

G.A. Medvedeva – candidate of technical sciences, senior lecturer
R.T. Porfiryeva – doctor of technical sciences, professor
V.V. Gerasimov – doctor of technical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

PROCESSING OF POLYSULPHIDE MATERIALS FOR CONSTRUCTION ON THE BASE OF ASHES WASTE FROM HEAT PLANTS MODIFIED BY PHOSPHATE-CONTAINING COMPOUNDS

ABSTRACT

The polysulphide composition materials on the base of ashes wastes from heat plants, modified by glycerol-phosphate calcium with high physical-mechanical properties are developed. It is established that high resistant properties and stability to aggressive environment and water is determined by chemical interaction of compounds, and production of polysulphides. The developed materials can be used as tile, floor, sidewalk and decorative border stones, and in production of corrosion-resistant materials and in heat power industry.

KEYWORDS: Polysulphide composition materials, sulphur, ashes wastes from heat plants, calcium glycerophosphate.

Актуальной экологической и технико-экономической проблемой в ряде регионов России и за рубежом является утилизация серы, образующейся как отход переработки нефти и газа. В России значительные количества попутной серы скопились в отвалах Астраханского газоперерабатывающего завода. В Татарстане ежегодно образуется более 300 т серных отходов на Минибаевском ГПЗ. С вводом Нижнекамского НПЗ ежегодно будет образовываться до 200 тыс. т серы. Переработка дешевых серных отходов экономически целесообразна и позволила бы решить экологическую проблему.

Элементный анализ указывает, что мы имеем дело практически с химически чистой серой.

Существенной проблемой является нахождение путей применения золошлаковых отходов тепловых электростанций, которые, будучи многотоннажными, отвлекают значительные площади и создают угрозу экологической безопасности республики Татарстан. В принципе, проблема является глобальной и требует своего экономически обоснованного и немедленного решения.

Известны керамические [1], бетонные [2, 3] композиции, другие материалы строительного назначения [4]. Однако практически не описаны материалы на золошлаковых отходах, имеющие в качестве матрицы серу [5]. Разработка технологий серных композиционных материалов актуальна ввиду того, что указанные материалы обладают рядом ценных свойств – прочностью, стойкостью к истиранию, водонепроницаемостью, кислотостойкостью и т. д. [6]. Поскольку доля дешевой попутной серы – отхода

нефтехимического комплекса – увеличивается, производство материалов с ее применением становится экономически обоснованным. Перспективными с точки зрения научных исследований и практического применения являются серные материалы с использованием органометаллосодержащих соединений, таких как глицерофосфат кальция. Применение их в качестве модификатора позволит, на наш взгляд, получить полимерную серу, а, следовательно, повысить механическую прочность изделий за счет образования сульфидных связей. Имеющийся органический фрагмент повысит ударную прочность материала. Полимерная сера обладает рядом преимуществ по сравнению с кристаллической. К ним можно отнести высокую устойчивость к агрессивным средам, высокую ударную прочность, отсутствие термических усадочных деформаций в композициях и т.д.

Основной характеристикой атома серы, существенно определяющей особенности процессов образования, типы химической связи и физико-химические свойства сульфидных фаз, является его способность выступать и как донор, и как акцептор. Акцепторная способность вызвана стремлением к достройке оболочки до конфигурации s^2p^6, присущей инертным газам и отвечающей минимальной энергии. Эта особенность атома серы обуславливает значительную долю ионной связи Me – S во многих сульфидах, а также образование атомами серы ковалентных групп S_n, что, в частности, определяет склонность к образованию полисульфидных фаз полимерной серы.

В работе использовались следующие материалы:

- сера – отход Нижнекамского нефтеперерабатывающего завода. По химическому составу эти отходы содержат 99,9 % серы, т.е. практически представляют собой товарный продукт (ГОСТ 127-93);
- глицерофосфат кальция (ГФК), выпускаемый промышленностью в соответствии с ФС 42-1809-82;
- строительный песок (ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ);
- золошлаковые отходы ТЭЦ-2 г. Казани следующего состава (масс. %):

SiO_2	47,7-52,2	$Al_2O_3+TiO_2$	21,24-25,28;
CaO+MgO	4,3	Fe_2O_3	5,2-5,9;
R_2O	1,84-19,03	SO_3	0,2.

Для более детального исследования ЗШО методом рассева были разделены на зольную и шлаковую составляющие. В работе использовалась зольная составляющая с размером частиц менее 1 мм. Образцы серных композиций готовились путем горячего смешения исходных компонентов при различном времени выдержки (от 10 минут до 4 часов). Далее указанные смеси направлялись на формирование образцов заливкой в формы размером 2x2x6 см (виброукладка) или прессованием при стандартном давлении 120 кг/см^2 цилиндриков 2x2 см. Полученные материалы испытывались на физико-механические показатели согласно ГОСТ 10180-90 и исследовались методами физико-химического анализа: рентгенографического анализа (рентгеновский дифрактометр ДРОН-3 с Cu K_α-излучением), электронно-парамагнитного резонанса (прибор РЭ-1306), дифференциально-термического анализа (дериватограф Q-1500D системы Паулик, Паулик, Эрдеи). Ударная прочность образцов оценивалась на маятниковом копре.

Результаты физико-механических испытаний образцов с ГФК приведены на рис. 1-3.

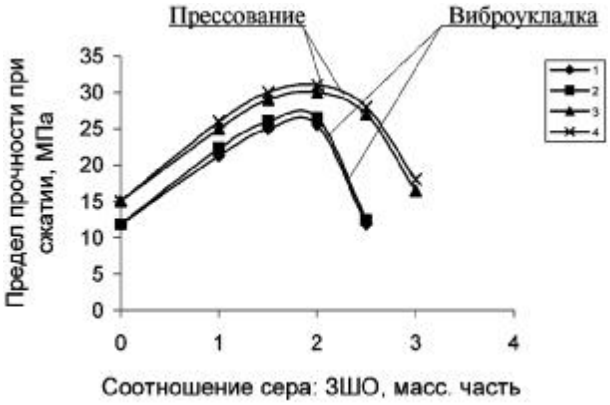


Рис. 1. Предел прочности при сжатии бинарных серно-золошлаковых композиций, полученных виброукладкой и прессованием при различных соотношениях компонентов и времени синтеза образцов: *1, 3* – 30 мин.; *2, 4* – 60 мин.

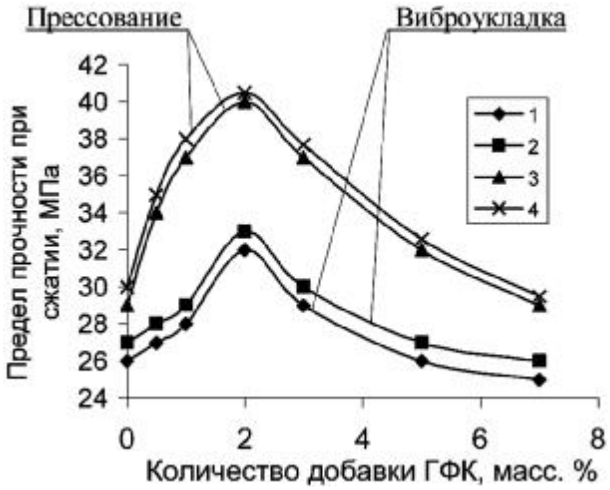


Рис. 2. Предел прочности при сжатии серно-золошлаковых композиций, модифицированных ГФК, полученных по технологии виброукладки и прессования, при температуре 170-180 ^{0}С, при различном содержании модифицирующей добавки ГФК и времени синтеза: *1, 3* – 30 мин.; *2, 4* – 60 мин.

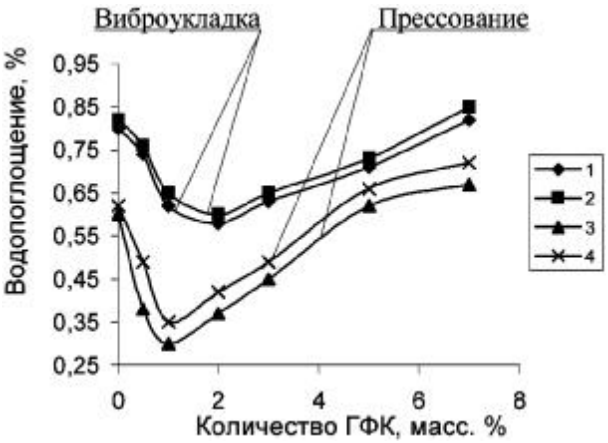


Рис. 3. Зависимость водопоглощения серно-золошлаковых композиций, модифицированных ГФК, полученных виброукладкой и прессованием при различном содержании модифицирующей добавки ГФК и времени синтеза: *1, 3* – 60 мин.; *2, 4* – 30 мин.

Как видно из рисунков, оптимальным с точки зрения прочностных свойств материала является соотношение сера: наполнитель, равное 1:1,5-1:2. Поэтому для дальнейших исследований было выбрано соотношение компонентов 1:1,5. Технологический фактор – удобоукладываемость, т.е. для удобоукладываемой смеси приняли соотношение 1:1,5.

При использовании в качестве модифицирующей добавки глицерофосфата кальция (ГФК) наблюдается незначительное повышение прочности при введении небольшого количества добавки (до 1 %). Предполагается, что фосфатный фрагмент ГФК способствует упрочнению полисульфидных композиций. Образующиеся химические связи между серой и органическим фрагментом ГФК также должны повышать механическую прочность образцов. При повышении количества добавки ГФК до 2 % прочность образцов увеличивается на 22 %.

Избыточное количество добавки ГФК (свыше 3 %) приводит к разрыхлению структуры образцов и прочность понижается. Оптимальным количеством добавки является 2-3 % ГФК.

Водопоглощение этих образцов не превышает 1 %, что соответствует требованиям ГОСТа.

Свойства материала в сопоставлении с ближайшим литературным аналогом приведены в таблице:

Таким образом, рекомендуемая композиция имеет состав (масс. %):

серосодержащие отходы – 37-39,5;
золошлаковые отходы – 60-57,5;
глицерофосфат кальция – 2-3.

Результаты исследований ЭПР для образцов серы и серных композиций представлены на рис. 4. В сере, термообработанной при 180 ^{0}С, содержится значительное количество парамагнитных центров, т.е. чрезвычайно реакционноактивных свободных радикалов, которые исчезают при добавлении в расплав серы модифицирующих добавок глицерофосфата кальция. Это также указывает на вероятное химическое взаимодействие компонентов с возможным образованием полимерных сульфидов, объясняющее повышение механической прочности образцов.

На рентгенограмме композиции наблюдается появление аморфного гало и отмечается увеличение доли аморфной фазы на 33 %, что также свидетельствует в пользу образования полимерной серы. Можно также полагать, что наряду с формированием полимерной модификации серы происходит замещение кислорода в ГФК на атомы серы с образованием соединений типа 1,2-димеркаптантиосульфата кальция. Существенное повышение удельной ударной вязкости, по всей видимости, связано с этим обстоятельством. На ИК спектрах серы обнаруживаются полосы поглощения в области 550 см$^{-1}$, на ИК-спектре композиции их интенсивность выше.

Таблица

ГФК, %	Свойства				
	$s_{сж}$, МПа	$s_{изг}$, МПа	Удельная ударная вязкость, Дж/см^2	Плотность (r), г/см^2	Водопогло-щение W, %
0	29-30	5,1	45	2,5	0,5
0,5	34-35	5,9	69	2,6	0,46
1	36,8-37,7	6,1	70	2,69	0,37
2	39,5-40,5	7,1	73	2,80	0,28
3	37-38	6	72,5	2,75	0,32
5	33-34	5,7	70	2,7	0,4
Аналог	20-26	3-3,5	65-69	–	–

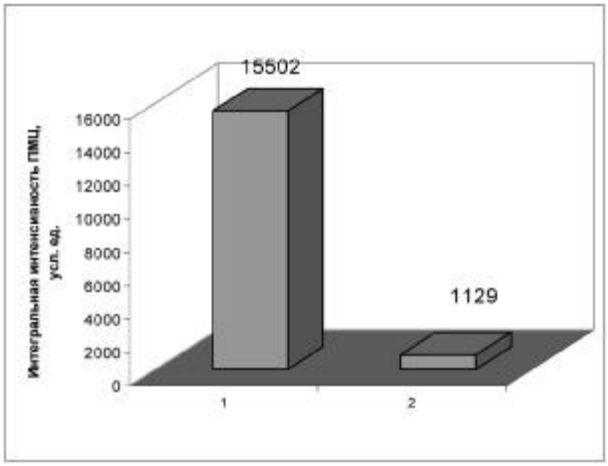


Рис. 4. Результаты исследований ЭПР для образцов серы, термообработанной при 180 °С (*1*), и серных композиций с добавкой глицерофосфата кальция (*2*)

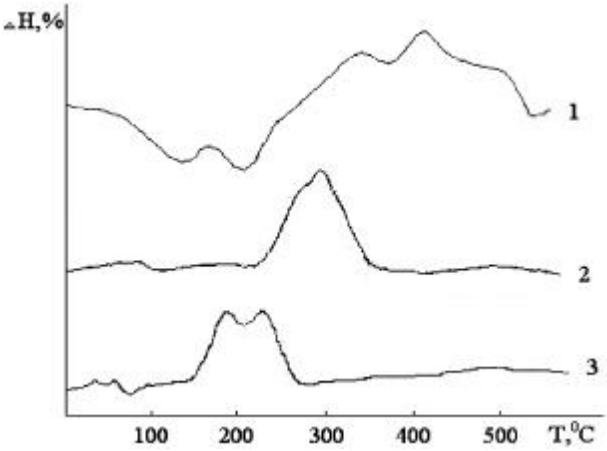


Рис. 5. Кривые дифференциально-термического анализа глицерофосфата кальция (*1*), серы (*2*) и композиции на их основе (*3*)

На рис. 5 представлены кривые дифференциально-термического анализа исходных компонентов и композиции на их основе. Как видно из рисунка, характер кривых (наличие и отсутствие эндоэффектов, температурный интервал экзотермических эффектов) для них совершенно различен, что также свидетельствует о взаимодействии компонентов и образовании новых соединений.

Разработанный материал обладает высокой устойчивостью к агрессивным средам. Так, коэффициент устойчивости в 5 % HCl составляет 0,987, в 5 % H_2SO_4 – 0,987; 5 % $CaCl_2$ – 0,987; 5 % NaCl – 0,987; 5% $MgSO_4$ – 0,987.

Таким образом, повышенные физико-механические и эксплуатационные свойства разработанного полисульфидного композиционного материала можно объяснить химическим взаимодействием компонентов в системе и образованием полимерных сульфидов. Материалы рекомендуются для использования в дорожном строительстве, химической промышленности и теплоэнергетике.

Литература

1. Герасимов В.В., Порфирьева Р.Т. Получение безобжиговых керамических и пористых огнеупорных материалов на фосфатной связке // Известия вузов. Проблемы энергетики, 2002, № 5-6. – С. 48-55.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высшая школа, 1987. – 414 с.
3. Баженов Ю.М. Бетонополимеры. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с.
4. Карнаухов Ю.П., Шарова В.В., Подвольская Е.Н. Вяжущие на основе отвальной золошлаковой смеси и жидкого стекла из кремнезема // Строительные материалы, 1998, № 5. – С. 12-13.
5. Порфирьева Р.Т., Герасимов В.В. Серные композиционные материалы для теплоэнергетики // Известия вузов. Проблемы энергетики, 2002, № 1-2. – С. 41-43.
6. Патуроев В.В. Полимербетоны. – М.: Стройиздат, 1987. – 286 с.

УДК 691.33

А.В. Синкевич – аспирант
В.Ф. Новиков – доктор химических наук, профессор
Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)
А.В. Танеева – кандидат химических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

АННОТАЦИЯ

Разработан метод оценки сорбционных свойств керамического материала на основе пространственных моделей. С этой целью предложено использовать правильный тетраэдр, внутри которого точки, соответствующие исследованным материалам, образуют облако. Для графического представления соответствующих величин тетраэдр разворачивается на плоскость с координатами, соответствующими хроматографическим факторам полярности. Этот метод может найти широкое применение для оценки свойств пористых материалов, в том числе и полимерных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Керамические материалы, хроматография, пространственный метод, сорбент, сорбционные характеристики.

A.V. Sinkevich – post-graduate student.
V.F. Novikov – doctor of chemical sciences, professor.
Kazan State Energy University (KSEU)
A.V. Taneeva – candidate of chemical sciences, associate professor.
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

SPATIAL MODEL FOR ESTIMATION OF SORPTION PROPERTIES OF CERAMIC MATERIALS

ABSTRACT

We have developed an estimation method of sorption properties of ceramic materials on the basis of spatial models. For this aim, we have offered the usage of correct tetrahedron, inside of which the points corresponding to investigated materials are forming the cloud. For graphic representation of relative sizes the tetrahedron is turned on a plane with coordinates corresponding to chromatographic factors of polarity. This method can be widely applied for an estimation of properties of porous materials, including polymeric ones.

KEYWORDS: Ceramic materials, chromatography, spatial method, sorbent, sorption characteristics.

Как известно, качество керамического кирпича в большинстве случаев зависит от физико-химических свойств глинистых материалов, применяемых для его изготовления. При этом практически все материалы, используемые для изготовления керамического кирпича, находятся в метастабильном состоянии, кристаллическая решетка которых может существенно изменяться под действием различных факторов, таких как температура, давление и др. [1]. Поэтому теплозащитные свойства и долговечность керамического кирпича могут зависеть также от его структуры и величины пор, в которые проникают различные вещества, оказывающие воздействие на его эксплуатационные характеристики.

В последнее время наблюдается интенсивное загрязнение атмосферного воздуха от антропогенных источников, в результате которого примеси токсичных веществ сорбируются ограждающими конструкциями, изготовленными из керамических и других пористых материалов. При этом сорбционные свойства керамических материалов будут также зависеть от физико-химической природы загрязняющих веществ, мигрирующих в микро- макропоры материалов. Миграция воды и других химических активных веществ в поры керамического материала вызывает появление высолов, которые портят не только внешний вид зданий, но и приводят к разрушению кладки. Для защиты от высолов наиболее широко применяются гидрофобизаторы, химические вещества органической природы. Наиболее эффективными являются кремнийорганические соединения, которые наиболее удачно сочетают оптимальную гидролитическую

стабильность, легкость фиксации молекул на поверхности керамического кирпича, а также длительность сохранения гидрофобного эффекта.

Ранее для оценки сорбционных свойств керамического кирпича нами был использован метод обращенной газовой хроматографии, когда в качестве сорбента используется его определенная фракция, на которую в подходящем растворителе наносится органическая жидкость. В этом случае сорбционные свойства исследуемых материалов определяем по анализу стандартных органических жидкостей, являющихся донорами или акцепторами электронов и проявляющих дином-дипольное и дисперсионное взаимодействие в системе сорбент-сорбат [2-5].

Очевидно, что для комплексной оценки сорбционных свойств керамических материалов можно использовать пространственные модели, которые позволяют определять зависимость одной характеристики от сочетанного взаимодействия других. В настоящей работе для оценки сорбционной способности керамического материала использовали правильный тетраэдр [6], который ранее был использован нами с целью стандартизации и классификации неподвижных фаз для газовой хроматографии [7].

Известен способ графического изображения состава трехкомпонентной системы на плоскости по методу Гиббса и Розебума [8], который Браун применил в газовой хроматографии, он предусматривает использование треугольной системы координат [9]. Однако эта оценка свойств сорбентов имеет ограниченный характер, так как используется совокупность только трех характеристик удерживания сорбатов, графическое изображение которых происходит на одной плоскости.

Представляет определенный интерес разработка методов наглядной графической интерпретации физико-химических характеристик сорбентов, в частности, используя трехмерное пространство. Для этого применяли совокупность четырех факторов полярности и не сами их значения, а так называемые «доли», величины, пропорциональные значениям [10-11].

$$F_x = x/(x+y+z+u),\ F_y = y/(x+y+z+u), \qquad (1)$$

$$F_z = z/(x+y+z+u),\ F_u = z/(x+y+z+u), \qquad (1)$$

Видно, что

$$F_x + F_y + F_z + F_u = 1 \qquad (3)$$

В тетраэдре можно отобразить «доли» удерживания стандартных сорбитов в пространстве, при этом точка в тетраэдре может быть найдена двумя способами. Один из них: координаты точки откладываются на высотах тетраэдра, сумма которых равна единице. Для второго способа используют различные сочетания трех факторов полярности, исходя из четырех, а каждая грань тетраэдра при этом должна представлять собой график (по аналогии с известным графиком Брауна), на гранях которого откладываются «доли». По проекциям точек каждой грани определяли их положение внутри тетраэдра. Рассмотрим более подробно эти случаи.

Сумму Fx, Fy, Fz, Fu, равную единице, можно рассматривать как расстояние некоторой точки P правильного тетраэдра до его граней (рис. 1). Обозначим плоскости граней (ABC) = $\bar{u}$, (BCD) = $\bar{x}$, (ACD) = $\bar{y}$, (ABD) = $\bar{z}$. Через Px, Py, Pz, Pu обозначим

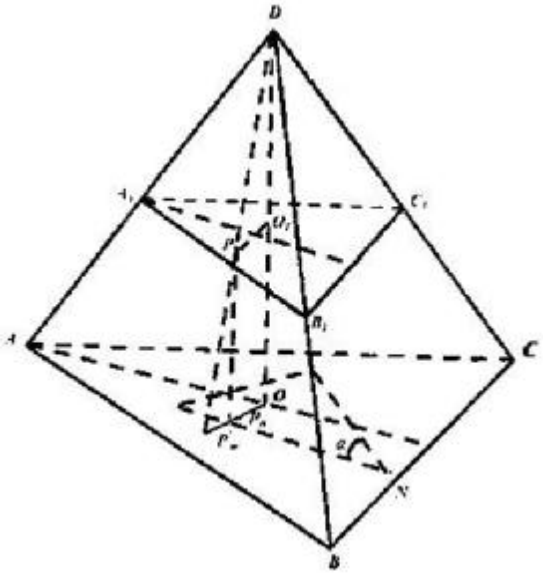


Рис. 1. Тетраэдр для оценки сорбционных свойств керамических материалов на основе трехмерного пространства

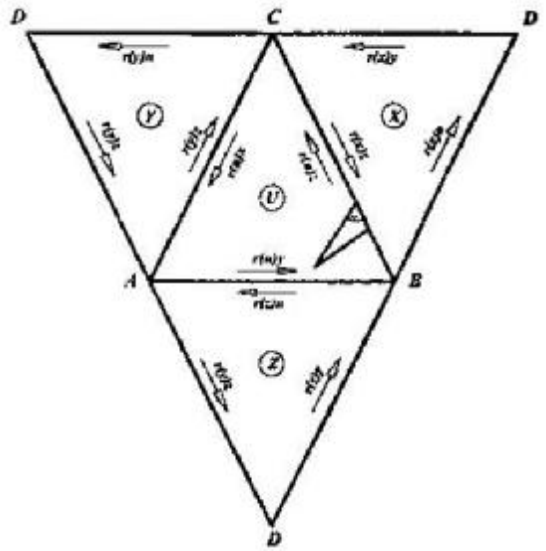


Рис. 2. Развертка на плоскость тетраэдра для графического представления сорбционных свойств керамических материалов

ортогональные проекции точки P соответственно на грани x, y, z, u, а через Px', Py', Pz', Pu' – центральные (с центром в соответствующей вершине тетраэдра) проекции точки P на грани (например, Pu' на рис. 1).

Сумму Fx, Fy, Fz, Fu, равную единице, можно рассматривать как расстояние некоторой точки P правильного тетраэдра до его граней (рис. 1). Обозначим плос-кости граней (ABC) = $\bar{u}$, (BCD) = $\bar{x}$, (ACD) = $\bar{y}$, (ABD) = $\bar{z}$. Через Px, Py, Pz, Pu обозначим ортогональные проекции точки P соответственно на грани $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$, $\bar{u}$, а через Px', Py', Pz', Pu' – центральные (с центром в соответствующей вершине тетраэдра) проекции точки P на грани (например, Pu' на рис. 1).

Проведем через точку P сечение $A_1B_1C_1$, параллельное плоскости $\bar{u}$. Это сечение пересечет высоту DO в точке O_1. Треугольник ABC получаем из треугольника с центром D при помощи гометении и коэффициента

$$l_u = |DO| / |DO_1| = 1/(1 - F_u) \qquad (4)$$

Тогда расстояния точки P до граней тетраэдра будут: $l_u F_x;\ l_u F_y;\ l_u F_z$, а до сторон AB, BC, CA треугольника ABC – пропорциональны расстояниям этой точки до соответствующих граней. Пусть $P_u'M \perp (BCD), P_u'N \perp BC$, тогда сторона BC, будучи перпендикулярной прямым $P_u'N$ и $P_u'M$, будет перпендикулярной плоскости $P_u'MN$. Это означает, что угол $P_u'NM$ является линейным углом a тетраэдра. Таким образом,

$$|P_u'N| = |P_u'M| / \sin a = l_u F_x / \sin a \qquad (5)$$

Ввиду постоянства угла и равенство (3) имеет место для всех точек P_u' внутри треугольника ABC. В свою очередь, расстояние точки P_u' до сторон треугольника ABC можно заменить пропорциональными величинами, а именно длинами $r(u)x, r(u)y, r(u)z$ отрезков от данной точки $P_u'M$ треугольника до его стороны, считая по прямой, параллельной другой стороне (рис. 2)

$$r(u)x = |P_u F| / \sin 60^o \qquad (6)$$

Если длину ребра принять за единицу, то каждое ребро тетраэдра делим на n частей, т.е. строим шкалу с ценой деления 1/n. Устанавливаем направление отсчета на каждом ребре. На гранях тетраэдра с помощью шкал по числам F_x, F_y, F_z, F_u строим точки P_x', P_y', P_z', P_u', являющиеся центральными проекциями точки P на соответствующие грани. Зная эти проекции, то есть следы проектируемых прямых (спиц) DP, AP, BP, CP на гранях, мы проводим прямые (втыкаем спицы $P_u'D, P_x'A, P_y'B, P_z'C$, которые дадут точку P. Пересечение шкал можно показать на примере грани $\bar{u}$.

Рассмотрим два крайних случая, когда точка P_u' совпадает с точкой C, а потом с точкой A. В первом случае значение r(u)x («расстояние» от x) равно 0, а во втором – равно 1. Следовательно, направление шкалы идет от C к A. Далее если точка P_u' находится в точке A, то r(u)y=0, если же точка P_u' находится в B, то r(u)y=1, то есть шкала имеет направление от A к B. Наконец, если P_u' находится в точке B, то r (u)z =0, если же в точке C, то r(u)z = 1 и направление шкалы идет B к C. Точно также устанавливается направление шкал на каждой грани. В развертке тетраэдра получается следующая картина (рис. 3). При этом направление на шкалах можно поменять на противоположное, тогда обход каждой грани будет получаться не против часовой стрелки (как это имеет место на рис. 3), а по часовой.

Для оценки сорбционных свойств строительных материалов использовали огнеупорный керамический кирпич, который размалывали в шаровой мельнице, отсеивали фракцию размером 0,25-0,30 мм, которую затем промывали соляной кислотой с целью дезактивации активных центров. На подготовленный таким образом твердый материал из растворителя наносили органические вещества, которые являются стандартами для оценки характера межмолекулярного взаимодействия в системе сорбат – сорбент. Таким образом, мы определим свойство керамического кирпича так называемым методом обращенной газовой хроматографии. В качестве органических жидкостей, которые были использованы для оценки сорбционных свойств керамического кирпича, были использованы вещества различной физико-химической природы, например, слабо-полярные, такие как силиконы и сильнополярные. В качестве стандартных сорбатов использовали органические вещества: бензол (x), этанол (y), метилэтиллетон (z), нитрометан (u), пиридин (S).

В качестве примера рассмотрим оценку сорбционных свойств керамического кирпича, хроматографические факторы полярности которых, определенные на основе анализа стандартных сорбатов, приведены в таблице.

Таблица

Хроматографические факторы полярности стандартных сорбатов для керамического кирпича, пропитанного различными органическими жидкостями

№ п/п	Керамический кирпич, пропитанный органической жидкостью	Хроматографические факторы полярности (100 С)				
		X	Y	Z	U	S
1	Силикон SE-30	0,16	0,20	0,50	0,85	0,48
2	Силикон OV-210	1,41	2,13	3,55	4,73	3,04
3	Силикон OV-225	2,17	3,20	3,33	5,16	3,69
4	Силикон XE-60	2,08	3,85	3,62	5,33	3,45
5	Карбовакс-4000	3,22	5,46	3,86	7,15	5,17
6	$b, b^{/}$ – оксидипропионитрил	5,88	8,48	8,14	12,58	9,19
7	1,2,3-трис (b – цианэтокси) пропан	6,00	8,71	7,94	11,53	9,40
8	Арсенированный полиэтиленгликоль-1500	3,34	10,51	3,77	7,43	6,77
9	Полиоксиэтилен бис (арсенат)	3,14	10,05	3,90	7,06	4,77
10	Полиоксиэтилен бис (арсенат): метил- b – цианэтилсилоксановый каучук (50:50%)	0,23	12,30	6,16	6,73	7,20
11	Полиоксиэтилен бис (арсенат): метил- b – цианэтилсилоксановый каучук (10:90%)	0,92	12,10	5,85	6,20	7,60
12	Полиоксиэтилен бис (арсенат): метил- b – цианэтилсилоксановый каучук (90:10%)	1,10	11,86	5,31	6,12	7,18

Из таблицы видно, что хроматографические факторы полярности изученных соединений в сильной степени зависят от химической структуры молекулы органического вещества и процента пропитки твердого носителя. Наиболее широко применяемый ассортимент сорбентов, полученных на основе кремнийорганических соединений (№ 1-4), полиэтиленгликолей (№ 5) и нитросоединений (№ 6-7), характеризуется самыми разнообразными значениями хроматографических факторов полярности. При этом силиконовые сорбенты характеризуются относительно небольшими значениями факторов полярности, не превышающими 6 единиц для нитрометана (фактор $\bar{u}$). Наиболее высокое значение хроматографических факторов полярности в данном ряду сорбентов характерно для $b, b^{/}$ - оксидипропионитрила и 1, 2, 3-трис (b - цианэтокси) пропана. При этом для них характерны высокие значения хроматографических факторов полярности практически по всем стандартным сорбатам. Наиболее высокие абсолютные значения характерны для нитрометана (фактор *u*), когда их величина достигает 11 и 12 единиц и выше. Это говорит о протоноакцепторной природе этих сорбентов. Для исследованных нами арсенированных сорбентов(№ 8-12) и их бинарных композиций хроматографические факторы полярности имеют иные значения. Так, для этого ряда сорбентов характерными являются относительно низкие значения хроматографического фактора полярности (*x*), т.е. энергия взаимодействия ароматических углеводородов с этим рядом сорбентов небольшая. Наиболее высокие значения характерны для хроматографического фактора полярности (*y*), который, как известно характеризует способность сорбентов к образованию межмолекулярной водородной связи с протонодонорными веществами.

На рис. 3 приведена развертка на плоскость (*x*), (*z*), (*u*), (*y*) правильного тетраэдра, которая позволяет оценить вклад различных по структуре органических веществ в общую величину хроматографического удерживания. На гранях тетраэдра представлены точки, являющиеся проекциями исследуемых сорбентов.

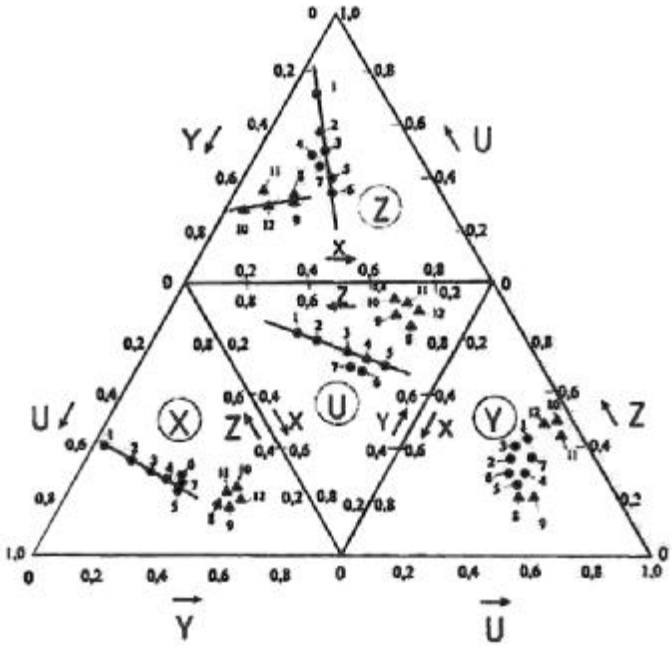


Рис. 3. Оценка сорбционных свойств керамических материалов на основе развертки на плоскость правильного тетраэдра. Номера точек соответствуют данным таблицы

Из рис. 3 видно, что на развертке, на плоскости тетраэдра точки группируются довольно кучно. При этом они находятся в двух явно видимых областях. В одной области сгруппированы точки, соответствующие полиоксиэтиленбис (арсенатам), а в другой – все остальные. При этом экспериментами точки группируются около соответствующей прямой, что свидетельствует о четкой зависимости сорбционной способности керамического кирпича от структуры заместителей у центрального атома органического вещества и степени его пропитки.

Таким образом, для оценки сорбционных свойств керамических материалов предложено использовать пространственную модель, базирующуюся на трехмерном пространстве. С этой целью применяется метод обращенной газовой хроматографии, когда исследуемый керамический материал используется в качестве сорбента, а его свойства определяются по анализу стандартных сорбатов.

Литература

1. Какошко Е.С. Повышение качества керамического кирпича путем микробиологической обработки сырьевых материалов // Строительные материалы, 2007, № 2. – С. 76-77.
2. Аликина И.Н., Новиков В.Ф. Сравнительная оценка вклада межмолекулярных взаимодействий в величины удержания сорбатов для 10-ти алкилфенолсорсинов // Известия вузов. Химия и химическая технология, 1987, т. 30, вып. 3. – С. 46-49.
3. Вигдергауз М.С. Роль неподвижной фазы в газо-жидкостной хроматографии и методы подбора сорбентов. // Успехи химии, 1967, т. 36, № 10. – С. 1810-1841.
4. Каратаев О.Р., Федоренко А.В., Новиков В.Ф. Способ получения сорбента для газовой хроматографии. Патент Российской Федерации № 2216017, зарегистр. 10 ноября 2003 г.
5. Новиков В.Ф. Органические производные фосфора и мышьяка в качестве неподвижных фаз для газовой хроматографии. // Журнал физической химии, 1999, т. 67, № 4. – С. 848-853.
6. Рязанова Л.В., Сандлер А.И., Новиков В.Ф., Вигдергауз М.С. Оценка характеристик неполных фаз в газовой хроматографии на основе пространственных представлений // Журнал физической химии, 1985, № 9. – С. 2261-2265.
7. Новиков В.Ф., Вигдергауз М.С., Нуртдинов С.Х., Исмагилова Н.М. Исследования фосфорорганических неподвижных фаз на основе факторов полярности // Журнал аналитической химии, 1979, т. 34, № 12. – 2393 с.
8. Физическая химия. / Под ред. К.С. Краснова. – М.: Высш. шк., 1972. – 417 с.
9. Brown J.J. Chrmatogmatogr. 1963, v. 10, p. 284.
10. Новиков В.Ф., Бобров Б.Н., Ардатов А.В., Харрасова Ф.М. Взаимодействие между аммониевыми солями арилтрихлорметиловых фосфиновых кислот и органическими растворителями // Журнал общей химии, 1986, т. 56, вып. 9. – С. 2009-2012.
11. Каратаев О.Р., Танеева А.В., Карташова А.А., Новиков В.Ф. Основы газохроматографического анализа. Научное издание. – Казань: КГЭУ, 2007. – 243 с.

УДК 691

Д.С. Смирнов – кандидат технических наук, доцент
С.С. Маслов – инженер
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

О МЕТОДАХ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЧУГУННЫХ РАДИАТОРОВ

АННОТАЦИЯ

В России потребность в чугунных радиаторах сохраняется не только при замене старых отопительных приборов, но и для оснащения ими новостроек. Однако использование устаревших технологий и нарушение технологических процессов при производстве чугунных радиаторов приводят к снижению их качества и надежности.

Работа направлена на изучение причин возникновения дефектов и, как следствие, появления протечек в чугунных радиаторах на одном из муниципальных объектов города Казани.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Чугун, чугунные радиаторы, кристаллизация чугуна, отливки из чугуна, макродефекты чугуна, микродефекты чугуна.

D.S. Smirnov – candidate of technical sciences, associate professor
S.S. Maslov – engineer
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

TO ESTIMATION METHODS OF QUALITY OF CAST-IRON RADIATORS

ABSTRACT

In Russia, the requirement in cast-iron radiators is remained not only for replacing the old heaters but also for provision of newly developed buildings. However, the use of obsolete technologies and troubles in technological processes of cast-iron radiators production lead to the reduction of their quality and reliability.

This work is devoted to research of reasons of defect arousing, and to consequent leakages in the cast-iron radiators at one of the municipal projects in Kazan.

KEYWORDS: Cast-iron, cast-iron radiators, crystallization of cast-iron, founding from cast-iron, macro-defects of cast-iron, micro-defects of cast-iron.

В настоящее время в России в эксплуатации находятся многие миллионы чугунных радиаторов, при этом износ большинства из них составляет 60-80 %. В случае реформирования ЖКХ рассчитывать на замену чугунных радиаторов на биметалл или алюминий не приходится [1]. Кроме того, качество отопительной воды, по меньшей мере, не улучшится и, следовательно, её агрессивное воздействие на отопительные приборы не уменьшится. В последние годы наблюдается рост систем индивидуального, поквартирного отопления. В этом узком секторе жилья чугун, вероятно, будет быстрее вытесняться алюминием, биметаллом и сталью. Однако, в балансе жилищного фонда страны такие здания составляют лишь доли процента, и большинство населения пока живёт в других условиях. Единственным массовым, надёжным и доступным прибором для таких условий эксплуатации остаётся и долго будет оставаться чугунный радиатор. Антикоррозионная устойчивость, низкое гидравлическое сопротивление, высокая теплоотдача, хорошая гигиеничность, долговечность, доступная цена – эти качества обеспечивают стабильный спрос на чугунные радиаторы в России на десятилетия вперёд. Значительная тепловая инерционность чугуна в российских условиях отнюдь не недостаток. При таких условиях потребность в чугунных радиаторах сохранится не только при замене старых отопительных приборов, но и для оснащения ими новостроек (кроме высоток).

Владельцы индивидуальных домов тоже пока не очень спешат отказываться от чугунных радиаторов. Во-первых, потому, что далеко не везде имеется газ, а при использовании твёрдотопливных котлов большая тепловая инерция чугунных радиаторов не недостаток, а благо. Во-вторых, преимущественно радиационная составляющая теплоотдачи чугунных радиаторов привычнее и полезнее для человека, в процессе эволюции привыкшего к низкотемпературному излучению дровяных печей. В-третьих, установив чугунные радиаторы, человек на десятилетия забывает

о них, так как никаких проблем в процессе эксплуатации они ему не создают. Таким образом, чугунный радиатор для России не вчерашний день, а самый что ни на есть сегодняшний [1, 2].

Серьёзная проблема – дизайн и качество исполнения отечественных чугунных радиаторов. В России радиаторы производят по давно устаревшим технологиям и на примитивном оборудовании. Отсюда – шероховатая поверхность, неравномерность толщины стенок, большая масса и т.п. В ряде случаев нарушение технологических процессов при производстве чугунных радиаторов приводят к многомиллионным убыткам.

В период с 2002 по 2004 годы на одном из муниципальных объектов производился капитальный ремонт, включающий замену отопительного оборудования. Радиаторы, произведенные одним из ведущих российских предприятий, были установлены в октябре-ноябре 2002 года и опрессованы в декабре 2002 года. Через 2 года эксплуатации произошло более 10 случаев протечки.

С целью выявления причин их появления проведены исследования в металлографической лаборатории КГАСА.

Внешний осмотр позволил установить следующие дефекты: каверны, трещины на торцевой и лицевой частях секций. По результатам внешнего осмотра чугунных радиаторов доставленных в лабораторию, предполагаемыми причинами возникновения выявленных дефектов могли быть:

– избыточное давление или гидравлический удар в отопительной системе;

– не соблюдение условий транспортирования, хранения и монтажа;

– дефекты материала.

На основании данных, представленных МУП «Казэнерго», в период с февраля по март 2004 года избыточного давления в системе не возникало. Нарушений в работе системы не было.

Образование указанных дефектов не связано с механическими повреждениями, которые могли бы иметь место в процессе транспортировки или погрузо-разгрузочных работах, в виду отсутствия отколов, царапин, вмятин, забоин и др. признаков внешнего механического воздействия. Монтаж радиаторов осуществлен в соответствии с требованиями ГОСТ 8690-94 п. 9 [3].

Для определения возможных дефектов в материале проводились обследования чугунных радиаторов на соответствие их требованиям ГОСТ 8690-94 по основным параметрам и размерам, а также требованиям к чугуну, из которого они изготавливались.

Анализ результатов показал, что габаритные расстояния между центрами ниппельных отверстий, размеры и отклонения соответствуют требованиям ГОСТ 8690-94 и ГОСТ 26645-85 [4].

С целью изучения структуры и химического состава чугуна на соответствие требованиям ГОСТ 8690-94, а также характера и причин образования протечек проведен детальный анализ трех секций радиаторов, имеющих все ранее перечисленные дефекты. Исследования включали в себя 3 этапа:

– изучение макроструктуры дефектов,

– химический и спектральный анализы чугуна,

– изучение микроструктуры чугуна.

Для изготовления образцов микрошлифов на радиаторе № 1 были отмечены участки с предположительно возможными дефектами структуры по всей длине трещин. Внешний осмотр вырезанных образцов при восьмикратном увеличении показал, что причиной образования трещины также явились усадочные деформации чугуна. Развитие этих трещин шло с середины сечения, что особенно хорошо видно на рис. 1. Такие трещины не могли возникнуть под действием внешних механических нагрузок.

Рис. 1. Усадочная трещина

Для изучения поверхности трещины на радиаторе № 2 с целью выявления причин ее возникновения механическим способом был вырезан образец длиной 370 мм и шириной 23 мм с симметрично расположенной трещиной по длине. Вырезанный участок имел деформационный изгиб с максимальной величиной прогиба 12 мм (рис. 2). Причиной этой деформации явились значительные остаточные напряжения в материале изделия. Трещина имеет характер хрупкого разрушения. Изучение макроструктуры трещины на бинокулярном стереоскопическом микроскопе МБС-9 при восьмикратном увеличении показало, что ее развитие шло с внутренней стороны радиатора.

Наиболее вероятной причиной возникновения трещины является усадка чугуна после завершения процесса его кристаллизации. На первом этапе шло образование несквозной холодной трещины глубиной

0,5-1,0 мм. На втором этапе, вследствие воздействия остаточных напряжений в материале, трещина развивалась вглубь стенки радиатора.

С целью определения механизма образования и строения раковин (предположительно сквозных) на радиаторе № 3 были отмечены участки с указанными дефектами, которые затем вырезались механическим способом. Внешний визуальный осмотр показал, что раковина на участке 1 развивается на глубину до 2,8 мм, т.е. не на всю толщину стенки радиатора. Затем она соединяется с трещиной, образовавшейся с внутренней стороны изделия, что и явилось причиной протечки воды из радиатора (рис. 3).

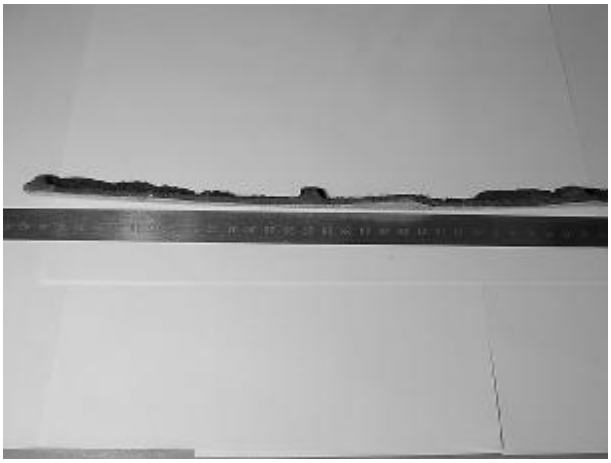


Рис. 2. Образец с деформационным изгибом

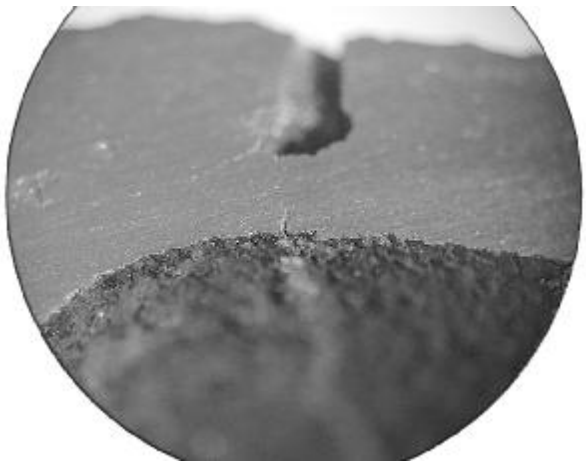


Рис. 3. Раковина на участке 1

На момент проведения опрессовки и в процессе дальнейшей эксплуатации в течение длительного периода времени протечки не наблюдалось. Давление в системе не могло явиться причиной возникновения трещин на рассматриваемых участках, т.к. в этом случае развитие трещин началось бы с наружной стороны изделия в зоне растягивающих напряжений. Статическая прочность чугуна при сжатии примерно в 4 раза выше прочности при растяжении. Сопротивление усталости серого чугуна при пульсирующем цикле сжатия в 5-6 раз выше, чем при пульсирующем цикле растяжения [5].

В данном случае изначальной причиной образования этих трещин также следует считать усадочные деформации чугуна после кристаллизации с последующим их развитием в результате действия остаточных напряжений в материале до соединения с отверстием на участке 1.

Раковины, наблюдаемые на наружной поверхности радиаторов, образовались в результате газовыделения. На данном этапе исследований предполагаемыми причинами образования этих раковин могли явиться:

– высокая скорость охлаждения отливки, повлиявшая на процесс кристаллизации чугуна,

– недостаточно развитая вентиляционная система для отвода газов в процессе отливки,

– недостаточная жидкотекучесть чугуна.

С целью определения твердости чугуна проведены испытания образцов №№ 1, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 17, 23 на приборе Роквелла в соответствии с ГОСТ 9013. Далее твердость по Роквеллу (HR_B) перевели в твердость по Бринеллю (НВ). Результаты испытаний образцов показали, что для чугуна марок СЧ10 и СЧ15 твердость соответствует требованиям ГОСТ 1412-85 и в среднем составляет НВ 170. Следует отметить, что на разных участках радиатора твердость чугуна изменялась от 156 (образец № 6) до 178 (образец № 10). На данном этапе исследований это явление можно объяснить двумя причинами:

– неравномерное распределение элементов сплава по объему отливки,

– неравномерное формирование структуры чугуна.

Для изучения качественного и количественного химического состава чугуна проведены спектральный и химический анализы образцов 14, 16 и 26, вырезанных из радиатора № 1.

Наличие химических элементов Mn, Si, P, S определялось спектральным анализом на многоканальном спектрометре оптического излучения фирмы APPLIED RESEARCH LABORATORIES (ARL 3460). Прибор имеет стабильные аналитические характеристики, что позволяет быстро и точно определять химический состав металлов. Количество углерода определялось на газоанализаторе ГОУ-1 газообменным методом. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Анализ результатов показал, что содержание химических элементов Mn, Si, P и S соответствует требованиям ГОСТ 1412-85. Компоненты равномерно распределены по объему отливки.

Содержание углерода на образцах 14 и 26 ниже рекомендуемых значений и не соответствует ГОСТ 1412-85 [6]. Следует отметить, что низкое содержание углерода отрицательно сказывается на жидкотекучести и, следовательно, на литейных свойствах чугуна.

Таблица 1

№№ обр.	Fe	C	S	P	Si	Mn
14	основа	3,4	0,036	0,06	2,4	0,64
16	основа	3,5	0,036	0,05	2,4	0,65
26	основа	3,45	0,034	0,05	2,4	0,69

Недостаточные литейные свойства чугуна приводят к образованию литейных дефектов, к которым относятся и раковины, наблюдаемые на некоторых радиаторах.

Для изучения микроструктуры чугуна вырезанные из радиатора образцы (№№ 7, 8, 12, 18, 21) шлифовались и полировались в соответствии с ГОСТ 3443-87 [7]. Исследование графита производили на нетравленом шлифе. Просмотр образцов производили на микроскопе МИМ-7 при увеличении х100, в соответствии с ГОСТ 3443-87. Анализ результатов показал, что форма включений графита для всех образцов пластинчатая прямолинейная. Длина включений графита в среднем для образцов № 21 и № 12 составила 100 мкм (рис. 4), а для образцов № 7, № 8 и № 18 – 50 мкм (рис. 5).

Для всех исследованных образцов распределение включений графита розеточное. Количество включений графита в среднем составило 5-8 %. Результаты исследований микроструктуры приведены в таблице 2. Розеточное распределение включений графита свидетельствует о быстрой скорости охлаждения чугуна, характерной для тонкостенных отливок.

Разные размеры включений графита в исследуемых образцах могли быть обусловлены двумя причинами:

– неравномерное распределение элементов сплава по объему отливки,

– неравномерное охлаждение отливки.

Причиной образования включений графита различной длины следует считать разную скорость охлаждения участков отливки, т.к. по результатам спектрального и химического анализов элементы сплава распределены равномерно. Разная скорость охлаждения по участкам отливки стала причиной возникновения остаточных внутренних напряжений в материале.

Анализ полученных результатов исследований позволил установить, что габаритные расстояния между центрами ниппельных отверстий, размеры и отклонения соответствуют требованиям ГОСТ 8690-94 и ГОСТ 266645-85. Твердость чугуна в отливке соответствует ГОСТ 1412-85. Форма зерен графита в чугуне соответствует требованиям ГОСТ 8690-94. Содержание S, P, Si, Mn соответствует требованиям ГОСТ 8690-94. Содержание C не соответствует требованиям ГОСТ 8690-94 по минимально допустимому содержанию.

Следовательно, наиболее вероятной причиной возникновения дефектов является:

1) образование холодных трещин в результате неравномерного и быстрого охлаждения отливок;

2) повышенные остаточные напряжения в материале;

3) наличие литейных дефектов в виде раковин, вызванных недостаточной жидкотекучестью чугуна и высокой скоростью его охлаждения.

Учитывая причины возникновения дефектов, предприятию рекомендовано обеспечить надлежащий операционный контроль при изготовлении чугунных радиаторов.

Рис. 4. Включение графита на образце 12 (участок 3)

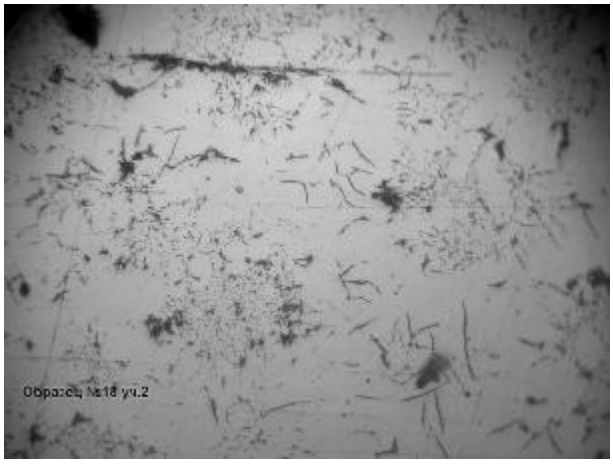


Рис. 5. Включение графита на образце 18 (участок 2)

Таблица 2

№№ обр.	Условное обозначение по ГОСТ 3443-87
7	ПГф1 – ПГр7 – ПГд45 – ПГ6
8	ПГф1 – ПГр7 – ПГд45 – ПГ6
12	ПГф1 – ПГр7 – ПГд90 – ПГ6
18	ПГф1 – ПГр7 – ПГд45 – ПГ6
21	ПГф1 – ПГр7 – ПГд90 – ПГ6

Литература

1. Интернет-портал «Все для строительства и ремонта» // Vashdom.ru: 2005. 05 окт. URL: http://www.vashdom.ru/articles/time_1.htm (дата обращения 15.01.2009).
2. Современные радиаторы на российском рынке // «Dom.ustanovi.ru» - энциклопедия строительства. URL: http://www.dom.ustanovi.ru/cottage/oborud/radiat.shtml (дата обращения 15.01.2009).
3. ГОСТ 8690-94. Радиаторы отопительные чугунные. Технические условия. – М., 1995. – 8 с.
4. ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. – М., 1987. – 25 с.
5. Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф. и др. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
6. ГОСТ 1412-85. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки. – М., 1989. – 10 с.
7. ГОСТ 34443-87. Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения. – М., 1987. – 43 с.

УДК 691.553.3

Ю.В. Токарев – аспирант
Г.И. Яковлев – доктор технических наук, профессор
Ижевский государственный технический университет (ИжГТУ)

МОДИФИЦИРОВАНИЕ АНГИДРИТОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ АЛЮМОСОДЕРЖАЩИМИ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ДОБАВКАМИ

АННОТАЦИЯ
Приводятся результаты исследований структуры и свойств ангидритовых композиций, модифицированных ультрадисперсными добавками природного и техногенного происхождения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Ангидритовые композиции, модифицирование, ультрадисперсные добавки, оксид алюминия, мелкокристаллическая структура.

Y.V. Tokarev – post-graduate student
G.I. Jakovlev – doctor of technical sciences, professor
Izhevsk State Technical University (IzhSTU)

MODIFICATION OF ANHYDRITE COMPOSITIONS BY ALUMCONTAINING ULTRAFINE ADDITIVES

ABSTRACT
The research results on structure and properties of anhydrite compositions modified by ultrafine additives of natural and technogenic origin are stated.

KEYWORDS: Anhydrite compositions, modification, ultrafine additives, alumina, fine-grained structure.

Для решения проблем энерго- и ресурсосбережения в строительной отрасли необходимо развитие безклинкерных вяжущих, отличающихся малой энергоемкостью. К таким относятся вяжущие на основе природного ангидрита, которые могут с успехом заменить портландцемент в некоторых областях и снизить общую долю их потребления. Ангидритовые вяжущие могут эффективно использоваться при устройстве саморазравнивающихся стяжек и оснований полов, в качестве стенового материала в малоэтажном строительстве и в качестве раствора [1, 2].

Для расширения области их применения необходимо улучшение их физико-механических характеристик и в первую очередь необходимо повысить их прочность. Этого можно достичь ультрадисперсными добавками, введением которых возможно регулирование морфологии и размера кристаллогидратов двуводного гипса [3, 4]. Эффективность действия этих добавок будет определяться природой, размером и формой вводимых частиц [5].

Целью данной работы является изучение влияния ультрадисперсных добавок на свойства и структуру ангидритовых композиций с целью улучшения их свойств.

Добавки отличались друг от друга происхождением, химическим и гранулометрическим составом (таб.).

Алюмохромовый катализатор (АХК) – отход нефтехимического производства, представляющий собой высокодисперсный порошок серо-зеленого цвета, образующийся при дегидрировании изобутилена. Глиноземистая смесь (СГ) – отход металлургического производства, представляющий собой дисперсный порошок серого цвета. Ставролит – порода природного происхождения с химической формулой $Al_4Fe[Si_2O_{10}](OH)_2$, удельным весом 3,7-3,95 г/см^3.

При исследовании в качестве вяжущего использовался природный ангидрит Ергачевского месторождения, молотый до фракции 80 мкм, из которого изготавливались образцы-балочки размером 40x40x160 мм с водо-ангидритовым отношением 0,20-0,25. Образцы выдерживались в течение 14 и 28 дней при t = 20 ^{O}C и относительной влажности 60 % с последующими механическими испытаниями. Для активации ангидритового вяжущего использовался сульфатный активатор. При исследовании ангидритовых вяжущих для модифицирования

Таблица

Химический состав дисперсных добавок

	Al_2O_3	SiO_2	FeO	$Al_{мет.}$	Cr_2O_3	MgO	др.
Алюмохромовый катализатор (АХК)	68.9	9,23	–	–	17,4	0,34	4,13
Смесь глиноземистая (СГ)	> 60	< 10	–	< 10	–	< 5	–
Ставролит	55,9	26,3	15,8	–	–	–	–

использовались ультрадисперсные добавки с преобладанием в химическом составе оксида алюминия Al_2O_3.

Известно [6], что радиус катиона Al^{3+} почти в два раза меньше радиуса катиона Ca^{2+} (0,57 Е и 1,04 соответственно), что предопределяет более высокие поляризующие свойства катиона Al^{3+} на структуру воды. С другой стороны, если наполнитель имеет высокую удельную поверхность, то вследствие «асимметрии строения поверхность дисперсной частицы образует слой адсорбированной воды, структурированной и поляризованной, с повышенной плотностью и пониженной диэлектрической проницаемостью» [7]. Таким образом, в таком слое будет происходить интенсивная кристаллизация растворенного вещества. При этом предполагается, что поляризация молекул воды приводит к упорядочиванию структуры кристаллогидратных новообразований с последующим повышением физико-механических свойств вяжущих матриц.

Для изучения микроструктуры использовались оптический микроскоп Leica DM4000B и растровый электронный микроскоп JSM 5600 фирмы JEOL. Качественный рентгенофазовый анализ АХК, проведенный с использованием дифрактометра ДРОН-3, показал, что в минералогическом составе алюмохромового катализатора, кроме кристаллической фазы б-Al_2O_3 ($d_б$ = 3,50; 2,57; 2,39; 2,10; 1,98; 1,75 Е) и Cr_2O_3 ($d_б$ = 2,66; 1,82; 1,52; 1,28 Е), присутствует аморфная фаза, проявляющаяся на спектре в виде «горбушки» в области 2и = 24 – 44 ^{0} (рис. 1).

В минералогическом составе глиноземистой смеси имеются отражения, соответствующие б-Al_2O_3 ($d_б$ = 3,49; 2,56; 2,37; 2,09; 1,74; 1,60; 1,41; 1,37 Е), Mg0xAl_2O_3 ($d_б$ = 4,67; 2,43; 2,02; 1,56; 1,43; 1,32 Е). Также имеются отражения значительной интенсивности, соответствующие NaCl и KCl ($d_б$ = 3,15; 2,82; 2,23; 1,997; 1,63; 1,28; 1,26 Е). Также присутствует аморфная фаза, проявляющаяся на спектре в виде «горбушки» в области 2и = 24 – 44 ^{0} (рис. 2).

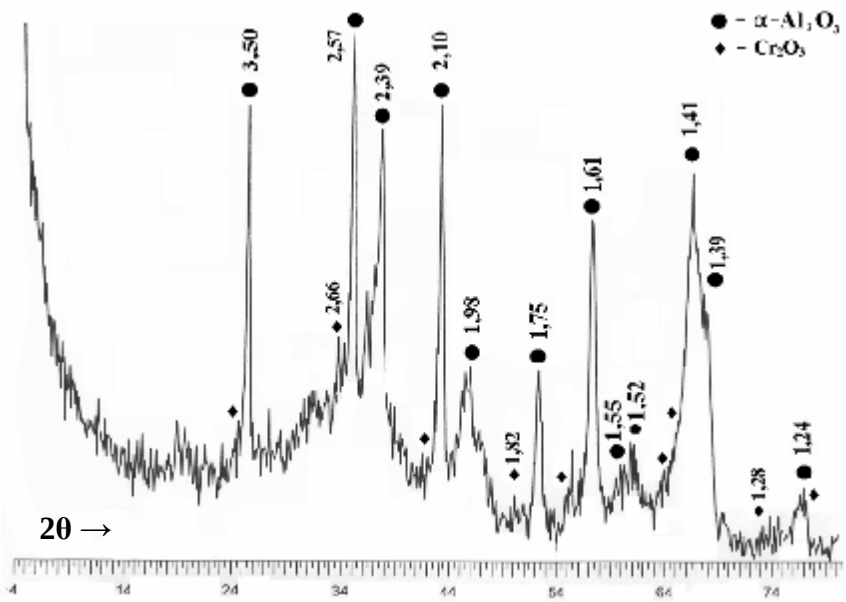


Рис. 1. Рентгеновский спектр алюмохромового катализатора

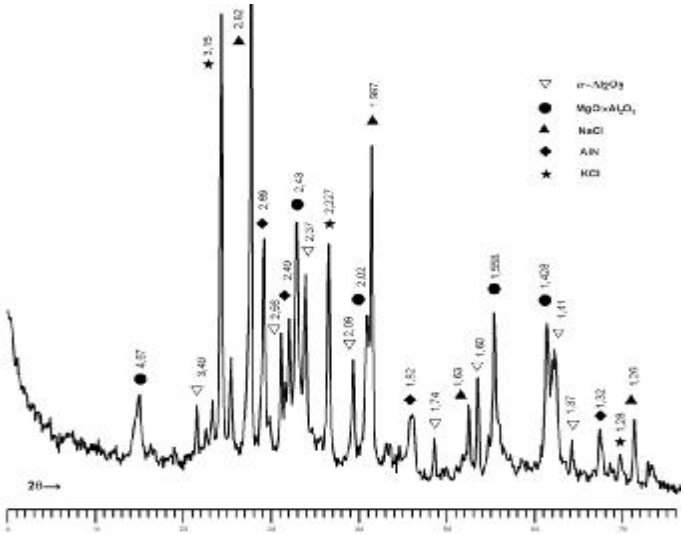


Рис. 2. Рентгеновский спектр глиноземистой смеси

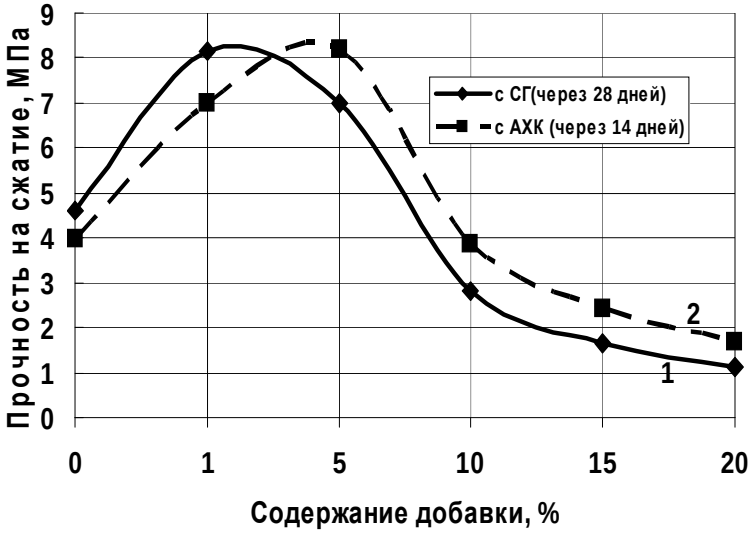


Рис. 3. Зависимость прочности ангидритовой композиции от содержания добавок:
1 – глиноземистая смесь, 2 – алюмохромовый катализатор

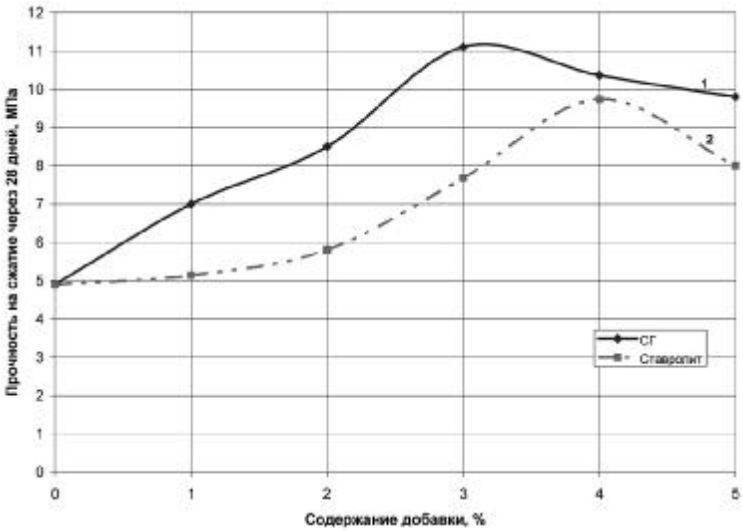


Рис. 4. Зависимость прочности ангидритовой композиции от содержания добавок:
1 – глиноземистая смесь, 2 – молотый ставролит

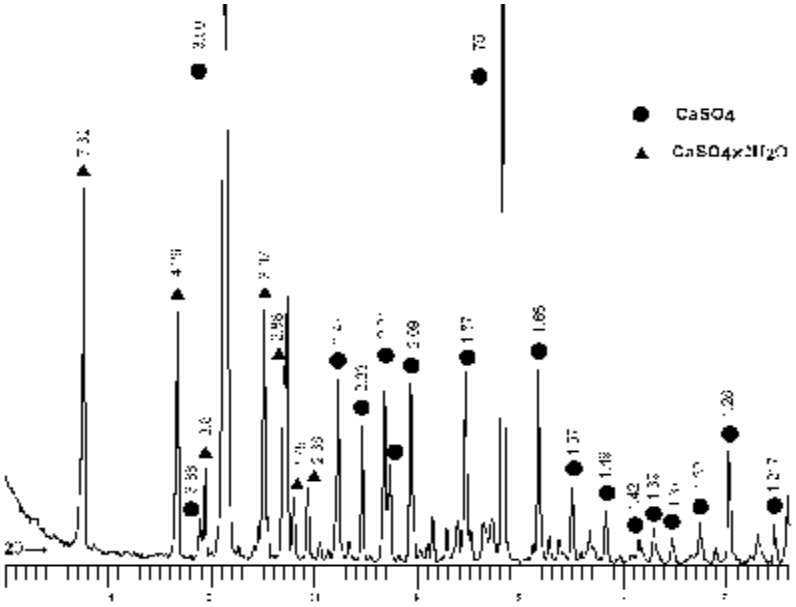


Рис. 5. Рентгеновский спектр образца без добавок

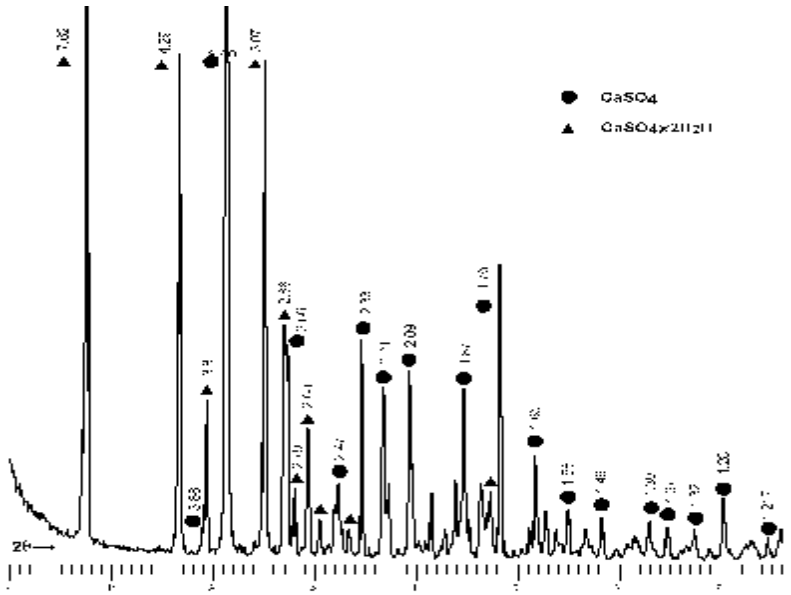


Рис. 6. Рентгеновский спектр образца с добавлением алюмохромового катализатора

Исследования микроструктуры АХК и СГ показали, что порошки представлены дисперсными частицами с размерами 3-5 мкм для алюмохромового катализатора и 2-3 мкм – для СГ. Глиноземистая смесь характеризовалась более равномерным распределением частиц по размеру, в отличие от частиц АХК. Ставролит перед использованием предварительно измельчался на лабораторной дисковой мельнице, затем просеивался через сито № 008.

На первом этапе исследований модифицирующие добавки вводились в количестве от 0 до 20 %. Анализ механических свойств ангидритовых вяжущих, модифицированных АХК и СГ, позволяет говорить о существенном повышении прочности на сжатие исследуемых материалов (рис. 3). Так, при использовании алюмохромового катализатора происходит повышение прочности до 100 % с оптимальным содержанием добавки в интервале 1-5 %. При введении глиноземистой смеси, химический состав которой по содержанию Al_2O_3 отличается незначительно, но дисперсность частиц выше, установлено оптимальное содержание добавки в пределах 1 %, при этом прочность повышается до 70 %. При содержании добавок в составе вяжущего более 5 % происходит резкое снижение прочности материала.

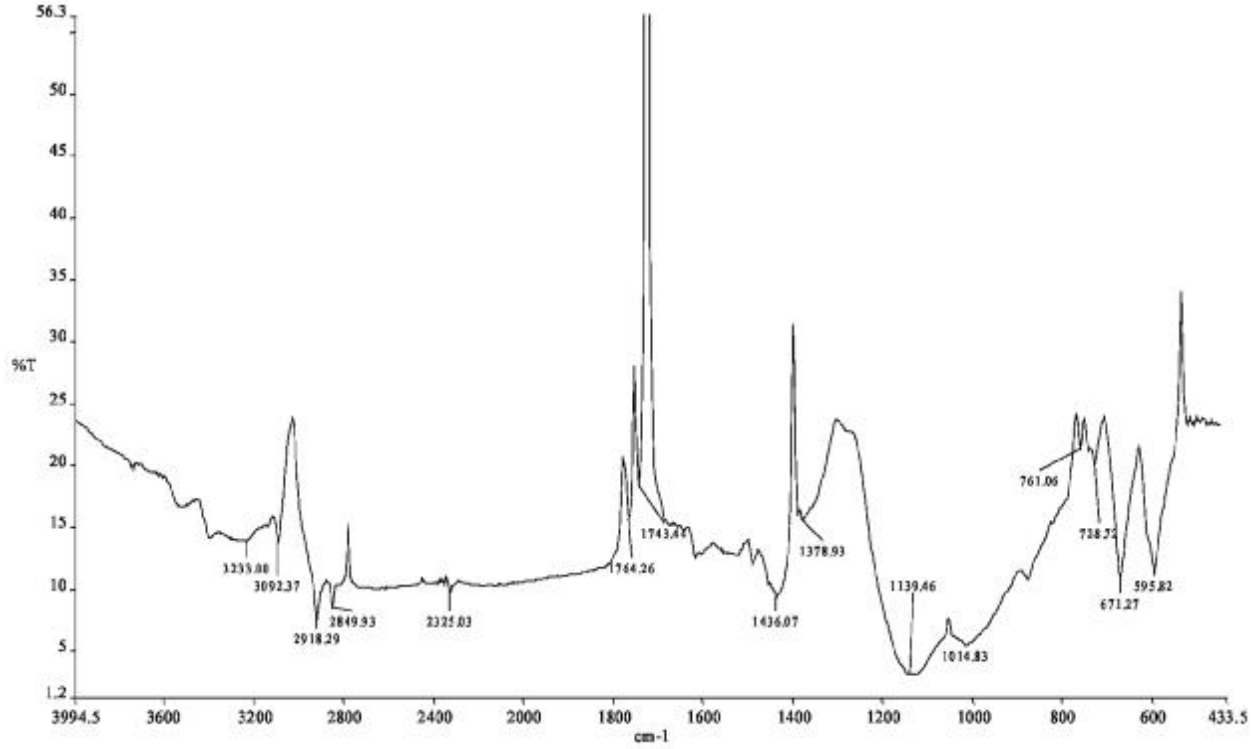


Рис. 7. ИК-спектр образца без добавок

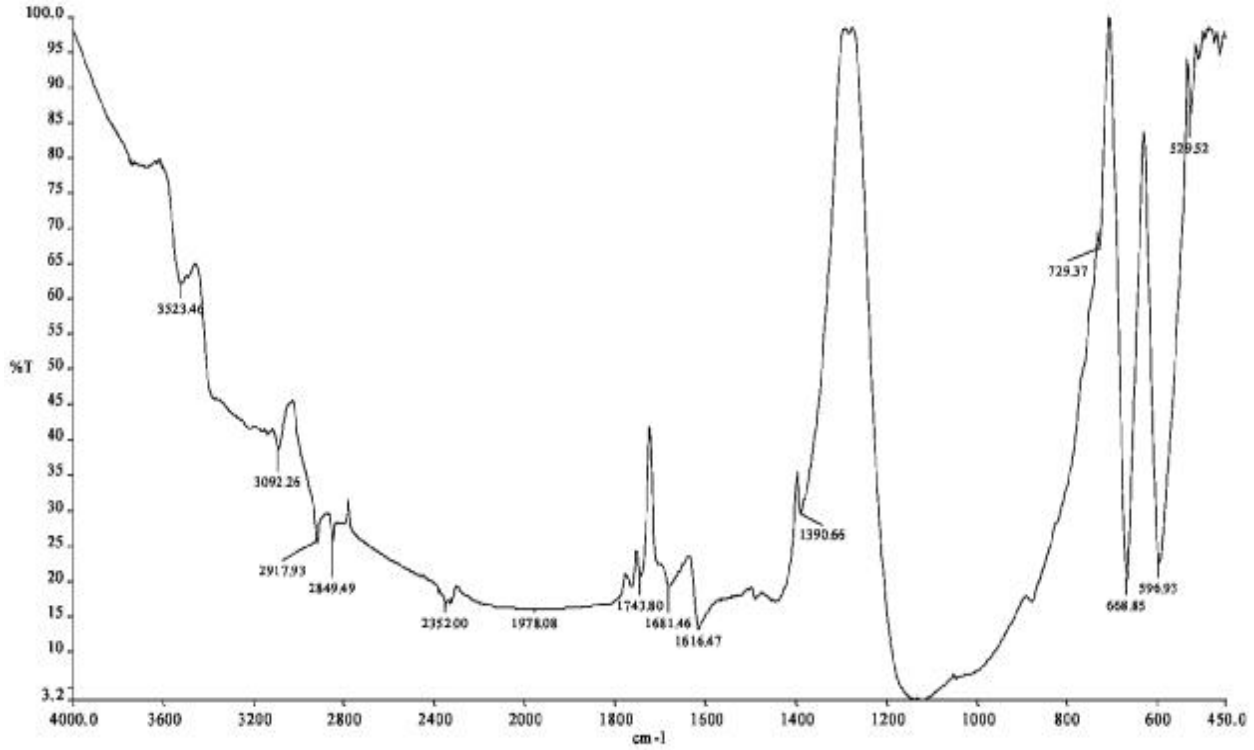


Рис. 8. ИК-спектр образца с добавлением алюмохромового катализатора

а) б) в)

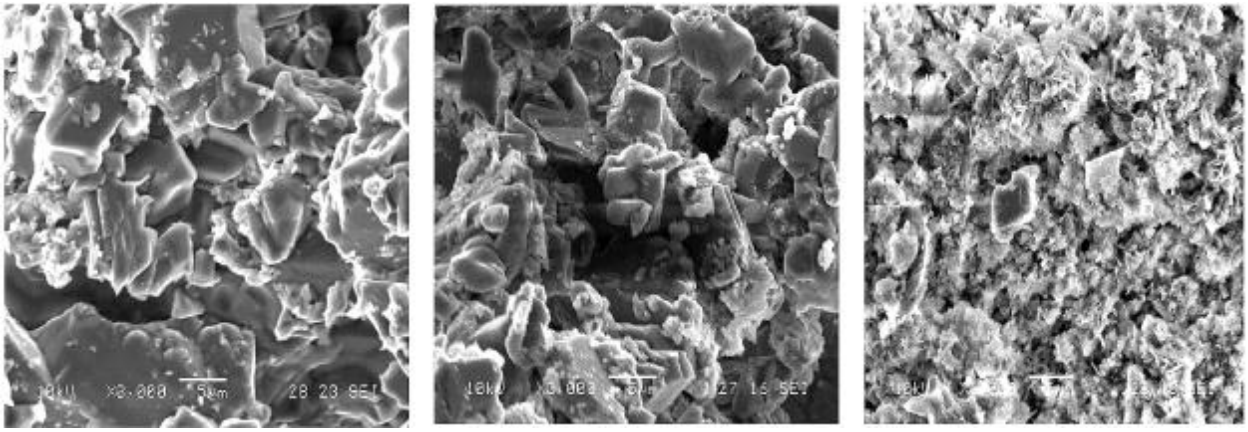


Рис. 9. Микроструктура ангидритовой матрицы: (а) – без дисперсных добавок, (б) – с алюмохромовым катализатором, (в) – с глиноземистой смесью

В дальнейшем дисперсные добавки вводились в ангидритовые композиции в количестве от 0 до 5 %. На рис. 4 приводятся результаты механических испытаний ангидритовых составов с СГ и молотым ставролитом. Полученные результаты дают возможность уточнить оптимальное содержание модифицирующей добавки на основе СГ. Как видно из рис. 4, оптимальное значение добавки для СГ составляет 3 % с увеличением прочности на сжатие более чем в два раза, а для ставролита, характеризующегося значительно меньшей дисперсностью частиц, оптимальное значение соответствует 4 % с приростом прочности до 90 %. Меньший прирост прочностных характеристик образцов с добавлением молотого ставролита связан с достаточно крупными (до 80 мкм) частицами, по сравнению с размерами частиц СГ.

Результаты механических испытаний образцов с введением ультрадисперсных добавок могут быть объяснены с позиций синергетики дисперсно-наполненных композиций [8]. При введении небольших количеств добавок, содержащих оксид алюминия, в ангидритовые композиции, отмечается монотонное повышение прочности материала, но при переходе через оптимальный порог в дальнейшем наблюдается резкое падение прочности ангидритовой матрицы. Эти процессы объясняются образованием структурированных оболочек вокруг вводимых дисперсных добавок, обеспечивающих ангидритовой матрице формирование повышенной плотности структуры и существенное повышение прочности. Снижение прочности при больших концентрациях добавок (для СГ более 3 %, для ставролита более 4 %) объясняется недостатком вяжущего для формирования структурированных оболочек вокруг дисперсных частиц добавок. Таким образом, введение добавок, содержащих многовалентный катион Al^{3+}, способствует усилению электростатического взаимодействия между частицами [9] и приводит к упрочнению ангидритовой матрицы.

Для выявления изменений в минералогическом составе образцов проводился рентгенофазовый анализ. На рис. 5 и 6 показаны, соответственно, рентгеновские спектры образца без добавок и с добавлением алюмохромового катализатора. При сравнении спектров на рис. 6 можно видеть снижение интенсивности отражений ангидрита ($d_б$ = 3,50; 1,75 Е) и увеличение отражений двуводного гипса ($d_б$ = 7,62; 4,29; 3,07 Е). Аналогичная картина наблюдается и при введении других исследуемых добавок. Это позволяет говорить об интенсификации процессов гидрато- и структурообразования при введении добавок.

Образцы изучались при помощи ИК-спектральноо анализа. На рис. 7 и 8 приведены ИК-спектры, соответственно, для образца без добавок и с добавлением алюмохромового катализатора. Сравнивая спектры, можно видеть, что при добавлении алюмохромового катализатора увеличивается интенсивность полосы с волновыми числами 668, 85 $см^{-1}$, соответствующая двуводному гипсу, и полосы в интервале 1100-1200 $см^{-1}$, соответствующая группировке $S0_4^{2-}$. Кроме того, увеличиваются интенсивность полос, соответствующих молекулам воды (1616,47 и 1681,46 $см^{-1}$) и ОН-группам (3500 $см^{-1}$). Сопоставление полученных результатов с результатами РФА позволяет говорить о том, что происходит увеличение содержания двуводного гипса с интенсификацией процессов твердения.

Результаты механических испытаний хорошо согласуются с результатами исследований на растровом электронном микроскопе (рис. 9). Сравнивая микроструктуры ангидритовой матрицы на рисунках 9а, 9б и 9в, можно отметить, что при добавлении АХК и СГ образуется упорядоченная структура с более плотной упаковкой кристаллов, обеспечивающей увеличение площади контактов между кристаллическими новообразованиями, что приводит к повышению прочности матрицы. При

добавлении глиноземистой смеси, имеющей более высокую дисперсность частиц, отмечена микроструктура, значительно отличающаяся по морфологии кристаллов от структуры, формирующейся без дисперсных добавок или с менее дисперсными добавками. В этом случае образуются структура, состоящая из кристаллогидратных новообразований повышенной дисперсности (рис. 9в). Такая структура способствует возникновению меньших напряжений между кристаллами и увеличению контактов между ними.

Таким образом, при введении дисперсных добавок с преобладанием в химическом составе оксида алюминия в интервале 1-5 % происходит интенсификация процессов гидрато- и структурообразования ангидритового вяжущего, что подтверждается результатами механических испытаний, РФА и ИК-анализа [10]. Их введением достигается упрочнение ангидритовой матрицы с повышением механических показателей до 2 и более раз в зависимости от вида добавки за счет структурирования вяжущего с образованием мелкокристаллической структуры, состоящей из новообразований, обладающих повышенной плотностью и прочностью.

Литература

1. Бурьянов А.Ф., Колкатаева Н.А. Перспективы использования гипсовых и ангидритовых вяжущих для устройства стяжек полов // Труды Международной научно-технической конференции «Стройкомплекс-2008». – Ижевск, 2008. – С. 160-163.
2. Будников П.П., Зорин С.П. Ангидритовый цемент. – М.: Промстройиздат, 1954. – 90 с.
3. Яковлев Г.И. Структурная организация межфазных слоев при создании кристаллогидратных композиционных материалов: Дисс. … д-ра техн. наук. – Пермь: ПГТУ, 2004. – 350 с.
4. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Крутиков В.А., Макарова И.С., Керене Я., Фишер Х.-Б., Бурьянов А.Ф. Газобетон на основе фторангидрита, модифицированный углеродными наноструктурами // Строительные материалы, 2008, № 3. – С. 70-72.
5. Липатов Ю.С. Физико-химические основы наполнения полимеров. – М.: Химия, 1991.
6. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. А.А. Равделя и А.М. Пономаревой, изд. 8-е, перераб. – Л.: «Химия», 1983. – 160 с.
7. Сычев М.М. Неорганические клеи. – Л.: «Химия», 1974. – 160 с.
8. Бобрышев А.Н., Козомазов В.Н., Авдеев Р.И., Соломатов В.И. Синергетика дисперсно-наполненных композитов. – М.: ЦКТ, 1999. – 252 с.
9. Штакельберг Д.И., Сычев М.М. Самоорганизация в дисперсных системах. – Рига: Зинатне, 1990. – 175 с.
10. Токарев Ю.В., Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Керене Я. Роль ультрадисперсных добавок в процессах гидратации ангидритового вяжущего // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века, 2009, № 5. – С. 18-20.

УДК 691.32; 691.328

Т.С. Шмарова – ассистент
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства (ПГУАС)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРСИЛИКАТНЫХ КРАСОК ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ОТДЕЛОЧНЫХ РАБОТ

АННОТАЦИЯ
Приведены сведения о рецептуре полимерсиликатной краски на основе натриевого жидкого стекла, реологических и технологических свойствах краски.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Покрытие, содержание пигмента, внутренние напряжения, высыхание.

T.S. Shmarova – assistant
Penza State University of Architecture and Construction (PSUAC)

TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMERO-SILICATE PAINTS FOR INTERNAL DECORATIVE WORKS

ABSTRACT
The data on compounding of polymero-silicate paints on the basis of sodium soluble silicate, rheological and technological properties of paint are stated.

KEYWORDS: Coating, pigmentation, internal pressures, drying-out.

В производстве отделочных малярных работ широкое применение находят силикатные краски. В практике хорошо зарекомендовали себя силикатные красочные составы фирмы Degussa, представляющие собой суспензию пигментов и наполнителей в полимерсиликатном связующем [1].

Учитывая дефицит калиевого жидкого стекла на отечественном рынке, сделана попытка разработать красочный силикатный состав на основе смеси натриевого жидкого стекла с применением полимерных дисперсий, предназначенный для внутренних отделочных работ. Для разработки составов применялись жидкое натриевое стекло плотностью 1,15 г/см^3, стирол-акриловые дисперсии Лакротэн Э-21 и Новопол 110, выпускаемые ООО «Оргхимпром» (г. Дзержинск Нижегородской области). Содержание стирол-акриловой дисперсии составляло 30 % от массы жидкого стекла. Лакротэн Э-21 и Новопол 110 представляют собой водные дисперсии стирол-акрилового сополимера с содержанием сухого остатка 50 % и показателем pH 7-9. Диаметр частиц дисперсии Лакротэн Э-21 составляет 0,17 мкм, диаметр частиц дисперсии Новопол 110 – 0,1-0,15 мкм. Красочные составы с применением стирол-акриловой дисперсии Новопол 110 отличаются меньшей вязкостью и более длительным высыханием покрытий, по сравнению с составами на основе дисперсии Лакротэн Э-21.

При разработке рецептуры краски в качестве пигмента применяли сурик железный, оксид хрома, охру; в качестве наполнителя – цветной песок Нижнеаблязовского месторождения (Пензенская область, Кузнецкий район). Для регулирования вязкости состава применялась акриловая дисперсия Лакротэн Э-41, выпускаемая ООО «Оргхимпром», в количестве 2-3 % от массы состава.

Реологические свойства составов оценивали по показателю условной вязкости, определяемому с помощью вискозиметра ВЗ-4. Оптимальное содержание пигмента и наполнителя было рассчитано двумя методами, учитывающими топологию.

Рассчитанный расход пигмента (наполнителя) приведен в табл. 1.

Полученные значения объемной концентрации для различных видов пигментов и наполнителей были использованы в дальнейшем при разработке рецептуры красочных составов.

Оценка напряженного состояния покрытия в процессе отверждения была проведена на составах, отличающихся наличием и содержанием наполнителя взамен части пигмента. Внутренние напряжения измерялись по методике измерения радиуса закручивания подложки с красочным покрытием [2].

Исследование кинетики внутренних напряжений в процессе высыхания пленки проведено на основе следующих составов (% по объему):

Таблица 1

Наименование	Удельная поверхность, $м^2/кг$	Средний размер частиц, мкм	Насыпная плотность, $кг/м^3$	Истинная плотность, $кг/м^3$	Коэффициент раздвижки частиц	Объем частиц пигмента (наполнителя), ед. об.	Объем монолитных частиц пигмента (наполнителя), ед. об.	Объем раствора пленкообразователя, ед.об.	Объемная концентрация	Критическая объемная концентрация
Сурик железный *	510,0	3,72	1265	3163	2,607	0,384	0,153	0,847	0,152	0,17
Оксид хрома **	975,9	1,33	927	4635	8,648	0,116	0,023	0,977	0,023	0,09
Охра **	1171,6	1,78	720	2885	5,702	0,175	0,044	0,956	0,044	0,12
Песок цветной	67,9	33,20	1516	2527	1,132	0,833	0,530	0,470	0,533	–
Песок цветной молотый**	506,5	4,73	870	2527	2,177	0,459	0,164	0,836	0,162	0,21

Примечание: * – значения критической объемной концентрации пигментов приведены при применении дисперсии Лакротэн Э-21; ** – значения критической объемной концентрации пигментов приведены при применении дисперсии Новопол 110.

состав I – контрольный (без наполнителя):
жидкое стекло – 62,6,
стирол-акриловая дисперсия Лакротэн Э-21 – 18,0,
стирол-акриловая дисперсия Лакротэн Э-41 – 4,2,
сурик железный – 15,2;
состав II (объемное содержание смеси пигмента и наполнителя 0,260):
жидкое стекло – 54,6,
стирол-акриловая дисперсия Лакротэн Э-21 – 15,7,
стирол-акриловая дисперсия Лакротэн Э-41 – 3,7,
сурик железный – 14,2,
песок цветной – 11,8;
состав III (объемное содержание смеси пигмента и наполнителя 0,335):
жидкое стекло – 49,1,
стирол-акриловая дисперсия Лакротэн Э-21 – 14,1,
стирол-акриловая дисперсия Лакротэн Э-41 – 3,3,
сурик железный – 13,2,
песок цветной – 20,3.

На рисунке приведены кинетические кривые испарения жидкой фазы (кривые 1, 3, 5) и внутренних напряжений (кривые 2, 4, 6) в процессе формирования покрытий.

Анализ экспериментальных данных показывает, что в процессе образования пленки можно выделить три стадии. На первой стадии формирования покрытия наблюдается интенсивное испарение жидкой фазы, приводящее к уменьшению массы покрытия (участок **оа** кривой 1). При этом в покрытии возникают незначительные внутренние напряжения, составляющие $s_в$ =0,007 МПа (участок ОА кривой 2). На второй стадии замедляется процесс испарения жидкой фазы (участок **аб** кривой 1), начинается интенсивный рост внутренних напряжений (участок АБ кривой 2). На третьей стадии – после 2,5 ч. отверждения покрытия – внутренние напряжения достигают максимального значения =0,056 МПа (участок БВ кривой 2), содержание жидкой фазы составляет 6 %. В дальнейшем, примерно после 4 ч. отверждения покрытия, наблюдается релаксация напряжений до значения =0,046 МПа.

У составов, в которых часть пигмента заменена наполнителем, наблюдаются более низкие значения внутренних напряжений. При замене пигмента наполнителем в соотношении 2:2,1 (состав II) внутренние напряжения составляют 0,0092 МПа, при замене в соотношении 1:2,1 (состав III) – 0,0057 МПа. Полученные кинетические кривые испарения воды и роста внутренних напряжений в покрытиях, содержащих песок в качестве наполнителя, имеют такой же характер, как и для покрытий без наполнителя.

Степень высыхания определяли по 5-балльной шкале в соответствии с ГОСТ 12007-73* «Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания». В табл. 2 приведены значения времени высыхания до степени 5 при температуре t = (20±2) °С и относительной влажности воздуха 60 %. Установлено, что введение песка в рецептуру силикатной краски изменяет время высыхания. Так, время высыхания до

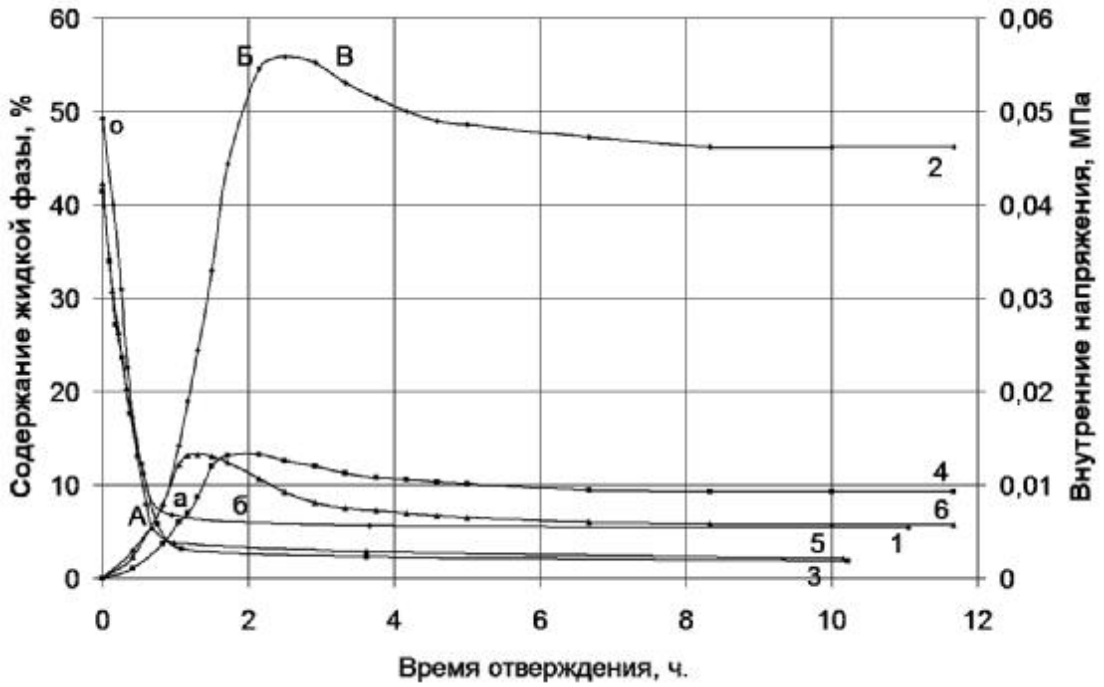


Рис. Временные зависимости внутренних напряжений (2, 4, 6) и содержания жидкой фазы (1, 3, 5) в покрытиях:
1, 2 – с оптимальным содержанием пигмента (состав I);
3, 4 – с объемным содержанием смеси пигмента и наполнителя 0,260 (состав II);
5, 6 – с объемным содержанием смеси пигмента и наполнителя 0,335 (состав III)

Таблица 2

Вид подложки	Время высыхания, мин (до степени 5)		
	Сурик железный (состав I – контрольный)	Сурик железный, песок цветной (Соотношение пигмент-наполнитель – 2:2,1 – состав II)	Сурик железный, песок цветной (Соотношение пигмент-наполнитель – 1:2,1 - состав III)
Стекло	64	50	47
Цементно-песчаная подложка	42	35	31

Таблица 3

Вид подложки	Время высыхания, мин (до степени 5)									
	Сурик железный				Оксид хрома			Охра		
	Соотношение пигмент-наполнитель (по массе)									
	Без наполнителя	3:1	2:1	1:1	Без наполнителя	3:1	1:1	Без наполнителя	3:1	1:1
Стекло	94	91	87	82	84	78	74	118	96	91
Цементно-песчаная подложка	83	75	72	68	63	61	49	113	88	60

Таблица 4

Вид пигмента и наполнителя	Укрывистость, г/м^2		
	Соотношение пигмент-наполнитель (по массе)		
	Без наполнителя (состав I – контрольный)	2:2,1 (состав II)	1:2,1 (состав III)
Сурик железный, песок цветной немолотый	113	213	271

Таблица 5

Вид пигмента и наполнителя	Укрывистость, г/м^2			
	Соотношение пигмент-наполнитель (по массе)			
	Без наполнителя	3:1	2:1	1:1
Сурик железный, песок цветной молотый	104	108	121	125
Оксид хрома, песок цветной молотый	121	142	–	167
Охра, песок цветной молотый	278	299	–	314

степени 5 составов, в рецептуре которых содержится песок, на стеклянной подложке составляет 47-50 мин., а у контрольного – 64 мин.

При замене Лакротэна Э-21 стирол-акриловой дисперсией Новопол 110 и с применением молотого цветного песка время высыхания увеличивается (табл. 3). На цементно-песчаной подложке время высыхания составляет 83 мин. (при применении дисперсии Лакротэн Э-21 – 42 мин.).

В табл. 4 приведены результаты определения укрывистости для красочных составов с применением дисперсии Лакротэн Э-21 с различными соотношениями пигмента и наполнителя. С увеличением объемного содержания наполнителя расход краски на квадратный метр повышается.

В табл. 5 содержатся результаты определения укрывистости для красочных составов с применением дисперсии Новопол 110 с различными соотношениями пигментов и наполнителя.

Результаты исследований эксплуатационных свойств краски и покрытий на основе разработанной полимерсиликатной краски свидетельствуют, что покрытия обладают достаточной адгезией к цементной подложке, составляющей 1,4-1,8 МПа, розлив составляет 4-5 мин., условная вязкость по вискозиметру ВЗ-4 – 8-16 с. Покрытия не водостойки, что обуславливает применение краски только для внутренних малярных работ. Покрытия обладают высокой декоративной выразительностью. Применение в качестве наполнителя местного материала (цветного песка) позволит расширить сырьевую базу, снизить затраты на изготовление краски.

Литература

1. Ludwig F., Klocker O. Грунты и пропиточные составы для минеральных поверхностей // Лакокрасочные материалы, 2006, № 2-3. – С. 12-17.
2. Микульский В.Г., Козлов В.В. Склеивание бетона. – М.: Стройиздат, 1975. – 240 с.

УДК 691.33

Р.С. Игтисамов – аспирант, старший преподаватель
Камская государственная инженерно-экономическая академия (ИНЭКА)

К ВОПРОСУ О ТИПИЗАЦИИ ОБЪЕКТОВ МАЛОЭТАЖНОЙ ЗАСТРОЙКИ И НАПРАВЛЕНИЯХ РАЗВИТИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

АННОТАЦИЯ
В данной статье рассматривается различная типология малоэтажных жилых домов. Приводится необходимость развития сегмента малоэтажного жилищного строительства на основе индустриальных методов быстровозводимого жилья с низкой степенью капитальности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Доступность, быстровозводимое, технологии, нетрадиционное, строительство, производство.

R.S. Igtisamov – post-graduate student, senior lecturer
Kama State Engineer-Economic Academy (INECA)

TO QUESTION ON TYPOLOGY OF LOW-RISE OBJECTS CONSTRUCTION AND ON PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF LOW-RISE BUILDINGS CONSTRUCTION

ABSTRACT
The different typology of low-rise housing buildings is considered. The necessity of development of low-rise housing construction segment based on industrial methods of speedy housing building with low degree of solidity is stated.

KEYWORDS: Available, quickly build, technologies, untraditional, construction, production.

Под влиянием научно-технического прогресса общества происходят изменения в строительных материалах и конструкциях, технологиях строительства, инженерном оборудовании и системах эксплуатации малоэтажного жилья. Появление и развитие нетрадиционного для России малоэтажного строительного производства обусловлено принципиально новым положением в настоящее время жилищного строительства, отличающимся от предыдущих периодов снижением или отменой ряда нормируемых ограничений со стороны государства в лице Правительства РФ, Госстроя РФ, Госархстройнадзора и других органов. Перестали ограничиваться ряд концептуальных положений малоэтажного строительства – объемно-планировочные параметры (площадь участка, площадь дома, этажность, количество комнат, пропорции и площади помещений, их взаимосвязь, наличие подвала, чердака, мансарды, хозяйственных сооружений и т.д.); конструктивно-технологические параметры дома: капитальность дома (капитальные, быстровозводимые, мобильные), строительная система дома (каркасная, бескаркасная, панельная, модульная и др.), конструктивная схема дома (с поперечными несущими стенами, с продольным расположением ригелей и др.), вид строительных материалов (кирпич, железобетон, дерево и др.), технология возведения дома (с крановым оборудованием, односменный монтаж, в летнее время и др.). Открыты широкие возможности выбора архитектурных стилей: модерн, классицизм, готика, барокко, эклектика и другие.

Тем не менее, в настоящее время существует значительное количество общероссийских строительных норм и правил (СНиП), ведомственных строительных норм (ВСН) и других нормативных и методических документов, определяющих архитектурно-строительные и экономические требования, которые влияют на проектирование малоэтажного жилищного строительства. В зарубежных странах существуют свои национальные и международные нормы и стандарты в области малоэтажного строительства. В США, Европе, Японии и других развитых странах используются международные стандарты серии «ISO», которые регламентируют планировочные и конструктивные решения малоэтажных домов с учетом не только их

проектирования, но и изготовления, транспортирования, монтажа и эксплуатации. В Германии основой проектирования частного жилья служит система национальных стандартов серии «DIN».

Между российскими и зарубежными нормами и стандартами существуют принципиальные и значительные различия, обусловленные различиями в государственном устройстве, форме собственности, степени благосостояния наций, уровне развития домостроительной отрасли экономики, природно-климатических условиях, менталитете людей и т.д.

Основные российские архитектурно-строительные требования к малоэтажному строительству изложены в следующих базовых документах:

1.СНиП 2.08.01-89**. «Жилые здания» с изм. от 1993, 1994, 1996 гг.;

2. СНиП 2.07.01-89*. «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»;

3. СНиП 21-01-97. «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;

4. СНиП II-12-77. «Защита от шума»;

5. СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» и в других нормах [1].

В современной отечественной и зарубежной строительной практике существует большое многообразие различных типов и видов малоэтажного жилищного строительства. Каждый из них обладает специфическими признаками и отличительными особенностями.

Одной из наиболее значимых объективных основ дифференциации малоэтажного жилищного строительства выступает разделение необходимых для этого строительства земельных участков по различным типологическим признакам. Выбор качественного земельного участка определяет принадлежность малоэтажной постройки к той или иной классификационной группе. Поэтому выбор и проектирование высококачественного земельного участка для малоэтажного жилищного строительства является важной и достаточно сложной научной, проектно-изыскательской, социальной и финансовой задачей. Её рациональное и быстрое решение требует учета типологических признаков земельных участков.

Придомовой земельный участок является составляющим элементом комплекса малоэтажной застройки, используемым для размещения жилого дома, хозяйственных и вспомогательных сооружений, а также для устройства сада, огорода и других целей.

Земельные участки разделяются по следующим основным типологическим признакам:

1) по размеру;
2) по месторасположению;
3) по степени освоенности;
4) по степени экологической благоприятности.

По размеру земельные участки можно условно разделять на три основных типа: малые, средние и большие. К малым относятся участки со свободной площадью (т.е. площадью без учета площади застройки), не превышающей площадь застройки. Как правило, размеры малых участков находятся в пределах от 0 до, ориентировочно, 200 кв.м. В городской и пригородной высокоплотной малоэтажной застройке коттедж типа «таун-хаус» может не иметь свободного земельного участка или иметь небольшой участок перед домом под газоны и цветники [1].

К средним по размеру относятся участки со свободной площадью, находящейся в пределах площади застройки и до 3000 кв.м. Средние участки, как правило, характерны для пригородной и сельской застройки.

К большим по размеру относятся участки со свободной площадью, превышающей десятикратную величину площади застройки. Такие размеры характерны, в основном, для элитных загородных коттеджей и фермерских усадеб. К примеру, некоторые английские графские замки и американские ранчо имеют земельный надел до 20 га.

Следующим типологическим признаком земельных участков является их месторасположение. По месторасположению земельные участки можно разделять на: городские, пригородные, сельские и отдельно расположенные усадебные. В соответствии с данной классификацией земельных участков все малоэтажные дома можно условно разделить на следующие четыре группы: городские особняки, пригородные виллы, загородные коттеджи и фермерские усадьбы. Городские особняки располагаются в черте городской застройки. В пригородных районах располагаются пригородные виллы, дачные или садовые дома. В деревнях, поселках и других небольших населенных пунктах располагаются специфические индивидуальные дома – загородные коттеджи. Вне населенных пунктов могут располагаться фермерские усадьбы для ведения фермерского, сельского и другого хозяйства.

В зарубежной практике применяются нетрадиционные для России термины-синонимы: графский замок (Англия, графство Уэльс), животноводческое ранчо (США, штат Техас), родовое имение (Франция, провинция Шампань) и др. [2].

В зависимости от степени освоенности участки можно условно классифицировать на три типа: освоенные территории, мало освоенные территории и неосвоенные территории. Степень освоенности является основным показателем качества земельного участка, отражающим уровень развитости инженерной и социальной инфраструктуры – транспортных магистралей, сетей инженерного обеспечения, объектов социально-бытового назначения и т.д.

Освоенная территория предполагает наличие автомобильных дорог и общественного транспорта, сетей газо- и электроснабжения, водопровода,

канализации, телефона, учреждений здравоохранения, образования, бытового назначения и других объектов.

Мало освоенные территории предполагают отсутствие ряда перечисленных объектов инженерной и социальной инфраструктуры.

По степени экологической благоприятности все участки можно условно классифицировать на три основные группы: экологически благоприятные, экологически ограниченно благоприятные, экологически неблагоприятные.

Указанный признак имеет в современных условиях большую актуальность, обусловленную сложной экологической обстановкой в городах.

В зависимости от размещения домов на земельных участках и их взаимосвязей между собой малоэтажные жилые дома разделяются на два основных класса: отдельно стоящие дома и блокированные дома.

Отдельно стоящие дома не имеют общих строительных конструкций фундаментов, стен и покрытия и состоят, в основном, из одной квартиры. Данный класс домов является наиболее распространенным видом малоэтажного строительства в России, обусловленного рядом сравнительных преимуществ по отношению к блокированным домам:

1) Отдельно стоящие дома, в отличие от блокированных, в комплексе с гаражом и другими хозяйственными и вспомогательными постройками имеют более рациональное размещение на земельном участке;

2) Отдельно стоящий дом позволяет в максимальной степени рационально выбрать строительную систему здания, конструктивную схему и планировочную структуру помещений;

3) Отдельно стоящий дом имеет более высокие санитарно-гигиенические качества и уровень комфортабельности жилой среды. Отдельно стоящие дома имеют более благоприятную ориентацию по сторонам света, могут быть удалены от шумных проездов;

4) Изолированный дом имеет более надежную защиту от пожара, взрыва газа, аварий водопровода, канализации и другого инженерного оборудования;

5) Отдельно стоящий дом имеет принципиально важное преимущество в возможности поэтапного расширения дома путем надстройки новых этажей, пристройки новых помещений, строительства новых зданий сооружений в пределах участка.

В современном строительстве находят широкое применение дома блокированного типа. Блокированные дома являются зданиями, состоящими из двух и более смежных квартир, каждая из которых имеет непосредственный выход на собственный придомовой земельный участок. Дом состоит из двух и более жилых блоков, которые являются неделимыми элементами, состоящими из различного набора взаимосвязанных помещений.

Широкое применение в современном строительстве домов блокированного типа обусловлено рядом следующих достоинств:

1) Блокированный дом имеет сравнительно низкую сметную стоимость. Например, сметная стоимость 1 кв. м. жилой площади в одноэтажном двухквартирном блочном доме на 20 % ниже, чем в отдельно стоящем. Эта стоимость может быть еще ниже в случае сплошной блокировки трех и более квартир. Эксплуатационные расходы на отопление такого дома на 10-15 % ниже, что особенно актуально в условиях роста цен на энергоносители [1];

2) Возможность более рационального планировочного решения коттеджного комплекса в условиях дефицита земли, например, на исторической территории с существующей застройкой. В целях оптимального использования территории целесообразно вести строительство «таун-хаусов» блокированного типа;

3) Возможность пространственной организации целой группы домов в единый жилой комплекс на протяжении всего квартала в городской застройке. Сплошная однорядная и многорядная линейная застройка и застройка с внутренним двором характеризуются ветрозащитными, снегозащитными и другими важными градостроительными качествами, что особенно актуально в суровых климатических условиях, в регионах с сильными и продолжительными холодными ветрами и обильными снегопадами.

Однако следует отметить, что при строительстве блокированных домов владельцы таких объектов утрачивают полноту права единоличной собственности и на договорной основе создают объекты общей (коммунальной) собственности. Возникает бремя осуществления общей собственности, включая риски и затраты, связанные с таким бременем.

В зависимости от количества квартир малоэтажные жилые дома подразделяются на три основные группы: к первой группе относятся одноквартирные дома, ко второй – двухквартирные дома и к третьей – многоквартирные дома с количеством квартир от трех и более.

В зависимости от этажности, в частности надземной этажности, все дома разделяются на малоэтажные дома с одним или двумя этажами и дома средней этажности с тремя, четырьмя и редко пятью этажами.

В современной отечественной малоэтажной застройке широкое применение нашло мансардное строительство. В соответствии с общепринятой терминологией СНиП «Жилые дома», мансарда – этаж в чердачном пространстве, фасад которого полностью или частично образован поверхностью наклонной или ломаной крыши, при этом линия пересечения плоскости крыши и плоскости фасада должны быть на высоте не более 1,5 м от уровня пола мансардного этажа. Подобного рода помещения стали называться мансардами в честь знаменитого французского

архитектора XVII века Франсуа Мансара, который при строительстве дворца «Мэзон-Лаффит» предложил использовать многочисленные чердачные помещения в качестве дополнительной жилой площади, снабдив кровлю дворца роскошными окнами. Впервые в истории данные помещения обрели статус апартаментов.

В большинстве случаев современные малоэтажные дома возводятся с жилым мансардным этажом. Мансардный этаж позволяет рационально использовать необходимое по строительным нормам и правилам чердачное пространство для формирования дополнительной жилой площади. Переоборудование чердаков в мансарды, как показывают экономические расчеты, позволяет в 2-7 раз сократить финансовые, материальные, трудовые и временные затраты по сравнению со строительством нового здания или новой пристройкой к дому в целях увеличения жилой площади.

В зависимости от подземной этажности все дома можно условно подразделять на две основные разновидности: дома с цокольным или подвальным этажом и дома с подземным этажом. Существуют дома с числом подземных этажей два и более.

Цокольный этаж – этаж при отметке пола помещений ниже планировочной отметки земли не более половины высоты помещений.

Подвальный этаж – этаж при отметке пола помещений ниже планировочной отметки земли более чем на половину высоты помещения.

В соответствии с характером проживания людей дома целесообразно подразделять на две группы:

1) дома с постоянным проживанием людей;

2) дома с сезонным или временным проживанием людей.

К первой группе относятся дома с проживанием людей в течение всех сезонов года. К ним относятся городские особняки, пригородные коттеджи и другие дома с максимально высоким уровнем комфортабельности.

Ко второй группе относятся дома с проживанием людей в течение не всех сезонов года, например, только в течение лета, осени. Это дома дачного типа, в которых целесообразно снижение уровня комфорта. Владельцы дачных домов, как правило, имеют городскую недвижимость для постоянного проживания.

Социальная дифференциация общества в зависимости от степени материальной обеспеченности на малоимущих и социально незащищенных граждан, средний класс и граждан с высокими доходами определяет необходимость выделять по социальной ориентации три основных класса малоэтажных домов [3]:

1) дома для малообеспеченного населения (социальное жилье);

2) дома для среднеобеспеченного населения (доступное жилье, жилье эконом-класса);

3) дома для высокообеспеченного населения (элитное жилье).

Автор В. Кислый отмечает, что в перспективе соотношение данных трех классов малоэтажных жилых домов может составить 2:7:1, т.е. 20 % социального жилья, 70 % доступного и 10 % элитарного [4]. Тем самым определяются задачи для всех участников процесса создания малоэтажного жилища: для государства, архитекторов и проектантов, предприятий стройиндустрии, строительных структур, финансово-кредитных организаций.

Важным типологическим параметром для малоэтажного жилья является капитальность дома. По степени капитальности можно условно подразделить дома на три вида: капитальные дома, быстровозводимые дома и мобильные дома [5].

К капитальным относятся дома из капитальных строительных конструкций, которые рассчитаны на одноразовое возведение без последующей разборки. Срок службы таких домов составляет обычно 20-100 лет и более. Большинство проектируемых и построенных малоэтажных домов являются капитальными домами из каменных, железобетонных, деревянных и других капитальных конструкций со сроками службы на одном месте 50-200 лет [1].

Быстровозводимые дома относятся ко второму виду по степени капитальности и возводятся из специальных, часто некапитальных конструкций. Быстровозводимые конструкции позволяют построить дом в значительно меньшие сроки, чем сопоставимые капитальные. Быстровозводимые дома также не рассчитаны на последующую разборку, а срок их службы аналогичен сроку службы капитальных домов.

Примерами быстровозводимого жилья служат коттеджи из объемных блоков, панелей заводской готовности типа «сэндвич», телескопических конструкций и других современных элементов, сроки возведения которых составляют от одной недели до нескольких месяцев.

Мобильные дома относятся к третьему виду по степени капитальности. Мобильные некапитальные конструкции отличаются не только быстрой возводимостью, но и возможностью многократного демонтажа, транспортирования и последующего монтажа дома на новых участках.

Таким образом, рассмотренные основные положения, связанные с типизацией различных видов малоэтажных домов, показывают большое многообразие критериев типизации, различающихся по условиям, предпочтениям, мотивации и т.д. Поэтому достаточно сложно использовать единый типологический критерий, интегрирующий влияние всех факторов.

С точки зрения необходимости дальнейшего решения вопроса обеспечения российских граждан доступным и комфортным жильем актуальными критериями являются социальная ориентация малоэтажного строительства и степень его капитальности.

Необходимо отметить, что традиционное для России строительное производство характеризуется очень высокой степенью капитальности, отличающейся:

1) большой трудо- и материалоемкостью строительства, большой стоимостью транспортировки капитальных конструкций;

2) большими сроками строительства, затягивающими ввод домов в эксплуатацию;

3) значительным весом конструкций, оказывающим большое давление на грунт и требующим массивные фундаменты;

4) сезонностью и цикличностью строительства;

5) низкой энергоэффективностью ограждающих конструкций без использования специальных планировочных и конструктивных решений;

6) отсутствием планировочных и конструктивных решений для трансформации помещений дома, невозможностью быстрой разборки конструкций при необходимости перепланировки дома.

Развитие нетрадиционного для России малоэтажного строительства обеспечит устранение указанных недостатков в жилищной сфере. Нетрадиционным для России видом современного малоэтажного строительства является индустриальное быстровозводимое жилье, которое должно рассматриваться как ведущая объективная тенденция в перспективах развития строительства. Необходимо применение и развитие индустриальных технологий малоэтажного строительства, ориентированных на каркасно-панельное и модульное домостроение. В качестве примеров можно назвать применение в малоэтажном строительстве, как более экономичных вариантов, каркасных деревянных конструкций, ориентированной древесной плиты и теплоизолирующих материалов, комплектов сборных зданий высокой степени готовности и др.

Главной целью применения индустриальных быстровозводимых домов является повышение доступности жилья для широких слоев населения страны и сокращение сроков строительства. Характерными особенностями, отличающими быстровозводимые дома от традиционных, капитальных домов, являются:

1) повышенная степень заводской готовности всех конструктивных элементов дома;

2) меньший вес конструкций за счет применения облегченных композиционных строительных материалов;

3) низкая трудоемкость монтажа, применения нетрадиционных быстросборных узлов соединений конструктивных элементов на основе замковых, самофиксирующихся, автоматических и других принципов действия;

4) большая степень унификации конструктивных элементов;

5) высокое качество и точность строительных материалов и конструкций за счет их изготовления в благоприятных заводских условиях;

6) возможность монтажа в любое время года;

7) высокая энергоэффективность ограждающих композиционных конструкций.

Указанные преимущества обосновывают перспективность использования быстровозводимого жилья по сравнению с традиционными видами капитального жилья из кирпича, монолитного железобетона и других конструкций.

Таким образом, в настоящее время в нашей стране остается неразвитой индустрия, которая отвечает задачам массового доступного малоэтажного домостроения. Малоэтажное строительство, основанное на материалах и технологиях отечественной строительной индустрии, характеризуется большой трудоемкостью и материалоемкостью, длительным циклом строительства и зависимостью от человеческого фактора, что не может отвечать задачам обеспечения доступным жильем граждан нашей страны в условиях роста безработицы и инфляции денег, опережающей рост доходов населения.

Основываясь на рассмотренных положениях, можно утверждать, что в самой ближайшей перспективе национальный рынок жилищного строительства должен быть организован и представлен в сегменте малоэтажного жилищного строительства на основе индустриальных методов быстровозводимого жилья с низкой степенью капитальности, призванного обеспечить жителей страны условиями жизни мирового качества.

Литература

1. Асаул А.Н., Казаков Ю.Н., Пасяда Н.И., Денисова И.В. Теория и практика малоэтажного жилищного строительства в России / Под ред. д.э.н., проф. А.Н. Асаула. – СПб.: Гуманистика, 2005. – 563 с.
2. Максаи Дж., Холланд Ю. и др. Проектирование жилых зданий. Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1979. – 118 с.
3. Федеральный закон РФ «Об ипотеке (залог недвижимости)» от 16.06.1998 г., № 102-ФЗ.
4. Кислый В. Путь к дому. Малоэтажное жилище: между прошлым и будущим // Строительный эксперт, 1999, №17 (60).
5. Асаул А.Н. Экономика недвижимости: Учебник. – СПб.: Гуманистика, 2003. – 236 с.

УДК 658.012, 691.2

Л.А. Коклюгина – кандидат технических наук, доцент
А.В. Коклюгин – доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются вопросы подготовки и управления инвестиционным строительным процессом. Предлагается новый подход к решению задач по разработке организационно-технологической документации при взаимодействии всех участников инвестиционного строительного процесса с использованием современных методов автоматизации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Проект организации строительства, проект производства работ.

L.A. Koklyugina – candidate of technical sciences, associate professor
A.V. Koklyugin – associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

TO QUESTION ON DEVELOPMENT OF ORGANIZATIONAL -TECHNOLOGICAL DOCUMENTATION PACKAGE

ABSTRACT

The questions on preparation and management of investment building process are considered. The new approach to solutions on organizational-technological documentation package preparation is offered; it means the development with participation of all investment building process parties and usage of modern automation methods.

KEYWORDS: Project on organization of building, project on execution of work.

При подготовке и управлении инвестиционным строительным процессом многие специалисты по организации строительного производства, строители-технологи, специалисты органов экспертизы и надзорных органов отмечают отсутствие системной действенной нормативной базы, регламентирующей состав, содержание и порядок разработки организационно-технологической документации, необходимой для производства строительно-монтажных работ [1].

Существенно задерживаются подготовка и выпуск технических регламентов, предполагаемых к вводу в действие в строительной сфере согласно Федеральному закону № 184-ФЗ «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г.

Согласно Постановлению Госстроя России от 19.04.2004 г. № 70 СНиП 3.01.01-85*(95) «Организация строительного производства», в котором были заложены общие требования к организации строительного производства, был признан утратившим силу. Взамен этого документа был выпущен СНиП 12-01-2004 «Организация строительства».

Кроме того, что СНиП 12-01-2004 «Организация строительства» имеет рекомендательный характер, в данном документе отсутствуют состав и содержание организационно-технологической документации.

Возникли проблемы при составлении организационно-технологической документации. Некоторые руководители строительных организаций стали пренебрегать документами, регламентирующими технологическую дисциплину. Следствием такого подхода является снижение качества строительства, возникновение аварийных ситуаций, травматизма.

Впоследствии СНиП 12-01-2004 было отказано в регистрации Минюстом РФ. Таким образом, СНиП 3.01.01-85*(95) согласно Письму от 28.04.2006 г. № 01/3472-ЕЗ Минюста РФ, наряду с другими аналогичными нормами, до вступления в силу соответствующих технических регламентов подлежит обязательному исполнению, если иное не записано в договоре подряда.

Согласно СНиП 3.01.01-85*(95) все основные решения должны были приниматься в проекте организации строительства (ПОС) и проекте

производства работ (ППР). В соответствии со статьей 48 Градостроительного кодекса РФ п. 12 п.п. 6 в состав проектной документации входит раздел ПОС объектов капитального строительства.

Следует учесть, что в СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве», который носит обязательный характер, также указано, что осуществление работ без проекта организации строительства (ПОС) и проекта производства работ (ППР) не допускается. Однако в данном документе состав и содержание основных проектных решений организационно-технологической документации касаются только безопасности труда.

В постановлении Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» указано, что «для объектов, финансируемых полностью или частично за счет средств соответствующих бюджетов, ПОС разрабатываются в *полном объеме*, а во всех остальных случаях *необходимость* и объем разработки ПОС определяются заказчиком и указываются в задании на проектирование», что противоречит Градостроительному кодексу РФ.

Большая проблема возникает у разработчиков при проектировании ПОС по расчету потребности в кадрах, машинах и механизмах, строительных материалах и т.п. при условии, если смета еще не составлена и тем более не утверждена. В этом случае расчеты ведутся по укрупненным показателям с использованием переводных коэффициентов и зачастую они на порядок отличаются от реальных.

Однако, на момент разработки ПОС еще неизвестно, кто выиграет тендер на строительство объекта. И этот факт также уменьшает точность расчетов. Парадоксально, но именно предвзятый подход к проведению тендеров дает более точный результат. Недостаток оперативной информации по использованию строительной техники часто приводит к переделке проекта в последнюю очередь, что существенно снижает его качество.

При определении потребности строительства в ресурсах необходимы рекомендации генподрядных и субподрядных организаций, поскольку на практике, как правило, при привязке к конкретной организации используются имеющиеся средства производства. Изменение наименования и количества основных строительных механизмов по п. 4.12.2 [3] может свести на нет разработку всего стройгенплана на стадии ПОС, который также подлежит проверке в Госэкспертизе.

Известно [4], что проектная документация, в состав которой входит ПОС, может разрабатываться в различных количественных сочетаниях: в три, две и одну стадии в зависимости от объема и сложности объекта. Наиболее сложные объекты, расположенные в центре города, в исторических зонах, должны разрабатываться в три стадии: *эскизный проект + проект застройки + рабочая документация*. На застроенных территориях объектов второй категории сложности предполагается две стадии: *проект застройки + рабочая документация*. В новых, малозастроенных, экологически благоприятных районах строительства документация разрабатывается в одну стадию – *рабочий проект*.

Однако заказчики, ссылаясь на ограниченные сроки, а также на постановление Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87 п. 4 «В целях реализации в процессе строительства архитектурных, технических и технологических решений, содержащихся в проектной документации на объект капитального строительства, разрабатывается рабочая документация, состоящая из документов в текстовой форме, рабочих чертежей, спецификации оборудования и изделий», требуют разработки документации в одну стадию.

Следует заметить, что в последнее время в центре города выделяются самые неудобные участки под застройку: на склоне оврагов, на насыпных грунтах, в крайне стесненных условиях, когда нормальная технология и организация стройплощадки невозможна. Негде располагать грузоподъемные механизмы, бытовые помещения согласно расчету. Вместо прогрессивных технологичных методов строительство приходится вести «дедовскими» методами с применением больших объемов ручного труда. При согласовании участка под застройку не учитывается, что любое строительство – это потенциально опасная зона. Разработчикам приходится сталкиваться с проблемой, когда площадь выделенного участка равна или меньше площади строящегося объекта. Без нарушений такие объекты ни запроектировать, ни построить невозможно.

При разработке общеплощадочного стройгенплана в составе ПОС применяется масштаб 1:500. Согласно [2] графическая часть ПОС включает, кроме календарного плана, строительный генеральный план подготовительного периода строительства (при необходимости) и основного периода строительства с определением мест расположения постоянных и временных зданий и сооружений, мест размещения площадок и складов временного складирования конструкций, изделий, материалов и оборудования, мест установки стационарных кранов и путей перемещения кранов большой грузоподъемности, инженерных сетей и источников обеспечения строительной площадки водой, электроэнергией, связью, а также трасс сетей с указанием точек их подключения и мест расположения знаков закрепления разбивочных осей.

Если выделенный участок под застройку – «пятачок», зажатый с трех сторон существующими объектами, вместо подъездных путей – переулок с односторонним движением, а объект представляет собой 7-этажное здание и два подземных этажа, говорить о соблюдении норм сложно. Документ теряет наглядность.

Требования к разработчикам ПОС и ППР со стороны контролирующих организаций растут. Причем решения, принятые в ПОС, подвергаются проверке со стороны Госэкспертизы, а затем, детализированные в ППР, проверяются Ростехнадзором. У каждой из контролирующих организаций свои замечания. В итоге разработчику непонятно, на какой стадии детализации следует остановиться.

Далеко не все строительно-монтажные организации имеют право на разработку ППР.

Рассмотрим механизм разработки, согласования и утверждения проекта производства работ грузоподъемными кранами (ППРк). Согласно [5] проект производства работ должен разрабатываться специалистами, имеющими опыт работы в строительстве, прошедшими подготовку и аттестованными в области промышленной безопасности в порядке, установленном Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору. Разработанный проект производства работ грузоподъемными кранами необходимо согласовать с владельцем грузоподъемной машины, осуществляющим надзор, руководителем организации, разработавшей ППРк, и утвердить руководителем генподрядной строительно-монтажной организации, а также и заказчиком. Далее на основании Федерального закона от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ ППРк подлежит экспертизе промышленной безопасности. Экспертиза проекта выполняется организациями, имеющими лицензию Федеральной службы на этот вид работ. И только после положительного заключения экспертизы ППРк и регистрации его в территориальном органе Ростехнадзора можно приступать к выполнению строительно-монтажных работ.

Как правило, вся процедура согласований, утверждений, исправлений занимает больше времени, чем сама разработка. Малым строительным организациям, имеющим ограниченный состав специалистов и минимум времени, такая работа не по силам. Поэтому разработчиками ППРк являются отдельные специализированные организации, которые иногда неоправданно завышают установленный объем самого проекта. Машинисту грузоподъемного механизма, для которого в большей степени разрабатывается ППРк, трудно разобраться, изучить, тем более использовать его во время работы, формально расписавшись об ознакомлении.

Следует заметить, что традиционная схема взаимодействия участников инвестиционного строительного процесса устарела в связи с убыстрением инвестиционного цикла. Заказчики не хотят ждать, когда будет готова вся проектно-сметная документация и торопятся начинать строительство, не представляя, какой мощности или вместимости будет объект. Наиболее эффективной на данный момент становится схема взаимодействия с участием проект-менеджера (управляющего проектом), т.е. управление проектом идет из одного центра, когда управляющий сам подбирает себе команду высококвалифицированных специалистов, способных обеспечить высокое качество и меньшую себестоимость работ.

Известно, что ранее ПОС разрабатывался на стадии «Проект», а ППР на стадии «Рабочая документация» (СНиП 3.01.01-85). В настоящее время стадии «Проект» и «Рабочая документация» практически объединены в «Рабочий проект».

Для устранения разногласий при составлении организационно-технологической документации предлагается объединить разработку ПОС и ППР из единого центра при разработке ПСД, с использованием программных комплексов, например, Гектор: Проектировщик-строитель, Microsoft-Project и др., что позволит разработчику решать наиболее сложные типовые задачи, использовать типовые наработки в электронном виде, сократить трудоемкость, сроки и расходы на проектирование. Использование принципиально нового подхода позволит резко повысить уровень инженерной подготовки строительства, в том числе по разработке стройгенпланов. Высокая степень автоматизации сможет уменьшить необходимость привлечения к проектированию специалистов с большим опытом работы [1]. Применение программных комплексов будет более эффективным.

Известно, что для выбора оптимальных конструктивных, технологических и организационных решений необходимо осуществлять вариантную проработку. Компромиссное решение может быть достигнуто только при взаимодействии всех участников инвестиционного строительного процесса [6]. Поэтому состав и степень детализации материалов, разрабатываемых в организационно-технологической документации, должны выполняться исходя из специфики и объема выполняемых работ с участием соответствующих подрядных строительно-монтажных организаций.

Выводы:

1. При выделении участков под застройку для повышения качества строительства и соблюдения интересов будущих собственников недвижимости местным органам власти необходимо учитывать условия производства работ.

2. Для достижения оптимального организационно-технологического решения необходимо взаимодействие всех участников инвестиционного строительного процесса.

3. Наиболее эффективной схемой взаимодействия участников предлагается схема с привлечением проект-менеджера (управляющего проектом).

4. Разработка ПОС и ППР должна осуществляться в тесной взаимосвязи организаций-разработчиков для сложных объектов, либо одним лицом, имеющим

право на разработку данных документов, если проектная документация разрабатывается в одну стадию «Рабочий проект».

5. Использование типовых решений универсальных программных комплексов, применяемых для разработки ПОС и ППР, позволит оперативно производить корректировку проекта.

Литература

1. Современные методы автоматизации проектирования строительных генеральных планов: Учебно-методическое пособие. – М.: НОУ «СтройПерсонал», 2008. – 120 с.
2. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
3. МДС 12-46.2008 Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства, проекта организации работ по сносу (демонтажу), проекта производства работ.
4. Нанасов П.С. Управление проектно-строительным процессом (теория, правила, практика): Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2005. – 160 с.
5. РД-11-06-2007 Методические рекомендации о порядке разработки проектов производства работ грузоподъемными машинами и технологических карт погрузо-разгрузочных работ.
6. Коклюгина Л.А. Выбор конструктивного решения в процессе реализации инвестиционного проекта: Учебное пособие. – Казань, 2003. – 45 с.

УДК 656.342

В.С. Нигматуллин – кандидат технических наук, доцент
И.В. Нигматуллин – инженер
И.Х. Галиев – аспирант
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ГОРОДСКОМУ ПОДЗЕМНОМУ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТУ НЕТ АЛЬТЕРНАТИВЫ

АННОТАЦИЯ

Одним из сложных социальных вопросов большинства крупных городов является работа общественного транспорта, от работы которого значительно зависит настроение и здоровье людей, а, следовательно, их работоспособность. По нашему мнению, городской наземный транспорт является одним из главных, скрытых, катализаторов роста легковых автомобилей и, как следствие, ухудшения экологической обстановки в городе. Сдерживающим фактором роста негативных последствий может служить переход наземного городского транспорта на экологически чистые приводы. Но городская среда, её ритм движения, наличие переходов, светофоров, плотность транспортного потока, ограничение его режима движения, не позволяют повысить его среднюю скорость. Не случайно, ещё полтора века назад градостроители пришли к выводу, что наилучшим способом решения транспортной проблемы является использование внеуличного подземного скоростного электротранспорта. Тормозом его развития остаётся высокая стоимость сооружения. Решение ряда технических и технологических проблем позволит снизить расходы и увеличить приток инвестиций в его строительство.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Метро, строительство, проблемы, решение, инвестиции.

V.S. Nigmatullin V.S. – candidate of technical sciences, associate professor
I.V. Nigmatullin – engineer
I.Kh. Galiyev – post-graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

CITY UNDERGROUND ELECTRIC TRANSPORT DOES NOT HAS AN ALTERNATIVE

ABSTRACT

One of the difficult social questions of majority of large cities is public transportation's work, which mood and health of people, and, hence, their work abilities considerably depend on. In our opinion, city ground transport is one of the main, hidden, catalysts of car growth and, as a consequence, environmental setting deterioration in a city. As the deterrent of growth of negative consequences the transition of a land municipal transportation to ecologically pure drives can be helpful. But the city environment, its rhythm of movement, presence of transitions, traffic signals, traffic stream density, restriction of its mode of movement, do not allow to raise its average speed. Not casually, but one and a half centuries ago the town-planners have come to conclusion that the best way of transport problem decision is to use of offstreet high-speed electric transport. The brake of its development is a high cost of the construction. The decision of some technical and technological problems will allow to cut expenses and to increase inflow of investments to its building.

KEYWORDS: Metro, building, problems, the decision, investments.

Несмотря на то, что рост автомобильного транспорта способствует накоплению таких негативных последствий, как, например:

– снижение скорости движения автотранспорта;

– расширение проезжей части за счет ликвидации газонов и зеленых насаждений;

– повышение уровня шума и концентрации вредных веществ;

– ухудшение экологической обстановки и здоровья населения;

– рост дорожно-транспортного травматизма –

он по-прежнему остаётся доминирующим в крупных городах. Основанием такого положения, на наш взгляд, являются две взаимоувязанные причины: высокая стоимость сооружения подземного скоростного электротранспорта и нерешительность

инвесторов, опасающихся вкладывать свои средства в долгосрочные, кажущиеся рискованными, мероприятия.

Известно, что общая стоимость строительства метрополитена складывается из затрат на его сооружение и расходов на ликвидацию аварий и других непредвиденных негативных явлений, возникающих в процессе строительства. Вопросу совершенствования тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) постоянно уделяется внимание специалистами стран, имеющих скоростной подземный электротранспорт. В настоящее время всемирно известные фирмы: Harrenknecht, Lovat, Robbins, Kawozaki, Mizubisi – выпускают тоннелепроходческие механизированные комплексы (ТПМК), способные с высоким уровнем безопасности для работающего персонала проходить тоннели практически в любых гидро- и горногеологических услових, как для сооружения метро глубокого, так и мелкого заложения, а также различного диаметра (от микрощитов 100 мм до 14000 и более). Однако практика работы с использованием вышеупомянутых проходческих комплексов с различными активными пригрузами показывает, что вопросы совершенствования тоннелепроходческой техники и технологии производства работ еще существуют и требуют своего решения [1].

Специалисты утверждают, что при строительстве метро мелкого заложения его стоимость в 2- 2,5 раза дешевле глубокого заложения. При этом известно, что при строительстве метро глубокого заложения, при определенных условиях (значительная глубина заложения, высокий коэффициент разрыхления пород, отсутствие способности их к сводообразованию и т.п.) может проявляться эффект самозабучивания и ослабление проявления деформации грунтов к поверхности. В то время как при строительстве метро мелкого заложения более рельефно ощущается влияние деформации грунтов, окружающих ТПМК, на близрасположенные на поверхности здания, сооружения и подземные инженерные сети. Деформация вмещающих грунтов при работе ТПМК возникает вследствие разности внешнего и внутреннего давления на ротор щита, а также из-за несвоевременного и некачественного тампонажа закрепного пространства, поэтому важным условием безаварийной проходки тоннелей с помощью (ТПМК) является выравнивание внутреннего давления на ротор и забой с внешним. Это достигается при помощи активного пригруза (пневмопригруз, гидропригруз, грунтопригруз). Однако с помощью пригруза не всегда удается создать в роторной камере давление, эквивалентное фактическому внешнему, действующему на ротор щита комбайна.

Это вызвано тем, что внешнее давление на ротор щита зависит от часто меняющихся по трассе метро многих факторов, главными из которых являются: физико-механические свойства грунтов в зоне работы ТПМК, их обводненность, наличие застройки над сооружаемым тоннелем, возможные пересечения активных геодинамических зон, глубина заложения тоннеля и т.п. При этом последняя величина задавалась, исходя из среднего уровня глубины заложения будущего тоннеля, хотя в реальности трасса проходит под впадинами и высотами, что обуславливает пониженное или повышенное внешнее давление грунтов на ротор щита, по сравнению с принятым расчетным.

Известно, что горизонтальное давление грунтов на ротор щита приблизительно равно вертикальному, умноженному на коэффициент бокового распора этих грунтов, последний может изменяться от 0,19 до 0,43, а при обводнении некоторых грунтов приближается к единице. В таком случае невозможность точного определения аналитическим путем внешнего давления приводит к тому, что вводимое в систему пригруза давление, равное расчетному внешнему, не соответствует фактическому давлению грунта.

При завышении расчетного давления грунта на внешнюю оболочку и ротор щита, по сравнению с фактическим, соответственного, устанавливают завышенную величину давления грунто- пневмо- или гидропригруза. Но так как давление внутри роторной камеры, согласно расчетным данным, установили завышенным, по сравнению с внешним фактическим, то последнее вызывает вспучивание поверхности (при метро мелкого заложения) и деформацию близрасположенных подземных инженерных сетей; при заниженном расчетном давлении грунта происходят его переборы, проседание, с образованием провалов, трещин и разрушений в зданиях, попадающих в зону влияния проходческих работ. И тот, и другой случай отрицательно влияют на состояние близрасположенных наземных зданий и подземных коммуникаций.

Так, например, при сооружении перегонного тоннеля в г. Казани под улицей Свердлова (ныне Петербургская) на асфальте проезжей части образовались провалы и пустоты (максимальный объем 20-25 м^3), что вызвало деформацию зданий старой постройки, а у нового строящегося кирпичного здания (Петербургская, 35) отделился резолит по монолитной кладке на 300-400 мм от основного корпуса. По улице Даурская, 9, в пятиэтажном жилом доме из силикатного кирпича появились трещины при прохождении тоннеля параллельно продольной оси здания.

На деформацию грунта, вмещающего щит ТПМК, в определенной степени, как было указано выше, влияет некачественный и несвоевременный тампонаж закрепного пространства. Это пространство образуется вследствие разности диаметра незакрепленного тоннеля и внешнего диаметра тюбинговой обделки, между которым находилась оболочка щита (рис.) ТПМК до её

схода с очередного тюбингового кольца. После схода щита с очередного тюбингового кольца пространство вокруг кольца должно быть затампонировано, и чем раньше, тем лучше. Для этого в каждом тюбинге (железобетонном блоке) в центральной части предусмотрены специальные отверстия для нагнетания тампонажного раствора.

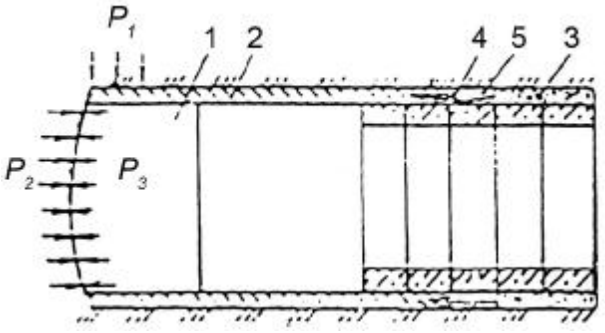


Рис. Схема щита ТПМК: P_1 P_2 – давление внешнее вертикальное и горизонтальное; P_3 – давление внутреннее; 1 – роторная камера; 2 – оболочка щита; 3 –затампонированный участок; 4 – тампонаж в хвостовой части; 5 – затюбинговое пространство

Недостатком известной схемы тампонажа является то, что нагнетание раствора через центральные отверстия можно производить, когда щит пройдет эти отверстия, т.е. половину длины тюбингового кольца. Поэтому некоторое время это пространство остается обнажённым.

Из вышеизложенного следует, что для предотвращения деформации грунтов близрасположенных объектов и подземных коммуникаций необходимо разработать способ сооружения тоннелей, в котором бы внешнее и внутреннее давление работающего ротора автоматически уравновешивалось, а тампонаж затюбингового пространства производился вслед за продвижением щита.

Группа авторов Казанского архитектурно-строительного университета разработала способ сооружения тоннелей, получен патент [2], в котором предложены схемы выравнивания внешнего и внутреннего давления на ротор щита. Для практической реализации данного способа необходимо дополнительно разработать устройство, автоматически включающее и выключающее элементы управления пригрузом.

В вышеуказанном разработанном способе предусмотрено заполнение закрепного пространства через хвостовую торцевую часть щита, непосредственно вслед за её продвижением.

Предложенный способ решает ещё одну дополнительную задачу – повышения гидроизоляции тюбинговой обделки и сокращения расхода на ее ремонт. По заявлению специалистов [3], до 95% подземных и заглубленных сооружений имеют отказы гидроизоляции на ранней стадии эксплуатации объекта, которые способствуют преждевременному износу железобетонных конструкций.

Гидроизоляция тюбинговой обделки (крепи) осуществляется в три этапа:

– качественное выполнение на заводе железобетонных конструкций тюбингов с максимальной их водонепроницаемостью и допустимыми отклонениями от проектных размеров;

– укладка в заводских условиях резиновых прокладок в специально выполненные пазы в каждом тюбинге для герметизации межтюбинговых стыков.

– тампонаж закрепного пространства, который при качественном производстве работ одновременно с выполнением основной функции заполнения пустот выполняет роль дополнительной гидроизоляции железобетонной обделки.

В процессе эксплуатации метрополитена обделка испытывает, кроме давления окружающих пород, дополнительно знакопеременные динамические нагрузки от движения и торможения поездов метрополитена. Железобетонная обделка подвергается действию сжимающих, растягивающих и изгибающих (на криволинейных участках) напряжений. Эти напряжения при сочетании неблагоприятных факторов (выход из строя прорезиненных прокладок, пересечения активных геодинамических зон) могут привести к нарушению гидроизоляции и обделки в целом [4, 5] на данном участке.

Ввиду того, что основные элементы обделки тоннеля (тюбинги, затвердевший тампонажный раствор) выполнены из жестких, хрупких материалов, замена жесткого цементно-песчаного тампонажного раствора на прочный, податливый, упругий позволит обделке сохранить гидроизоляционную способность при наличии растягивающих и изгибающих напряжений.

Особую сложность при сооружении подземных объектов и, в частности, тоннелей, представляет пересечение зон разломов земной коры, например, при строительстве Северомуйского тоннеля на БАМе, Лечбергского и Гаттворского в Альпах, главного канализационного коллектора в г. Сургуте. Трассы Северомуйского и Лечбергского тоннелей пришлось изменить (с большими затратами средств). Известный по изыскательским исследованиям разлом земной коры протяженностью 25 м, встреченный Гаттворским тоннелем, был преодолен со скоростью один метр в сутки, тогда как скорость на обычных участках достигала 30 м. При эксплуатации главного коллектора в Сургуте, под влиянием геодинамических знакопеременных, цикличных смещений, породы разломных зон перешли в квазитексотропное состояние [4, 5] с пониженной несущей способностью, по отношению к их окружающим. Благодаря такому состоянию грунтов, в крепи коллектора образовались

поперечные трещины, через которые устремилась вода в коллектор, так как он находился ниже уровня грунтовых вод, а отсутствие прочной эластичной гидроизоляционной мембраны способствовало суфозным процессам и его разрушению.

К сожалению, подобные разломы не редко встречаются в подземной практике. По заявлению главного технолога Ассоциации «Метро» В.Ф. Иванова, «практически все крупные города мира (в них, как правило, строятся метрополитены) находятся в зонах разлома земной коры» [6]. На современном этапе строительства метрополитенов большинство возникающих проблем могут быть преодолены при качественном инженерном подходе.

Исходя из вышеизложенного, следует, что предупреждение технических и технологических негативных последствий при проведении тоннелей метрополитена; совершенствование технологии уравновешиванием давления внешнего и внутреннего на ротор щита ТПМК; своевременный тампонаж закрепного пространства вслед за его образованием из материала, обладающего определенной упругостью; заблаговременные, предпроектные геодинамические исследования по трассе будущего метрополитена, сохранение гидроизоляции обделки позволят практически исключить большинство негативных ситуаций, уменьшить затраты на сооружение тоннелей метрополитена и увеличить приток инвестиций в их строительство.

Литература

1. Макаревич Г.В. Щиты с грунто – и гидропригрузом. Преимущества и недостатки работы на ТПМК с различными пригрузами забоя // Метро и тоннели, 2004, № 1. – С. 21- 25.
2. Способ сооружения тоннелей: патент № 2259479 Российской Федерации, № 2004107463/03; заявл. 04.03.04; опубликован 27.08.05. Бюл. № 24.
3. Шилин А.А., Зайцев М.В., Золотарёв И.А., Липидевская О.Б. Гидроизоляция заглубленных и подземных сооружений при строительстве и ремонте: учебное пособие. – Тверь: Изд-во «Русская торговая марка», 2003. – 400 с.
4. Боликов В.Е. Причины разрушения подземных канализационных и разработка мер по обеспечению их устойчивости // Геомеханика в горном деле: Доклады международной конференции 19-21 ноября 2002 г. – Екатеринбург: ИГД Ур ОРАН, 2002.
5. Сашурин А.Д. Современная геодинамика и техногенные катастрофы // Геомеханика в горном деле: Доклады международной конференции 19-21 ноября 2002 г. – Екатеринбург: ИГД УрОРАН, 2002.
6. Иванов В.Ф. Проблемы проектирования и эксплуатации тоннелей метрополитенов // Метро и тоннели, 2002, № 2. – С. 42- 43.

УДК 532.5

К.В. Кириллин – младший научный сотрудник
НИИ математики и механики им. Н.Г. Чеботарева, Казанский государственный университет (КГУ)
С.И. Филиппов – доктор физико-математических наук, профессор
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ОБТЕКАНИЕ КРЫЛОВОГО ПРОФИЛЯ НАД ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛА ДВУХ ВЕСОМЫХ ЖИДКОСТЕЙ КОНЕЧНОЙ ГЛУБИНЫ

АННОТАЦИЯ
Исследуется обтекание крылового профиля над линией раздела двухслойной весомой жидкости при конечной глубине слоев. Представлены результаты расчетов гидродинамических характеристик профиля NACA 66mod в зависимости от числа Фруда. Проведено сравнение со случаем обтекания профиля потоком с полубезграничным нижним слоем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Крыловой профиль, двухслойная жидкость, гравитационные волны, ограниченный поток.

K.V. Kirillin – junior research assistant
N.G. Chebotarev Research Institute of Mathematics and Mechanics, Kazan State University (KSU)
S.I. Filippov – doctor of physical-mathematical sciences, professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

FLOW-AROUND OF WING SECTION OVER INTERFACE OF TWO FLUID LIQUIDS UNDER GRAVITY OF FINAL DEPTH

ABSTRACT
In this paper, we examine a flow-around of wing section over the interface of double-layer fluid liquids under gravity of final depth. We present some results of calculation of NACA 66mod section hydrodynamic characteristics subject to Froude number. We conduct the comparison with the case of flow-around of section by stream with semi-infinite bottom layer.

KEYWORDS: Wing section, double-layer liquid, gravity waves, bounded flow.

Рассмотрим поток идеальной несжимаемой жидкости, ограниченный сверху твердой крышкой M_1, а снизу твердым дном M_3, и состоящий из слоя толщины H_1 плотности r_1 и слоя толщины H_2 плотности r_2. Жидкость находится под действием силы тяжести, ускорение которой равняется g. Крыловой профиль C с длиной хорды L расположен в верхнем слое жидкости (рис. 1).

В системе координат, начало которой совпадает с серединой хорды профиля, ось Ox параллельна невозмущенной границе раздела сред M_2 и направлена навстречу потоку, а ось Oy направлена вертикально вверх, течение плоскопараллельное, установившееся. Границы раздела M_k в системе координат xOy описываются соответственно уравнениями $y = h_k$ ($k = \overline{1,3}$). Скорости потока на бесконечности перед профилем параллельны стенкам канала и равны U_l ($l = 1, 2$). Считаем, что внутри жидкости вихри отсутствуют, так что течение обладает потенциалом скорости.

Введем соответствующие слоям жидкости области D_l ($l = 1, 2$). Область D_1 представляет собой полосу $h_2 \le y \le h_1$ ($h_2 = h_1 - H_1$) за исключением области, ограниченной профилем C, область D_2 – полосу $h_3 \le y \le h_2$ ($h_3 = h_2 - H_2$).

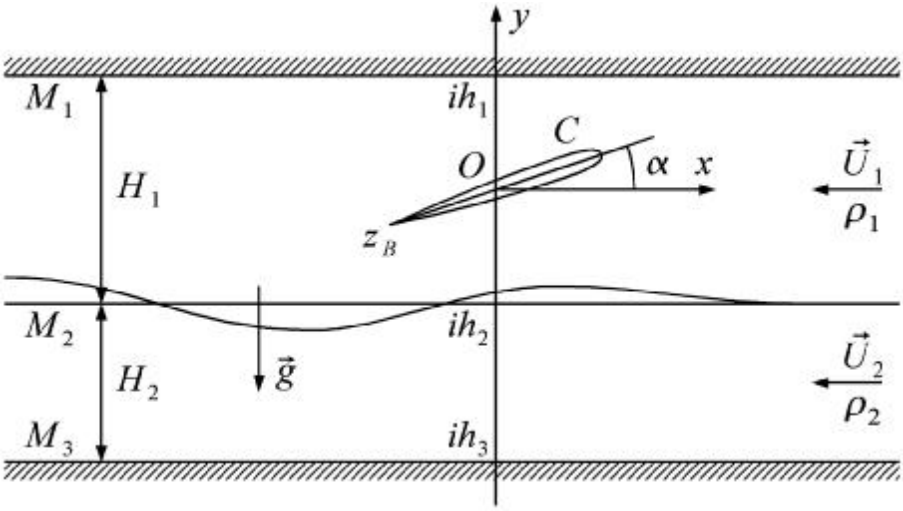


Рис. 1

Рассмотрим комплексную переменную $z = x + iy$ и комплексные потенциалы возмущенного течения $\mathcal{W}_l(z) = \varphi_l(x, y) + i\psi_l(x, y)$ в соответствующих областях D_l.

Используя предположения линейной теории волн малой амплитуды, с учетом обозначений

$$\mathcal{W}_l(z) = U_l W_l(z),\ n_2 = \frac{g\left(r_1 - r_2\right)}{r_1 U_1^2 + r_2 U_2^2},$$

$$m_l = \frac{r_l U_l^2}{r_1 U_1^2 + r_2 U_2^2},\ m = m_1 - m_2$$

придем к следующей задаче. Найти функции $W_l(z)$, аналитические в соответствующих областях и удовлетворяющие условиям:

на поверхности профиля C

$$\operatorname{Im} W_1(z) = y + y_1 \quad \left(y_1 = \text{const}\right),\ z \in C; \qquad (1)$$

на горизонтальной крышке M_1

$$\operatorname{Im}\left[\frac{dW_1(z)}{dz}\right] = 0,\ y = h_1; \qquad (2)$$

на невозмущенном уровне линии раздела жидкостей M_2

$$\operatorname{Im}\left[W_1(z) - W_2(z)\right] = 0, \qquad (3)$$

$$\operatorname{Re}\left[m_1 \frac{dW_1(z)}{dz} - m_2 \frac{dW_2(z)}{dz} + \right.$$

$$\left. + i\nu_2 W_2(z)\right] = 0,\ y = h_2; \qquad (4)$$

на дне канала M_3

$$\operatorname{Im}\left[\frac{dW_2(z)}{dz}\right] = 0,\ y = h_3; \qquad (5)$$

на бесконечности

$$\lim_{x \to +\infty} \frac{dW_l(z)}{dz} = 0,$$

$$\left|\frac{dW_l(z)}{dz}\right| < A,\ A < \infty,\ z \to \infty. \qquad (6)$$

Граничные условия (1), (2), (5) являются условиями плавности обтекания профиля и стенок канала. Условие (3) на линии раздела является кинематическим условием, (4) – динамическим и представляет собой комплексную запись условия непрерывности давления при пересечении поверхности раздела жидкостей, взятое в линеаризованной форме. При этом, следуя теории волн малой амплитуды, будем выполнять это условие на невозмущенном уровне линии раздела. Условия на бесконечности (6) обеспечивают отсутствие скоростей возмущений далеко перед профилем и ограниченность возмущений вне его окрестности.

В силу линейности задачи представим $W_l(z)$ ($l = 1, 2$) в виде суммы

$$W_l(z) = W_{1l}(z) + g W_{2l}(z), \qquad (7)$$

где $W_{1l}(z)$ – комплексные потенциалы возмущенного бесциркуляционного течения, удовлетворяющие условиям (1)-(6), $W_{2l}(z)$ – комплексные потенциалы чисто циркуляционного течения, g – значение циркуляции. Потенциалы $W_{2l}(z)$ ($l = 1, 2$) наряду с условиями (2)-(6) должны

удовлетворять еще следующим условиям:

$$\operatorname{Im} W_{21}(z) = y_2 \quad (y_2 = \text{const}), \quad z \in C; \quad (8)$$

$$\Delta_C W_{21}(z) = 1, \quad (9)$$

где Δ_C – приращение функции при положительном обходе контура C.

Метод решения задачи заключается в распределении двойных слоев особенностей (диполей) вещественной плотности по невозмущенному уровню линии раздела жидкостей M_2 и горизонтальным крышке M_1 и дну M_3, к потенциалам которых добавляются такие регулярные вне C функции, что условие на контуре (1) выполняется точно. Такой метод был впервые предложен в [1] и развит для многосвязных областей в [2].

Наряду с физической плоскостью $z = x + iy$ рассмотрим параметрическую плоскость $z = x + ih$. Пусть функция $z = f(z)$ осуществляет конформное отображение внешности единичной окружности $C_0 = \{z \,\|z| = 1\}$ на внешность профиля C, причем $f(\infty) = \infty$ и $z_B = -1$ соответствует задней кромке профиля z_B.

Будем искать комплексные потенциалы в виде

$$W_{sl}(z) = W_{s\infty}(z) + \sum_{k=1}^{3} \left[V_{sk}(z) + \Phi_{sk}(z) \right], \quad (10)$$

где $W_{s\infty}(z)$ – комплексные потенциалы возмущенного течения при обтекании профиля безграничным потоком,

$$V_{sk}(z) = \frac{1}{2pi} \int_{-\infty+ih_k}^{+\infty+ih_k} \frac{m_{sk}(t)}{z-t} dt,$$

$$\Phi_{sk}(z) = \frac{1}{2pi} \int_{-\infty+ih_k}^{+\infty+ih_k} F_k(z,t) m_{sk}(t) dt.$$

Функции $F_k(z,t)$ строятся в параметрической плоскости z на основании теоремы Милн-Томсона об окружности [3]:

$$F_k[f(z), f(t)] = \frac{1}{f'(t)} \left[c_k(z,t) + G_k(z,t) \right],$$

$$G_k(z,t) = \frac{1}{\bar{t}^2 \left(z - 1/\bar{t} \right)},$$

$$c_k(z,t) = \frac{1}{z-t} - \frac{f'(t)}{f(z) - f(t)}.$$

Плотности непрерывно распределенных по M_k особенностей $m_{sk}(t)$ ($s = 1, 2$; $k = \overline{1,3}$) определяются из условий (2), (4), (5). Предварительно для границ M_k проводятся преобразования координат $z = z_k + ih_k$. Условие (3) выполняется на основании свойств предельных значений интеграла типа Коши.

Рассмотрим условие (4) на границе раздела жидкостей M_2 для случая бесциркуляционного обтекания профиля. Подставим комплексный потенциал в форме (10) ($s = 1$) в условие (4) с учетом преобразования координат $z = z_2 + ih_2$, получим:

$$\operatorname{Re}\left[\left(\frac{d}{dz_2} + in_2 \right) V_{12}(z_2) + \left(m \frac{d}{dz_2} + in_2 \right) \Omega_{12}(z_2) + \right.$$

$$\left. + \left(m \frac{d}{dz_2} + in_2 \right) V_{13}(z_2) \right]_{z_2 = x_2 + i \cdot 0} = 0, \quad (11)$$

где

$$\Omega_{12}(z_2) = W_{1\infty}(z_2) + V_{11}(z_2) +$$

$$+ \Phi_{11}(z_2) + \Phi_{12}(z_2) + \Phi_{13}(z_2).$$

Условие (11) представляет собой сингулярное интегро-дифференциальное уравнение, которое содержит три группы слагаемых: с особенностями на линии раздела ($y_2 = 0$), с особенностями внутри рассматриваемой области ($y_2 > 0$) и с особенностями вне области ($y_2 < 0$). Его можно регуляризовать, используя следующий прием. Заметим, что (11) эквивалентно следующему уравнению:

$$\operatorname{Re}\left[\left(\frac{d}{dz_2} + in_2 \right) V_{12}(z_2) + \left(m \frac{d}{dz_2} - in_2 \right) \bar{\Omega}_{12}(z_2) + \right.$$

$$\left. + \left(m \frac{d}{dz_2} + in_2 \right) V_{13}(z_2) \right]_{z_2 = x_2 + i \cdot 0} = 0. \quad (12)$$

Функции $V_{12}(z_2)$, $\bar{\Omega}_{12}(z_2)$, $V_{13}(z_2)$ регулярны в полуплоскости $y_2 \geq 0$, следовательно, выражение под знаком действительной части в этой области является чисто мнимой постоянной:

$$\left(\frac{d}{dz_2}+in_2\right)V_{12}(z_2)+\left(m\frac{d}{dz_2}-in_2\right)\bar{\Omega}_{12}(z_2)+$$

$$+\left(m\frac{d}{dz_2}+in_2\right)V_{13}(z_2)=iN, \qquad (13)$$

где N – вещественная постоянная, определяемая из условия на бесконечности (6): $N=0$. Решая линейное дифференциальное уравнение первого порядка (13) относительно V_{12} и находя действительную часть предела при $z_2 \to x_2+i\cdot 0$ (предельный переход в сингулярном интеграле осуществляется по формуле Сохоцкого), получим в параметрической плоскости z при $x_2=f(z_2)-ih_2$:

$$m_{12}(z_2)=2\,\mathrm{Re}\left[s_{12}(z_2)+\right.$$

$$\left.+\sum_{r=1}^{3}\int_{T_r}L_{2r}(z_2,t_r)\,m_{1r}(t_r)dt_r\right]. \qquad (14)$$

Остальные пять уравнений для нахождения плотностей особенностей можно получить, проделав аналогичные (11) – (14) преобразования для граничных условий (2), (5) для случая бесциркуляционного и для условий (2), (4), (5) для случая чисто циркуляционного обтекания. В результате получим две системы уравнений для определения плотностей особенностей $m_{sk}(z)$:

$$m_{sk}(z_k)=2\,\mathrm{Re}\left[s_{sk}(z_k)+\sum_{r=1}^{3}\int_{T_r}L_{kr}(z_k,t_r)\,m_{sr}(t_r)dt_r\right]$$

$$(s=1,2;\ k=\overline{1,3}), \qquad (15)$$

где

$$s_{11}(z_1)=W^*_{1\infty}(z_1),$$

$$s_{21}(z_1)=W^*_{2\infty 2}(z_1)-W^*_{2\infty 1}(z_1),$$

$$L_{11}(z_1,t_1)=\frac{1}{2pi}\left[c_1(z_1,t_1)+G_1(z_1,t_1)\right],$$

$$L_{12}(z_1,t_2)=\frac{1}{2pi}\left[\frac{1}{z_1-t_2}+G_2(z_1,t_2)\right],$$

$$L_{13}(z_1,t_3)=\frac{1}{2pi}\left[\frac{1}{z_1-t_3}+G_3(z_1,t_3)\right],$$

$$s_{12}(z_2)=mW^*_{1\infty}(z_2)+in\,(m+1)e^{+in\,f(z_2)}\times$$

$$\times\int_{+\infty}^{z_2}e^{-in\,f(J_2)}W^*_{1\infty}(J_2)\,f'(J_2)dJ_2,$$

$$s_{22}(z_2)=mW^*_{2\infty}(z_2)+in\,(m+1)e^{+in\,f(z_2)}\times$$

$$\times\int_{+\infty}^{z_2}e^{-in\,f(J_2)}W^*_{2\infty}(J_2)\,f'(J_2)dJ_2,$$

$$L_{21}(z_2,t_1)=\frac{1}{2pi}\left[m\left(\frac{1}{z_2-t_1}+G_1(z_2,t_1)\right)+\right.$$

$$+in\,(m+1)e^{+in\,f(z_2)}\int_{+\infty}^{z_2}e^{-in\,f(J_2)}\times$$

$$\left.\times\left(\frac{1}{J_2-t_1}+G_1(J_2,t_1)\right)f'(J_2)dJ_2\right],$$

$$L_{22}(z_2,t_2)=\frac{1}{2pi}\left[m\big(c_2(z_2,t_2)+\right.$$

$$+G_2(z_2,t_2)\big)+in\,(m+1)e^{+in\,f(z_2)}\int_{+\infty}^{z_2}e^{-in\,f(J_2)}\times$$

$$\left.\times\big(c_2(J_2,t_2)+G_2(J_2,t_2)\big)\,f'(J_2)dJ_2\right],$$

$$L_{23}(z_2,t_3)=\frac{1}{2pi}\left[m\left(\frac{1}{z_2-t_3}+G_3(z_2,t_3)\right)+\right.$$

$$+in\,(m+1)e^{+in\,f(z_2)}\int_{+\infty}^{z_2}e^{-in\,f(J_2)}\times$$

$$\times\big(c_3(J_2,t_3)+G_3(J_2,t_3)\big)\,f'(J_2)dJ_2-$$

$$-in\,(m-1)e^{-in\,f(z_2)}\int_{+\infty}^{z_2}e^{+in\,f(J_2)}\times$$

$$\left.\times\frac{f'(t_3)}{f(J_2)-f(t_3)}\,f'(J_2)dJ_2\right],$$

$$s_{13}(z_3)=-W^*_{1\infty}(z_3),$$

$$s_{23}(z_3)=-W^*_{2\infty}(z_3),$$

$$L_{31}(z_3,t_1)=-\frac{1}{2pi}\left[\frac{1}{z_3-t_1}+G_1(z_3,t_1)\right],$$

$$L_{32}(z_3,t_2)=-\frac{1}{2pi}\left[\frac{1}{z_3-t_2}+G_2(z_3,t_2)\right],$$

$$L_{33}(z_3,t_3)=-\frac{1}{2pi}\left[c_3(z_3,t_3)+G_3(z_3,t_3)\right],$$

$$W^*_{1\infty}(z)=-\left(Kz+\bar{K}/z\right)+f(z),$$

$$W^*_{2\infty}(z)=W^*_{2\infty 2}(z)+W^*_{2\infty 1}(z),$$

$$W^*_{2\infty 2}(z)=\frac{1}{2pi}\ln\left(z-1/\bar{z}_g\right),$$

$$W^*_{2\infty 1}(z)=-\frac{1}{2pi}\ln\left(z-z_g\right),$$

$$K=f_z'(\infty),\ z_g=f^{-1}(z_g),$$

z_g – точка, лежащая в области $y>h_1$, $T_k=\left\{z\,\middle|\,z=f^{-1}(x+ih_k)\right\}$ – образы невозмущенных границ раздела сред в параметрической плоскости z. Комплексный потенциал циркуляционного обтекания профиля безграничным потоком $W_{2\infty}(z)=W_{2\infty}\left[f(z)\right]=W^*_{2\infty}(z)$ удовлетворяет условиям (3), (8), (9), этим же условиям удовлетворяет и вся сумма (10) ($s=2$).

Значение циркуляции g находится из постулата Жуковского-Чаплыгина о конечности скорости на острой кромке профиля [4]:

$$g=\frac{2p\,\mathrm{Im}\left(-K+\bar{K}/z_B^2\right)+\mathrm{Re}\sum_{k=1}^{3}J_{1k}(z_B)}{\mathrm{Re}\left(\dfrac{1}{z_B-1/\bar{z}_g}-\dfrac{1}{z_B-z_g}-\sum_{k=1}^{3}J_{2k}(z_B)\right)},$$

где

$$J_{sk}(z_B)=\int_{T_k}\left[\frac{1}{(z_B-t)^2}+\frac{1}{\bar{t}^2\left(z_B-1/\bar{t}\right)^2}\right]m_{sk}(t)dt.$$

Для решения полученных систем линейных интегральных уравнений Фредгольма второго рода (15) ($s=1,2$) применялся метод последовательных приближений [2].

По найденным значениям плотностей определяется комплексный потенциал возмущенного течения (7) и по формуле Чаплыгина [4] вычисляется волновое сопротивление X и подъемная сила Y профиля C:

$$X-iY=\frac{ir_1}{2}\oint_{C_0}\frac{1}{f'(z)}\left[\frac{dW_1(z)}{dz}\right]^2dz-ir_1U_1^2g.$$

Для расчета гидродинамических характеристик крылового профиля была разработана программа, тестирование которой было проведено на известных решениях других авторов задач обтекания тел различных форм слоями жидкостей с одной и двумя границами [2, 5, 6].

Для данной задачи характерно наличие критического числа Фруда Fr^*, значение которого зависит от отношения плотностей r_2/r_1 и толщин слоев H_1/L и H_2/L [7]. Периодические волны на границе раздела существуют только при $\mathrm{Fr}<\mathrm{Fr}^*$, поэтому именно в этом диапазоне изменения числа Фруда проводились расчеты.

Результаты расчетов, выполненных для профиля NACA 66mod в случае одинаковых скоростей слоев ($U_1=U_2$), представлены на рис. 2-4. Отображающая функция $f(z)$ для данного профиля определялась по методу М.В. Лотфуллина [8]. Отношение плотностей жидкостей r_2/r_1 в расчетах было принято равным 1.03, что соответствует отношению плотностей морской и пресной воды. На рис. 2, 3 изображены зависимости коэффициента подъемной силы $c_y=2Y/\left(r_1U_1^2L\right)$ от числа Фруда $\mathrm{Fr}=U_1/\sqrt{gL}$.

На рис. 2 приведены результаты исследования влияния угла атаки профиля a на коэффициент подъемной силы c_y при неизменной геометрии канала – $h_1/L=0.6$, $h_2/L=-0.5$, $h_3/L=-1.4$. Сплошной кривой изображен коэффициент подъемной силы при $a=0^0$, штриховой – при $a=1^0$. При увеличении угла атаки a наблюдается увеличение c_y во всем рассматриваемом диапазоне чисел Фруда.

На рис. 3 при $a=1^0$, $h_1/L=0.6$, $h_2/L=-0.5$ сплошной кривой изображен коэффициент подъемной силы профиля c_y в случае нижнего слоя жидкости конечной глубины при $h_3/L=-1.1$, а штриховой – в случае полубезграничного нижнего слоя при $h_3/L=-\infty$. Как видно из графика, наибольшие и

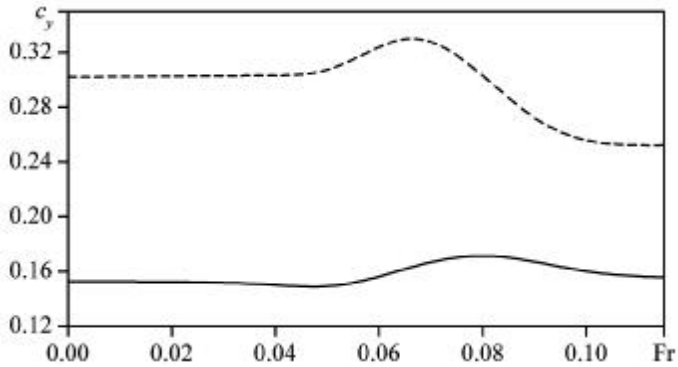


Рис. 2

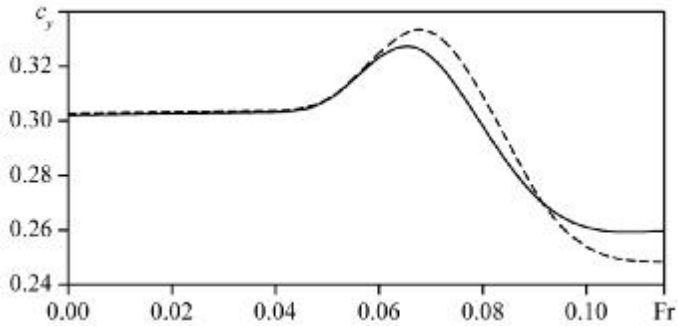


Рис. 3

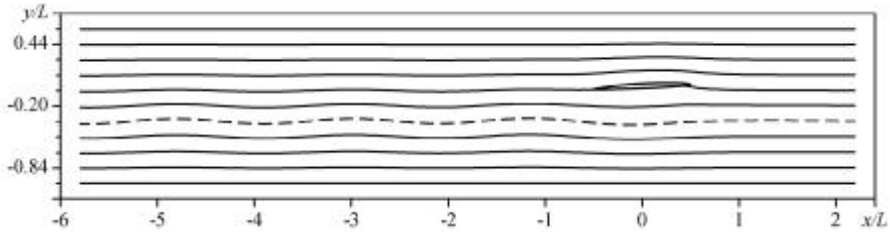


Рис. 4

наименьшие значения c_y достигаются при меньших значениях h_3/L. Следует отметить значительное отличие коэффициентов подъемной силы в случае канала и в случае полубезграничного потока.

На рис. 4 продемонстрирован пример расчета линий тока течения и границы раздела жидкостей при $a = 3^{\circ}$, $h_1/L = 0.6$, $h_2/L = -0.36$, $h_3/L = -1$, $\mathrm{Fr} = 0.065$.

Работа поддержана РФФИ (проект 08-01-00163).

Литература

1. Тумашев Г.Г., Черепенин Н.Д. Задача о движении круглого цилиндра под свободной поверхностью тяжелой жидкости // Труды семинара по краевым задачам. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1973. – Вып. 10. – С. 140-151.
2. Филиппов С.И. Гидродинамика крылового профиля вблизи границ раздела. – Казань: Изд-во Казанского матем. об-ва, 2004. – 200 с.
3. Милн-Томсон Л.М. Теоретическая гидродинамика. – М.: Мир, 1964. – 656 с.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1970. – 904 с.
5. Стурова И.В. Плоская задача об обтекании кругового цилиндра равномерным потоком двухслойной жидкости конечной глубины // ПМТФ. – 1998. – Т. 3. – № 6. – С. 91-101.
6. Лотфуллин М.В., Стурова И.В., Филиппов С.И. Гидродинамическое воздействие на контур, обтекаемый равномерным потоком двухслойной жидкости // Вычислительные технологии. – Новосибирск, 1994. – Т. 3. – № 8. – С. 108-115.
7. Сретенский Л.Н. Теория волновых движений жидкости. – М.: Наука, 1977. – 816 с.
8. Лотфуллин М.В. Численный метод конформного отображения односвязных областей // Труды семинара по краевым задачам. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1985. – Вып. 22. – С. 148-150.