СОДЕРЖАНИЕ

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

Балакина Л.А., Козенко А.А. Сакральные образы экологических моделей идеальных городов.....5
Ибрагимов И.А. Формирование архитектуры средневековой мечети на основе пространственной ориентации человека.....9
Надырова Х.Г. Средневековые столичные города Волго-Камья: опыт сравнения пространственно-планировочных структур.....15
Нугманова Г.Г. Архитектура Волго-Уральского региона: постколониальный взгляд на Российскую империю.....22
Халит Н. К реконструкции первоначального облика малого минарета в Болгарах.....27
Шипилов Р.В. История возникновения и развития спортивных сооружений.....36

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Степанчук А.В. Обоснование выбора видов ремесленной деятельности в структуре мини-гостиниц для этнографического туризма.....43

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

Забирова Ф.М. Историко-культурный планировочный каркас территории Республики Татарстан и применение метода «градостроительной акупунктуры» к его узловым элементам.....51
Закиров Р.С., Прокофьева Т.Г. К вопросу о развитии высокоплотной малоэтажной жилой застройки в г. Казани.....57
Кащеев Р.А., Загретдинов Р.В., Комаров Р.В. Проект сети постоянно действующих ГНСС станций для обеспечения высокоточного координатно-временного поля на территории Республики Татарстан.....62
Лежава И.Г. Выбор XXI века – линейная структура городских систем.....66
Осипов П.П. Моделирование аэродинамики жилой группы.....70
Тукманова З.Г. Прибрежные территории – резерв для восполнения рекреационного дефицита города.....76
Устинов А.В. Об истории земельного вопроса в России и его месте в теории и практике градостроительства.....80

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Абдюшев А.А., Мифтахутдинов И.Х., Осипов П.П. Проектирование непологих оболочек минимальной поверхности.....86
Антаков А.Б., Ладнушкин А.А. Такелажная система «ЛАКРА».....93
Ахметзянов Ф.Х. Классификация повреждений бетона, предпосылки оценки его остаточной несущей способности в строительных элементах бетона при отсутствии и наличии армирования с простым механическим нагружением.....99
Бутенко Ю.И. Краевые эффекты в многослойных полосах.....103
Карелова Д.Г., Шипилов Р.В. Термин в терминосистеме гибких мобильных сооружений.....113
Кузнецов И.Л., Ахметшин М.М. Исследование действительной работы облегченных панелей с каркасом из тонкостенных профилей.....118
Лихачева С.Ю. Исследование влияния фактора времени на прочность и деформативность кладок из гипсоопилочных и опилкобетонных камней.....122
Манапов А.З., Бедняков В.В. Статистическое моделирование работы несущих конструкций производственного здания.....127
Соколов Б.С., Антаков А.Б., Фабричная К.А. Исследования кладок из пустотелого кирпича 1,4 НФ.....134
Терегулова Э.Р., Низамеев В.Г. Метод оценки несущей способности железобетонных плит, лежащих на деформируемом основании.....140
Якупов Н.М., Абдюшев А.А. Исследование влияния лечащих накладок на напряженно-деформированное состояние панелей с системой трещин.....147
Elsayed Tarek Aly, Nagy F. Hanna, Gouda. M. Ghanem, Sameh Yehia Behavior of short RC columns reinforced with FRP bars.....152

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Мирсаяпов И.Т., Абдуллаев А.А. Экспериментально-теоретические исследования моделей глубоких фундаментов.....162
Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Исследования прочности и деформативности глинистых грунтов при длительном трехосном сжатии.....167

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

Антонов С.Ю., Антонова А.В., Золотоносов Я.Д. Математическая модель конфигурации эллиптических пружинно-витых каналов теплообменных устройств.....173
Зиганшин М.Г., Зиганшин А.М., Дмитриев А.В. Режимные параметры аппаратов с фонтанирующим слоем полидисперсного материала. Часть 1. Расчетные параметры потери устойчивости полидисперсной системы.....179
Зиганшин М.Г., Зиганшин А.М., Дмитриев А.В. Режимные параметры аппаратов с фонтанирующим слоем полидисперсного материала. Часть 2. Определение параметров фонтанирования полидисперсного материала.....184
Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д., Белавина Т.В. Математическая модель теплопроводности в длинном ребре переменной высоты с учетом изменения условий теплообмена.....190
Комлева Н.Н. Возможность использования азотосодержащих лигандов в теплоэнергетике.....197
Котлов К.В. Пассивные гелиосистемы теплообеспечения зданий в климатических условиях республики Марий Эл на примере “стены-коллектора Тромба”.....201
Правник Ю.И., Антропов Д.Н., Садыков Р.А. Командное давление в дистанционно управляемых редукторах.....206
Сафиуллин Р.Г. Экспериментальное исследование пористых вращающихся распылителей (ПВР), разработанных для увлажнителей воздуха.....213

СОДЕРЖАНИЕ

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Адельшин А.Б., Бусарев А.В., Селюгин А.С., Хисамеева Л.Р. К вопросу применения нанотехнологий в системах водоснабжения и водоотведения.....217

Каратаев О.Р., Лапин А.А., Перикова Е.С., Новиков В.Ф. Сравнительная характеристика эффективности реагентов для обеззараживания воды плавательных бассейнов.....223

Савдур С.Н., Азимов Ю.И. Технологический модуль очистки нефтесодержащих сточных вод.....227

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Боровских И.В., Хозин В.Г. Изменение длин базальтовых волокон при его распределении в композиционном вяжущем высокопрочных базальтофибробетонов.....233

Габидуллин М.Г., Мавлюбердинов А.Р. Изучение механизма повышения прочности пористого черепка на основе среднепластичной Сарай-Чекурчинской глины с натрий-содержащей добавкой.....238

Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Исследование влияния добавок гиперпластификаторов на физико-механические свойства тяжелого бетона.....242

Камалова З.А., Смирнов Д.С. О некоторых возможностях производства портландцемента в Республике Татарстан.....246

Каюмов Р.А., Строганов И.В., Строганов В.Ф., Мухаметшин А.Т. Математические модели поведения полимерного материала с «памятью формы».....250

Куколева Д.А., Ахметшин А.С., Строганов И.В., Строганов В.Ф. Биоповреждение полимерных композиционных строительных материалов.....257

Сагдатуллин Д.Г., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Реологические характеристики водных суспензий композиционного гипсового вяжущего и его компонентов.....263

Старовойтова И.А., Абдрахманова Л.А., Хозин В.Г., Кузнецова Л.М., Ягунд Э.М. Исследование структуры и свойств гибридных органо-неорганических связующих термоаналитическими методами.....269

Сулейманов А.М., Померанцев А.Л., Родионова О.Е. Прогнозирование долговечности материалов проекционными математическими методами.....274

Халиуллин М.И., Кузнецов И.Л., Чупрунов В.А. Особо легкий пеногипс для теплоизоляции легких каркасированных плит покрытий.....279

Ханнанова Г.Т., Струговец И.Б., Аминов Ш.Х., Недосеко И.В. Использование промышленных отходов в составах щебеночно-мастичного асфальтобетона.....283

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Чикляев Е.Г., Каратаев О.Р., Перикова Е.С., Новиков В.Ф., Танеева А.В. Проблемы экологической безопасности воздушной среды промышленных предприятий.....289

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

Майстренко И.Ю., Манапов А.З. Оценка резервов несущей способности и долговечности эксплуатируемых мостов с учетом индивидуальных особенностей.....295

Танеева А.В., Синкевич А.В., Карташова А.А., Новиков В.Ф. Анализ проблем экологической безопасности автомобильных дорог г. Казани.....302

Правила представления материалов для публикации в научном журнале “Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета”.....308

УДК 72.032.2:22
Л.А. Балакина – кандидат архитектуры, доцент
Тел.: 89033066747, e-mail: bamila@list. ru
А.А. Козенко – аспирант
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

САКРАЛЬНЫЕ ОБРАЗЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ИДЕАЛЬНЫХ ГОРОДОВ

АННОТАЦИЯ

Основной целью работы является выявление общих композиционно-символических признаков и экологических принципов формирования идеальной городской среды путём анализа и сопоставления градостроительных моделей библейского Нового Иерусалима с проектами идеальных городов. Настоящее аналитическое исследование позволяет сделать вывод о наличии сакрального смысла и космогонического прообраза во всех рассмотренных типах идеальных городов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Библия, сведения о Небесном Иерусалиме, экологические аспекты, проекты идеальных городов, генезис.

L.A. Balakina – candidate of the architecture, associate professor
Tel.: 89033066747, e-mail: bamila@list. ru
A.A. Kozenko – post-graduate student
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

SACRED IMAGES OF IDEAL TOWN ECOLOGICAL MODELS

ABSTRACT

Analytical research of The Holy Bible Text was carried out with the aim to get information about the ecological aspect in the planning structure of Heavenly Jerusalem. Common principles of This plan are revealing in all concept projects of «ideal» towns in the history of urban planning.

KEYWORDS: the Bible, information about Heavenly Jerusalem, ecological aspects, ideal town projects, genesis.

На современном этапе развития цивилизации научные знания и технологии кажутся неисчерпаемыми, но последствия научно-технического прогресса несут угрозу глобальных экологических катастроф. Ретроспектива взаимоотношений Природы и Человека свидетельствует об их противоречивом характере. Природа, являясь условием существования Человека, заметно деградирует под воздействием техногенных преобразований – гармония существования Человека в Природе нарушена. Тенденция урбанизации такова, что большая часть человечества проживает в городах, в искусственно созданной материальной среде, существенно отличной от естественной по своим качествам. Человек является как потребителем созданных им материальных благ, так и носителем духовных ценностей, формирующих его мировоззрение. Развитие культуры всегда несколько отставало от темпов научно-технического прогресса. По мнению А. Швейцера, именно экологическая культура общества определяет условие выживания как «благоговейное отношение к жизни». Этот принцип лежит в основе христианского учения. В настоящее время проводятся исследования текстов Библии применительно к различным областям научных знаний. Целью данной статьи является попытка осмыслить экологические проблемы градостроительства с позиций герменевтики.

Библейская теистическая картина мира дает целостное представление о Природе и Человеке. Как известно из книги «Бытие» [Быт. 1(26,28)], первозданный мир находился в полной гармонии, экосистема была настолько совершенна, что сам Творец засвидетельствовал: «все, что Он создал, …хорошо весьма» [Быт. 1(31)]. Но Человек, искушенный дьяволом, утратил Божью благодать, и земля была проклята [Быт. 3(17)]. За грехи человеческие, когда «земля растлилась и наполнилась злодеяниями» [Быт. 6(11)], Бог неоднократно вершил на Земле экологические катастрофы. Первой из них был Всемирный Потоп: водой «покрылись все высокие горы, какие есть под всем небом», «лишилась жизни всякая плоть, движущаяся по земле, и все люди» [Быт.

7(19,21)]. Впоследствии экологическое состояние Земли существенно нарушилось: изменились и свойства атмосферы, и структура почвы, и рельеф, и гидросистема; были установлены времена года. Природная среда стала трудной для выживания, многие виды растений и животных вымерли, продолжительность жизни человека сократилась.

В Библии упоминаются и другие «экологические» кары Божьи, например, разделение континентов [Быт. 10(25)], уничтожение городов Содома и Гоморры и прочие катаклизмы, о чем повествуют книга Бытие и книги пророков Иоиля, Амоса, Исайи. Новозаветный период библейской истории охватывает короткий отрезок времени, но и здесь упоминаются природные аномалии. Страшные проявления гнева Божия при распятии Иисуса Христа описаны в Евангелиях: «…сделалась тьма по всей земле, и померкло солнце», «…земля потряслась, и горы раскололись» [Мф. 27(51), Мр. 15(33), Лк. 23(44-45)]. Но самая ужасающая картина событий экологической катастрофы конца света представлена в последней книге Нового Завета: солнце померкнет, произойдет великое землетрясение, звезды небесные падут на землю, а небо скроется, свившись как свиток, всякая гора и остров сдвинутся с мест своих, затем град и огонь падут на землю, и вся растительность сгорит, воды в морях сделаются кровью, вода в реках станет горькой [Отк. 6(12-14),8(7-11)]. В завершении библейского повествования говорится о том, что мир станет иным: «ожидаем нового неба и новой земли…» [2Пет. 3(13)], где «…ничего уже не будет проклятого» [Отк. 22(3)] – вероятно, предполагается создание идеальной экологической среды, подобной Райскому саду в Эдеме.

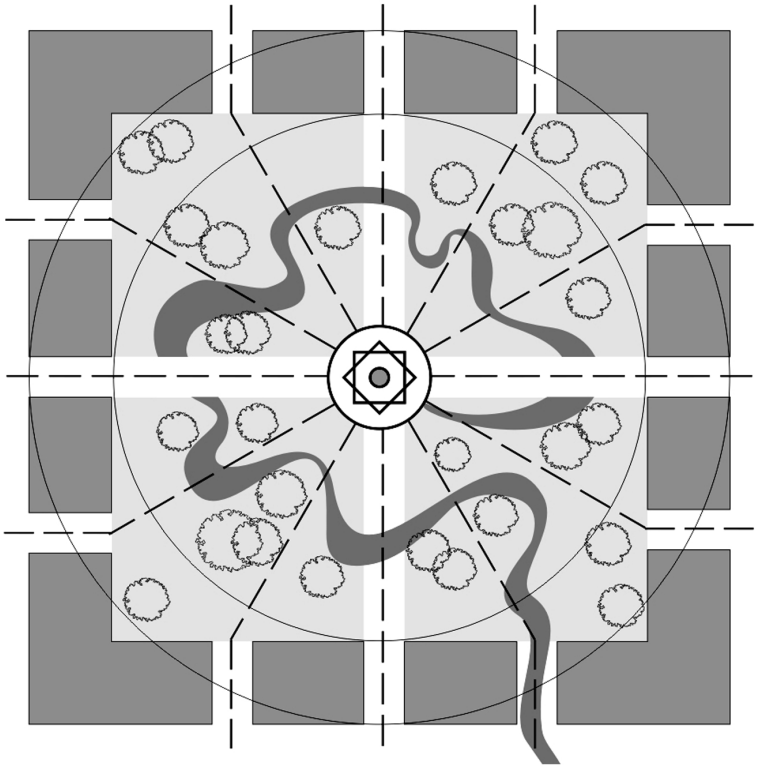
Основные элементы Града Небесного – Нового Иерусалима – описаны в последних главах книги Откровение [Отк. 21(2,12-27),22(1-3)]. Сведения о нем встречаются также у пророков Исайи и Иезекииля [Ис. 60(11,14), Иез. 48(31-35)], и они во многом совпадают с видением Иоанна Богослова [1]. В результате аналитического исследования вышеуказанных мест Писания на предмет экологического осмысления нами были выявлены следующие экологические признаки идеального города:

1. Автономность, обособленность в пространстве [Отк. 21(12-13,25,27), 22(14-15)].
2. Высококачественные строительные и отделочные материалы [Отк. 22(5)], Ис. 60(17)].
3. Отсутствие каких-либо загрязнений [Отк. 21(18,21)].
4. Неиссякаемый круглосуточный световой ресурс божественного происхождения [Отк. 21(23), 22(5), Ис. 60(19-20)].
5. Кристально чистый источник воды божественного происхождения [Отк. 22(1)].
6. Наличие богатой и разнообразной растительности [Отк. 22(2), Ис. 60(13)].
7. Благоприятные условия для роста деревьев и их плодоношения [Отк. 22(2), Ис. 60(13)].
8. Обеспеченность человека натуральной вегетарианской пищей и лекарственными средствами [Отк. 22(2)].

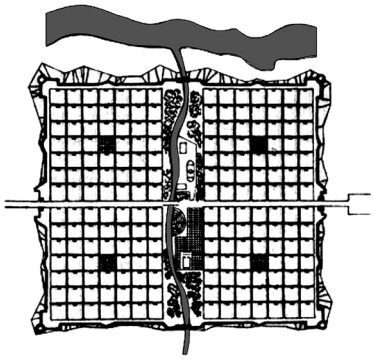
Новый Иерусалим – как образ места обитания спасенных праведников – заведомо превышает возможности человеческого воображения: «не видел того глаз, не слышало того ухо и не приходило то на сердце человеку, что приготовил Бог любящим Его» [1Кор. 2(9)]. Град Небесный Иерусалим как парадигма грядущего сверхбытия – это уже рай-город, а не утраченный рай-сад [2]. Конечно, Иерусалим Небесный – это образ аллегорический, и он имеет, прежде всего, духовный смысл: единение спасенных праведников с Господом Богом навечно в царстве Божьем – с ним напрямую связана идея спасения в христианстве. Рай как город – это один из трех существующих образов Рая в эсхатологических видениях всей авраамической традиции (иудаизм, христианство, ислам); два других образа – это рай-сад и рай-небеса [2]. Как справедливо замечает В. А. Иконников, «метафоры небесного града не опредмечиваются в целостную пространственную модель» [3]. Однако, выявленные экологические признаки и элементы города, а также предположения на основании исследования контекста дают некоторые основания для размышлений об идеальном месте обитания.

Тема Небесного Иерусалима впоследствии оказала значительное влияние на утопические идеи создания проектов «идеальных городов», в центричном планировочном устройстве которых отражалась идея создания идеального общества [3]. «Атлантида» Платона, «Утопия» Т. Мора, «Сфорцинда» Филарете, «Город Солнца» Т. Кампанеллы, «Христианополис» В. Андреа, градостроительные фантазии Булле, Леду, Бэкона, Оуэна, Сен-Симона, Фурье – все они несли идеи космогонической символики, строгой геометричности планировочной структуры и магии чисел (рис. 1). Ни один из этих абстрактных проектов не мог быть реализован. Как полагали философы Н. Бердяев и В. Несмелов, ошибка утопий заключена в самой идее создания гармоничного состояния общества, поскольку совершенным может быть «лишь царство Божие… и не может быть царство кесаря», и «…идеальная форма реально вовсе не существует» [4, 5].

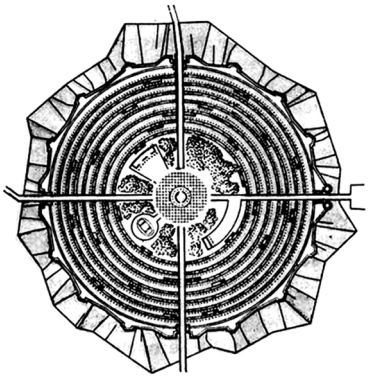
На протяжении всего периода развития градостроительной мысли было создано большое количество проектов идеальных городов, композиционные модели которых, однако, сводятся к дискретному количеству базовых архетипов, восходящих к библейским прообразам: Райскому саду и Небесному Иерусалиму. Такого рода проекты, как правило, служили лишь «графическими приложениями» к моделям идеальных человеческих сообществ, ставших популярной во многих утопических социальных и философских концепциях формой мысленного эксперимента. Каноническими



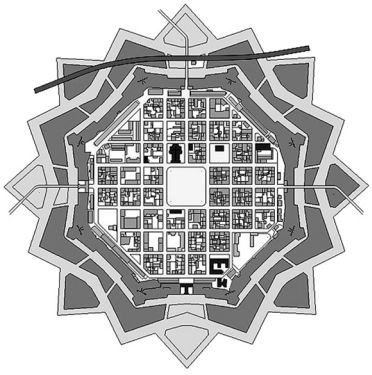
1. Схематичный план Града Небесного Иерусалима по сведениям из Книги Откровения. Реконструкция арх. Л.А. Балакиной [1].



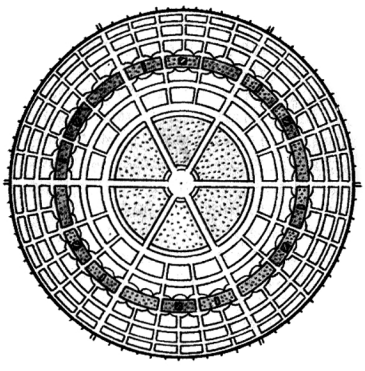
2. Идеальный город Томаса Мора, 1512 г.



3. Идеальный «Город Солнца» Томмазо Кампанелла, 1602 г.



4. Город Неф-Бризах (Франция), проект 1698 г.



5. Город-сад Э. Говарда, 1903 г.

абстрактами идеальных планировочных структур городов на протяжении многих тысячелетий были круг и квадрат с перекрестием путей в центре. Идеальный «порядок» конструируемого мира однозначно противопоставлялся «хаосу» несовершенного «естественного» мира, отклонившегося от абсолютного плана творения. Человек был призван выявить и развить, а если необходимо, то и привнести в этот мир природную гармонию [6]. Проекты «городов будущего» при всем их разнообразии имеют регулярную центричную планировочную структуру, и основополагающая идея – создание экологически благоприятных условий обитания при максимально возможном сохранении природной среды. Лишь в XX веке впервые была озвучена парадоксальная идея о «неидеальности» структур «идеальных» городов, их децентрализации и случайности. Один из первых современных сторонников теории рассредоточенного расселения Э. Говард строил свою знаменитую концепцию города-сада, во многом вдохновляясь образом земного рая. Многие исследователи эволюции формирования поселений, так или иначе, обращались к проектам идеальных городов [7]. Всё многообразие мира оказывалось сводимым к совокупности архетипов, восходящих к единому предвечному образу горнего Божьего Града. Об актуальности обращения к библейским образам свидетельствуют и современные исследования города, которые нашли отражение в материалах научной конференции «Город и искусство, город в искусстве» в рамках деятельности Научного совета РАН по проблеме «История мировой культуры» совместно с Российским институтом искусствознания в феврале 1995 г. в Москве. А.В. Иконников в своем докладе «Город – идеал, утопия, реальность» акцентировал внимание на том, что город – понятие неоднозначное, это не просто материальная структура. Схемы римского каструма, городов индейцев доколумбового периода, решения китайских японских зодчих при создании столиц построены на одних и тех же принципах: кольцевые концентрические поселения: кольцо жилых территорий вокруг общественного пространства в центре. Город рассматривается как модель государства, модель небесной сферы, наконец, как сакральный центр [8].

Во всех моделях идеальных городов несомненно прослеживаются общие характерные черты и экологические приоритеты. Поскольку сакральные и космогонические представления сформировались у абсолютного большинства земных народов задолго до появления у них первых городов, можно говорить об априорном архетипе города, лежавшем в основе как идеальных, так и реальных городов.

Источник исследования: Библия. Книги Священного Писания Ветхого и Нового Завета. Канонические. Перепечатаны с Синодального издания. – М.: Рос. библейское о-во, 2001. – 925 с.; 294 с.

Принятые сокращения: Бытие[Быт.], Книга Пророка Исайи [Ис.], Книга Пророка Иезекииля [Иез.],Евангелие от Матфея [Мф.], Евангелие от Марка [Мр.], Евангелие от Луки [Лк.], Второе послание Петра [2Пет.], Первое послание к Коринфянам [2Кор.], Откровение Иоанна Богослова [Отк.].

Литература

1. Балакина Л.А. Архитектурно-градостроительные архетипы Древнего мира: Учеб. пособие / Л.А. Балакина. – Казань: Изд-во КазГАСУ, 2008. – С. 135.
2. Шукуров Ш.М. Образ храма. Imago templi / Ш.М. Шукуров. – М.: Прогресс- Традиция, 2002. – С. 218.
3. Иконников А.В. Утопическое мышление и архитектура / А.В. Иконников. – М.: Архитектура-С, 2004. – С. 21-23.
4. Бердяев Н.А. Русская идея / Н.А. Бердяев // Вопросы философии, 1990, № 2. – С. 118-119.
5. Несмелов В.И. Вера и знание с точки зрения гносеологии / В.И. Несмелов. – Казань, 1913. – XXII. – С. 104.
6. Гурьянов Г. Классическое и постклассическое градостроительство / Г. Гурьянов, М. Туркатенко // Архитектурный вестник, 2004, № 1 (76).
7. Гутнов А.Э. Мир архитектуры: лицо города / А.Э. Гутнов, В.Л. Глазычев. – М.: Мол. гвардия, 1990. – С. 86.
8. Кириченко Е.И. Архитектурные теории XIX в. в России / Е.И. Кириченко. – М.: Искусство, 1986. – 344 с.

И.А. Ибрагимов – аспирант, магистр архитектуры
Тел.: 89090143664, e-mail: architectureplus@mail.ru
Уральская государственная архитектурно-художественная академия (УралГАХА, Екатеринбург)

ФОРМИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ СРЕДНЕВЕКОВОЙ МЕЧЕТИ НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА

АННОТАЦИЯ
В статье рассмотрены особенности формирования архитектуры средневековых мечетей с позиции ориентации человека в религиозно-мировоззренческом, территориально-географическом пространстве вероучения ислама, а также с позиции ориентации и восприятия человеком реального, окружающего архитектурного пространства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мечеть, минарет, система координат, точка отсчета.

I.A. Ibragimov – post-graduate student, magister of architecture
Tel.: 89090143664, e-mail: architectureplus@mail.ru
Ural State Academy of Architecture and Arts (USAAA, Ekaterinburg)

FORMATION OF ARCHITECTURE OF THE MEDIEVAL MOSQUE ON THE BASIS OF SPATIAL ORIENTATION OF THE PERSON

ABSTRACT
In this article the features of formation of architecture of medieval mosques from a position of orientation of the person in religious-world outlook, territorially-geographical space of dogma of an Islam, and also from a position of orientation and perception are considered by the person of real, surrounding architectural space.

KEYWORDS: a mosque, a features minaret, system of coordinates, a reference point.

Расширение диапазона реконструкции и реставрации памятников прошлого неизбежно ведет к осуществлению более глубокого подхода к изучению принципов и закономерностей формирования архитектуры. Рассмотрение фундаментальных основ архитектуры является приоритетной задачей, которая всегда занимает определяющее место в теории и истории архитектуры. В этом русле архитектура мечети эпохи средневековья является одним из важных вопросов, требующих рассмотрения.

Одним из важных аспектов, в ряду необходимых к рассмотрению, видится ориентационный аспект архитектуры, в котором рассматривается связь сущности религиозного вероучения и особенностей восприятия окружающей среды человеком.

Цель исследования – обоснование и раскрытие ориентационных принципов формирования средневековой архитектуры мусульманского культового здания – мечети.

Исследователь Э. Фромм утверждает, что человеку по его природе необходима система ценностных установок, ориентаций. Такими системами Э. Фромм называет различные системы, в том числе и религию [1]. Исходя из этого, мы формулируем любую религиозную традицию как систему духовных координат, называя ею и исламское религиозное вероучение. Понятие система координат имеет следующее определение: это комплекс определений, реализующий метод координат, то есть способ определять положение точки или тела с помощью чисел или других символов [2]. Становится видно, что система координат задается точкой отсчета, относительно которой находятся координаты объектов. Система духовных координат ислама – это, с точки зрения семантики, смысловая картина, которую предоставляет религиозное вероучение и которая принимается человеком за основную и стабильную. Человек верит в эту смысловую картину и пользуется ей как точкой отсчета – сопоставляет себя с ней, идентифицирует себя с ней, как с неизменной, «обездвиженной». В рамках вероучения ислама одним из материализованных представлений является глобальная географическая точка отсчета – мекканская Кааба.

Мусульмане всего мира пять раз в день обращаются в сторону (кибла) Каабы и молятся Аллаху. Молитва мусульман происходит в мечети – специальном здании. Мечеть в переводе означает «место, где совершаются земные поклоны» [3, с. 125]. Любая мечеть имеет нишу (михраб), указывающую направление на город Мекку (кибла), которая находится напротив входа. Молящийся мусульманин совершает молитву в положении сидя на коленях и как бы склоняется перед Аллахом и простирается перед ним, касаясь лбом земли. При этом

произносятся славословия Аллаху, символ веры (шахада), суры из Корана [4, с. 212]. Таким образом, человек из вертикального сидячего положения, переходит в горизонтальное и отправляет молитву в горизонтальном направлении, вследствие чего в исламе молитва – **горизонтальный вектор**.

Мечеть, где происходит молитва, не имеет алтаря и не освящается. Во многих источниках Каабу называют алтарем [5, с. 127], главным святилищем ислама [3, с. 109], Святая Святых ислама, ключ мироздания, камень-храм, Первохрам [6, с. 122-123]. Л.Ю. Маньковская пишет, что: «В первые века ислама мечеть не предназначалась исключительно для молений. Это был своеобразный общественный дом для верующих» [7, с. 102]. Сама мечеть может находиться где угодно, только на расстоянии, недоступном скверне. Из хадиса: Пророк (мир ему и благословение Аллаха) сказал: «Земля сотворена для меня как масджид (с араб. «место преклонения»), и где бы не возникла у человека потребность в молитве, пусть он молится». Также он сказал: «Самая бесполезная вещь, пожирающая богатство верующего, – строительство». Такие положения вполне отвечали образу жизни арабов-кочевников. Местом масджида служила очерченная на земле площадка («нарисованная мечеть»), а киблу (направление на Каабу) определяли по тени воткнутого в землю копья.

Исходя из вышеизложенного, мечеть Аль Хаарам (Запретная мечеть) и Кааба выступают всемирным центром притяжения исламского вероучения. Эту идею утверждает А.А. Высоковский, называя Каабу точкой отсчета и предельным выражением введенного им понятия – точка отсчета [8]. Как пишет О. Грабар: «Любая молитва ассоциировалась не с местом, а с направлением – киблой» [9, с. 109], что позволяет говорить о Каабе как о глобальном, всемирном центре ислама. Ученый Наджм уд-Дин Баммат утверждает, что «точка отсчета в Мекке – это всего лишь вертикаль, указывающая направление к всевышнему. Отсюда и принадлежность к общине определяется не занимаемой территорией, не историей и не географией, а в первую очередь отношением к этой вертикальной оси, которая должна напоминать о существовании иного, выходящего за рамки истории и географии измерения» [10]. Историк Эдмонд Густав фон Грюнебаум называет Мекку обрядовым центром – «пупом Земли», который в какой-то степени заменял церковную организацию [11, с. 25]. Кааба задает территориальную систему духовных координат ислама, становясь материализованной точкой отсчета этой системы. Мусульмане всего мира как бы находят свои духовные координаты через Каабу.

Молитвы всех мусульман мира «отправляются» к этой точке отсчета. Считается, что над Каабой находится на верхнем небе «небесная Кааба», вокруг которой ангелы совершают таваф (хадисы) [12, с. 208]. Тем самым детерминируется вертикальная ось (ось мира, о которой, например, пишет Евсюков В.В. [13]). Таким образом, получается, что молитва по достижении Каабы направляется вверх к Аллаху. Египетский ученый Каирского Университета доктор Хусейн Камалуддин научно установил, «…что впервые в результате вулканической деятельности над водой суша появилась именно там, где ныне стоит Кааба». Тем самым ученый доказал местоположение Каабы как Пупа земли. Результаты этого исследования опубликованы в 1977 году [14].

Одной из характерных черт исламской религиозной архитектуры мечетей является минарет. Минарет – «(от араб. манара, букв. – маяк) – башня при мечети, с которой муэдзин провозглашает азан – призыв к молитве. Существует два основных типа минарета – круглые и многогранные в сечении» [4, с. 148].

Минарет несет следующие функции: провозглашение азана муэдзином (призыв на молитву), другая функция заключается в том, что минарет выступает ориентиром в архитектурном пространстве. Он является точкой отсчета системы координат реального пространства. Система координат человека в реальном пространстве – это система, основанная на визуальном восприятии человеком главного ориентира в окружающей его среде. Человек сопоставляет свое местоположение с местоположением ориентира, принимаемого за главную и неподвижную доминирующую вертикаль, и тем самым находит свои координаты в реальном, физическом пространстве [15]. В данном случае – в городской среде. В этой системе человек пользуется всё тем же простым принципом сопоставления геометрической системы координат. В исламском городе существовало множество таких точек отсчета (минареты придомовых мечетей). Однако главной точкой отсчета в городском пространстве становилась соборная мечеть, видная отовсюду. Соборная мечеть в большинстве случаев воспринималась как ориентир целиком.

«Само слово манара (место возжигания огня, маяк) происходит от трехбуквенного корня Н-В-Р со значением «свет». Свет и огонь (ну рва нар) неотъемлемые атрибуты-понятия универсальной идеи минарета» [6, с. 72]. Таким образом, «...идея минарета … топологически близка к ветхозаветному образу Вавилонской башни» [6, с. 73]. Минареты выполняют функцию провозглашения исламской религии, становятся «маяком» идеи ислама, также они выступают вертикальными, онтологическими осями (векторами). Ш.М. Шукуров ссылается на исследовательскую работу Ардалан Н. и Бахтияр Л., где утверждается, что: «относительно горизонтальной оси Творения минарет призван служить ясным онтологическим регулятором пространства, предопределяющим позицию Человека в Творении» [6, с. 76], Д.Б. Пюрвеев называет минарет онтологической осью (осью человеческого познания): «Эти позитивные вертикальные формы служат общественными ориентирами, указывающими путь к эзотерически значимым местам. В общей композиции города минареты возвышаются как вертикальные штрихи арабской письменности, соответствуя вечной

трансцендентной сущности вещей, тогда как горизонтальное развитие города выражает непрерывное материальное творчество человека..» [16, с. 131].

Р. Арнхейм придает важнейшее значение «вертикальной оси» для человека – для его восприятия окружающей действительности: «Именно вертикаль играет роль оси, роль системы отнесения для всех прочих направлений» [17, с. 25]. Р. Арнхейм ссылается на К. Норберг-Шульца, который рассматривает вертикаль относительно горизонтальной плоскости и утверждает, что «направления по горизонтали обозначают мир собственных действий человека; в известном смысле все направления по горизонтали уравнены между собой и образуют плоскость, равномерно простирающуюся во все стороны. Простейшей моделью человеческого существования будет, таким образом, горизонтальная плоскость, проколотая вертикальной осью» [17, с. 27].

«Классический исламский город» (понятие используется Д. Сурдель [18, с. 383]) – арабский город, представлял собой следующую картину: плоские кровли малоэтажных, жилых домов, залитых солнечным светом, из которых выступают минареты квартальных, придомовых мечетей. «Характерная особенность композиции городской застройки: многие общественные здания терялись в застройке, обозначались только входами (бани, караван-сараи-постоялые дворы для караванов) [18, с. 33]. В классическом исламском городе не существует других явно выраженных ориентиров в пространстве, кроме минаретов мечетей и объема соборной мечети города. «Пространственная композиция арабских городов регламентировалась. Объемы распределялись в городе по правилам соподчинения. Центр занимала большая мечеть. Ее минарет, с которого муэдзин сзывал мусульман на молитву, возвышался как ориентир по отношению к сложной сетке улиц… В жилую застройку вкрапливались квартальные мечети» [19, с. 34]. Таким образом, ориентирами в реальном архитектурном пространстве горожанам служили минареты. Именно они выступали **точками отсчета системы координат в реальном архитектурном пространстве**. Мощность таких точек отсчета – территория, на которой каждый из них действовал, была не велика, в сравнении с объемом соборной мечети и ее минаретами.

Перейдем к рассмотрению архитектуры мечетей. Средневековые мечети разделяют по объемно-планировочным характеристикам на три основных типа. Первый тип – «арабская» или колонная мечеть, представляет собой открытый прямоугольный двор с галереями на трех сторонах и молитвенным залом на стороне киблы. Второй тип – «айванная» или иранская мечеть со сводчатыми или колонными айванами по осям внутреннего двора, иногда крытого. Третий тип – центрально-купольная мечеть, в которой молитвенный зал перекрыт большим куполом. Другое название – «турецкая» [20, с. 216].

Исследованием установлено, что культовая архитектура ислама периода Средневековья, в частности мечети, имеет выраженные черты горизонтальной направленности [21]. Черты проявляются во всех трех основных типах мечетей: в арабской, иранской, турецкой. В общем, мечети имеют продольно-осевую планировку с главной осью – «осью ислама» (понятие используется Т.Х. Стародуб [22, с. 160]) и в большинстве случаев представляют собой в плане прямоугольник с продольно-осевым принципом планировки. Для трех типов характерен открытый двор, который в иранской мечети начинается входным порталом (пештаком), затем удлиненный молитвенный зал (что также является одной из характеристик направленности в горизонтальную сторону), который вытянут в сторону Мекки, и заканчивается михрабной нишей. В иранской мечети еще один зал возникает с противоположной стороны от михрабной ниши. Главный вход в арабской мечети акцентируется минаретом. Все мечети обращены в сторону Мекки. Этот факт подмечает Стародуб Т.Х. [22]. В.Л. Воронина пишет: «Вся планировка и пространственная композиция мечети подчеркивает направление к Мекке. В мечетях арабского типа к Мекке обращены нефы или арки нефов, в соборных мечетях Ирана и Средней Азии со стороны Мекки высится главный купольный зал, и входной портал мечети стоит на одной оси с михрабом» [23, с. 114]. Арабская и иранская мечети имеют сравнительно небольшую высоту, по отношению к длине и ширине, и могут быть характеризованы как «распластанные» по земле.

Проявление черт динамической устремленности мечетей в горизонтальном направлении также можно наблюдать в ступенчатости композиции мечети в сторону Мекки, детерминированной когда-то климатическими условиями и развитой за годы существования исламского вероучения. По мере приближения к михрабной нише архитектурные объемы увеличиваются в своей высоте – архитектурная масса нарастает. Направленность к Каабе выражается в двух основных ступенях: в общей объемно-планировочной структуре сначала следует открытый двор, к которому примыкает удлиненный молитвенный зал. В арабской мечети иногда добавляется третья ступень в виде выступившего на крыше объема поперечного трансепта. Таким образом, получается ступенчатость, которая рождает устремленность объемно-пространственной композиции в сторону Мекки. Необходимо отметить, что ступенчатость направляет динамически горизонтально, а не вертикально, вследствие пропорционально небольшой высоты ступеней по отношению к горизонтальным параметрам. При других параметрах, например, в мезоамериканских сакральных пирамидах, главная лестница, ведущая на верх пирамиды, воспринимается как «путь к небу».

В арабской и иранской мечетях ступень молитвенного зала с высоты человеческого роста воспринимается больше со двора. Центральный вход в молитвенный зал в арабской мечети акцентируется куполом, над михрабной

нишей нередко также появляется купол: это детерминирует визуально «ось ислама». Также акцентируется по высоте центральный неф. В иранской мечети ступенчатость задается центральными айванами, которые визуально определяют мощную горизонтальную связь. Над михрабной нишей нередко возводят купол, что также задает ступенчатость, акцентируя киблу. В середине двора устанавливают павильон для омовения, этот архитектурный прием фиксирует визуально «ось ислама»: ось с помощью трех точек (два айвана и павильон для омовения) становится «жестче» зафиксированной визуально.

Таким образом, ступенчатость в арабской и иранской мечетях воспринимается изнутри самой мечети, вернее из ее двора. Всю полноту объемно-пространственной композиции мечети можно ощутить, находясь только внутри нее. Архитектура мечети направлена в интерьер, она имманентна. В понятие интерьер можно включить в этом случае открытый двор. Со стороны улицы мечеть представляет собой длинную каменную стену. В этом отношении представляется важным исследование Н.И. Смолиной. В частности, она утверждает: «Симметрия относительно центральной точки – вот в чем, на наш взгляд, состоит графический инвариант архитектурных планов как отдельно стоящих зданий, так и ансамблей средневековой Средней Азии» [24, с. 193]. Однако необходимо заметить, что «симметрия относительно центральной точки» не противоречит общей направленности архитектуры мечети.

В турецкой мечети ступенчатость задается объемом открытого двора и объемом молитвенного зала, расположенными друг за другом, по высоте, в сторону Мекки, по главной оси. Ступенчатость в турецкой мечети воспринимается как из двора, так и с городской территории. При восприятии вблизи объем молитвенного зала центричен и образно напоминает «гору» [22, с. 197], которая состоит из небольших нагромоздившихся объемов, завершенную «приплюснутым» куполом.

Для каждого типа мечети характерны минареты как онтологические оси, которые несут статику по горизонтали и движение по вертикали. Благодаря их присутствию, горизонтальная направленность мечети ощущается в большей степени. Минарет – это «символ мусульманского присутствия на завоеванных мусульманами территориях» [20, с. 220]. Следует отметить, что без минаретов мечеть характеризуется больше как распластанная, то есть приплюснутая, без выраженной горизонтальной динамики. В случае с турецкой мечетью основной объем вообще может восприниматься как устремленный вверх.

Минареты в композиции мечетей выступают во многих случаях как самодостаточные, отдельные, объемные элементы, необходимость в которых, по всей видимости, велика как в онтологических осях и ориентирах однообразного внешне исламского города.

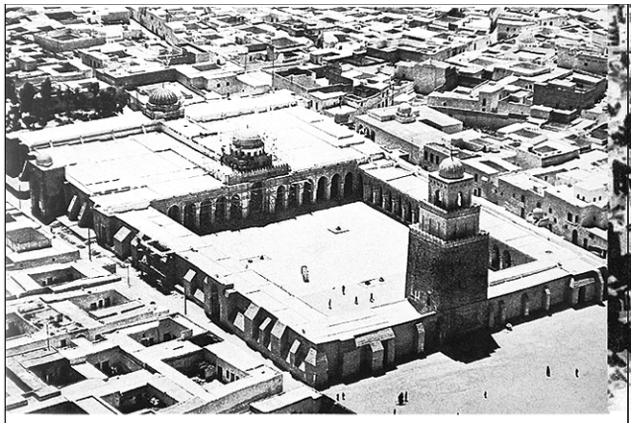
Минареты мечетей арабского и иранского типа выступают онтологическими осями и точками отсчета системы координат в реальном пространстве одновременно. Они организуют композиционную связь с самой мечетью, контрастируя с ней в устремленности в перпендикулярном (вертикальном) направлении, являются вертикальными векторами (онтологическим осями). Благодаря их выраженной направленности вверх, становится более ощущаема направленность в горизонтальную сторону мечети. В арабской (колонной) мечети минарет возводится в большинстве случаев при главном входе на оси ислама (мечеть в Самаре, мечеть в Кордове, мечеть в Кайруане, мечеть ибн Тулуна в Каире и др.). В иранской (айванной) мечети минареты сооружаются как рядом с мечетью (отдельно), так и «выпускаются» из ее тела (мечеть джами в Исфагане, мечеть Калян в Бухаре, площадь Регистан в Самарканде, религиозный центр Хаст Имам в Ташкенте и др.).

Турецкая мечеть получает горизонтальные динамические свойства исключительно во взаимодействии с минаретами. Без них объем мечети можно назвать приплюснутым, но не горизонтально направленным, и даже вертикально устремленным: исследователи отмечают постепенное нарастание высоты к центральному куполу [25, с. 463]. Минареты-стрелы оказывают свое влияние в контрасте только в общей композиции с мечетью. Они выступают как бы фиксаторами обездвиженности по горизонтали, некими точками отсчета обездвиженности в композиции самой мечети. Как полноправные отдельные точки отсчета в реальном пространстве города они не воспринимаются. Точкой отсчета в окружающем архитектурном контексте выступает весь объем мечети (молитвенный зал). Примерами послужат: мечеть Шах-Заде в Стамбуле, мечеть Сулеймание в Стамбуле, мечеть Селемийе в Эдирне зодчего Коджи Синана и др.

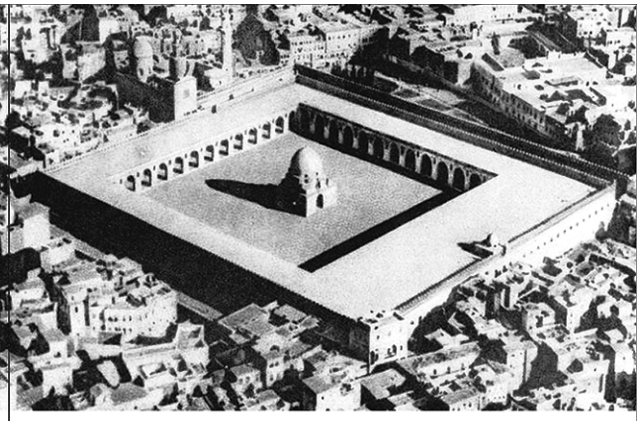
Таким образом, в архитектуре средневековой мечети проявляются черты двух разнонаправленных векторов одновременно: религиозного, который «тянет» архитектуру в горизонтальном направлении к Мекке, и вертикального, который организует ориентиры в пространстве и несет функцию онтологической оси.

Судя по тонкому отношению архитектурных форм с точки зрения динамики и статики, можно заключить, что исламские зодчие прекрасно чувствовали полюса и умели выразить их в камне. Они знали, какими архитектурными средствами можно достигнуть стремительного вертикализма, а какими – горизонтальной динамической направленности.

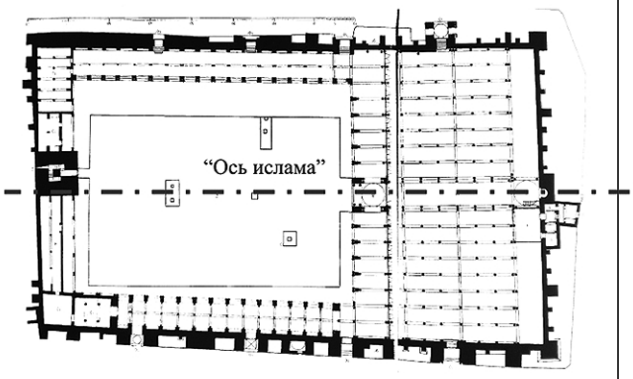
Архитектура мечети не несет в себе конфронтации двух разнонаправленных векторов, а является примером осуществления их взаимодействия. Горизонтальная динамика отдельно мечетей без минаретов не имеет такой же силы, как, например, вертикальная динамика отдельно взятой готической стрельчатой арки. В этом отношении мечеть можно назвать просто приплюснутой. Однако выраженная горизонтальная динамическая направленность в сторону Мекки появляется в сопоставлении (контрасте) с минаретом, который задает

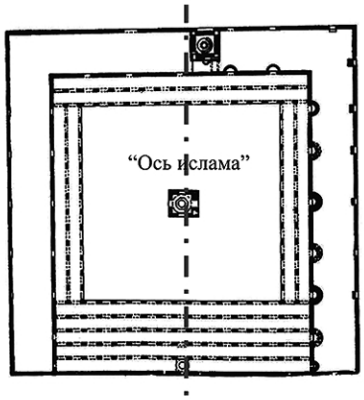


Большая мечеть в Кайруане. Тунис



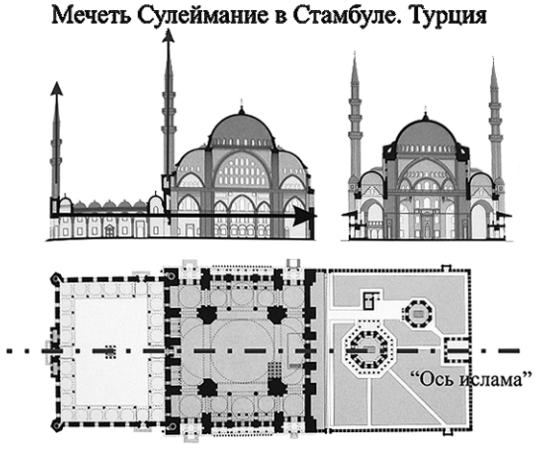
Мечеть Ибн Тулуна в Каире. Египет





Мечеть Сулеймание в Стамбуле. Турция

Мечеть Джами в Исфагане. Иран



вертикальный вектор. Вследствие этого можно утверждать, что в средневековой мечети присутствуют черты горизонтальной направленности.

Проведенное исследование не исчерпывает всех черт ориентированности архитектуры средневековой мечети, а призвано лишь для того, чтобы определить подход к проблеме ориентации и рассмотреть ее в самых общих чертах. Более углубленное и расширенное исследование составляет перспективу дальнейших исследований темы диссертации.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что полученные результаты способствуют развитию теоретического знания в сфере теменологии (науки о храмах). Выявлены и сформулированы модели систем координат человека в религиозном и реальном пространствах. Данные модели могут послужить теоретической основой в исследованиях, посвященных изучению религии и/или ориентации человека в реальном пространстве.

Практическая значимость исследования заключается в том, что раскрыты общие принципы ориентации человека в религиозном, духовно-мировоззренческом пространстве исламской религиозной традиции, а также системы ориентации человека в городском, реальном, архитектурном пространстве. Выявлена связь ориентации человека и культовой архитектуры ислама и особенности формирования. Рассмотрение принципов формирования культовой архитектуры ислама дает архитектору-проектировщику новое знание, благодаря которому его возможности значительно возрастают.

Литература

1. Фромм Э. Анатомия человеческой деструктивности / Э. Фромм; пер. с англ. Э.М. Телятникова, Т.В. Панфилова. – М.: АСТ, 2004. – 635 с.
2. Система координат [Электронный ресурс] / Википедия: свободная энциклопедия. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki / Система_координат.
3. Зеленков М.Ю. Мировые религии: история и современность: Учеб. пособие / М.Ю. Зеленков. – М.: Юридический институт МИИТа, 2003. – 252 с.
4. Ислам от А до Я / Сост. А.А. Савинов. – М.: АСТ: Восток – Запад, 2007. – 320 с. – (Мировая культура.)
5. Павлов Н.Л. Алтарь. Ступа. Храм: архаическое мироздание в архитектуре индоевропейцев / Н.Л. Павлов. – М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2001. – 368 с.: ил.
6. Шукуров Ш.М. Образ храма / Ш.М. Шукуров. – М.: Прогресс – Традиция, 2002. – 496 с.
7. Маньковская Л.Ю. Типологические основы зодчества Средней Азии (IX-начало XXвв.) / Л.Ю. Маньковская. – Ташкент: Фан, 1980. – 180 с.
8. Высоковский А.А. Точка отсчета городского пространства / А.А. Высоковский; отв. ред. А.А. Барабанов // Человек и город: пространства, формы, смысл: Материалы Международного Конгресса Международной ассоциации семиотики пространства (Санкт-Петербург, 27-30 июля 1995 г.) в 2 т. Т.2. – Екатеринбург: Архитектон, 1998.
9. Grabar O. The Formation of Islamic Art / O. Grabar. – London: Yale University Press, 1973.
10. Наджм уд-Дин Баммат Пространство ислама [Электронный ресурс] / ANAHARSIS.RU. – Режим доступа: http://www.anaharsis.ru/religia/bamm_1.htm.
11. Г.Э. фон Грюнебаум. Классический ислам / Г.Э. фон Грюнебаум; пер. с англ. И.М. Дижур. – М.: Наука, 1988. – 120 с.
12. Ислам классический: энциклопедия / Сост. К. Королев. – М.: Эксмо; СПб.: Мидгард, 2005. – 416 с.: ил. – (Тайны древних цивилизаций).
13. Евсюков В.В. Мифы о Вселенной / В.В. Евсюков. – Новосибирск.: Наука, 1988. – 177 с.
14. Гаджиев М. Кааба – центр Земли [Электронный ресурс] / ислам.ру. – Режим доступа:http: // www.islam.ru/science/kaaba_center/.
15. Ибрагимов И.А. Системы ориентации в городском пространстве / И.А. Ибрагимов // Академический Вестник УралНИИпроект РААСН, 2009, № 2. – С. 48-51.
16. Пюрвеев Д.Б. Архитектура Мироздания / Д.Б. Пюрвеев. – М.: Альтекс, 2006. – 312 с.
17. Арнхейм Р. Динамика архитектурных форм / Р. Арнхейм; пер. с анг. В.Л. Глазычева. – М.: Стройиздат, 1984. – 192 с.
18. Сурдель Д. Цивилизация классического ислама / Д. Сурдель, Ж. Сурдель, пер. с фр. В. Бабинцева. – Екатеринбург: У-Фактория, 2006. – 544 с. – (Великие цивилизации).
19. Алексеев Ю.В. Градостроительное планирование поселений: Учеб. пособие в 5 т. Т. 1. Эволюция планирования / Ю.В. Алексеев, Г.Ю. Сомов. – М.: АСВ, 2003. – 336 с.
20. Виноградова В.А. Традиционное искусство Востока: терминологический словарь / В.А. Виноградова, Т.П. Каптерева, под общ. ред. Т.Х. Стародуб. – М.: Эллис Лак, 1997. – 368 с.
21. Ибрагимов И.А. Закономерности формирования мусульманских мечетей / И.А. Ибрагимов // Стройкомплекс Среднего Урала, 2009, № 6. – С. 38-41.
22. Стародуб Т.Х. Эволюция типов средневековой исламской архитектуры в 2 т. Т. 1, Т. 2: дис. … д-ра архитектуры / Т.Х. Стародуб. – М., 2006. – 404 с.
23. Воронина В.Л. Конструкции и художественный образ в архитектуре Востока / В.Л. Воронина. – М.: Стройиздат, 1977. – 160 с.
24. Смолина Н.И. Традиции симметрии в архитектуре / Н.И. Смолина. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
25. Всеобщая история архитектуры: в 12 т. Т. 8 Архитектура стран Средиземноморья, Африки и Азии. VI-XIX вв. / Под. ред. Ю.С. Яралова и др. – Л.; М.: Стройиздат, 1969. – 491 с.

УДК 711.03 (470.40)
Х.Г. Надырова – кандидат архитектуры, доцент, заведующая кафедрой архитектурной композиции
Тел.: (843) 510-46-68, e-mail: nadirova@ksabal.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

СРЕДНЕВЕКОВЫЕ СТОЛИЧНЫЕ ГОРОДА ВОЛГО-КАМЬЯ: ОПЫТ СРАВНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ СТРУКТУР

АННОТАЦИЯ
Статья посвящена сравнительному анализу пространственно-планировочных структур столичных городов средневековых государств региона и выявлению условий и причин их резкой смены в процессе развития градостроительной культуры Волго-Камья в период с X до сер. XVI вв.

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

K.G. Nadirova – candidate of architecture, associate professor, head of Architectural Composition department
Tel.: (843) 510-46-68, e-mail: nadirova@ksabal.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

MEDIEVAL CAPITALS OF THE VOLGA-KAMA: EXPERIENCE OF THE COMPARISON OF THE SPATIALLY-PLAN STRUCTURES

ABSTRACT
The article is devoted to the comparative analysis of spatially-plan structures of the capitals of the medieval states of region and identify the conditions and reasons of their sharp changing in the process of development of town-planning culture of Volgo-Kama in a period from X to the middle of XVI c.

KEYWORDS: structure, type, urban culture.

В Волжско-Камском регионе в X – середине XVI вв. последовательно существовали три средневековых государства: Волжско-Камская Булгария, Булгарский улус в составе Золотой Орды и Казанское ханство. Столицами этих государственных образований были города Биляр, Булгар и Казань. В статье проведен сравнительный анализ их пространственно-планировочных структур, поскольку столичные города концентрировали наиболее характерные достижения градостроительных культур этих государств.

Исторические источники свидетельствуют, что булгарский царь Альмуш в 920 г. обращался к багдадскому халифу Муктадиру с просьбой прислать проповедников ислама, средства и мастеров для строительства мечети и крепости (города) [13, с. 3]. В 922 г. прибыло посольство из Багдада, и тем же летом был заложен город Биляр – столица Волжско-Камской Булгарии.

Город был построен на относительно ровном левом берегу р. Малый Черемшан. Археологами установлено, что под главной мечетью и укреплениями города отсутствует культурный слой, а это свидетельствует о единовременном возведении их в «чистом поле». Концентрическая архитектурно-пространственная организация г. Биляра, формировавшаяся укрепленными внутренней и внешней частями города с огромной многоколонной мечетью в центре, позволяет предположить, что в основе ее лежит схема «идеального» раннесредневекового мусульманского города – Багдада, откуда прибыли мастера [2, с. 31; 13, с. 92]. Багдад имел предположительно круглый план, концентрическую пространственную организацию и в поперечнике достигал 2,5 км. Дворец халифа и мечеть отделялись от жилых кварталов стеной. Двойная внешняя городская стена была прорезана четырьмя воротами и укреплена башнями. Вероятно, мастера-строители из Багдада заложили в Волго-Камье новый город – столицу Волжско-Камской Булгарии по образцу и подобию своего города, что являлось фактом приобщения региона к Мусульманскому миру. Этим и объясняются гигантские для региона того времени размеры Биляра, почти равные размерам Багдада. Площадь Биляра составляла около 620 га. В русских летописях он получил название – «Великий город».

Установлено, что Билярское городище Алексеевского района Республики Татарстан является остатками древнего Биляра. В 1973-74 гг. была произведена аэрофотосъемка городища [6, с. 35, рис. 8]. Исторические источники и материалы археологических раскопок позволяют воссоздать пространственно-планировочную структуру Биляра на начало XIII в. до его разрушения в 1236 г. монгольскими войсками Бату-хана (рис. 1).

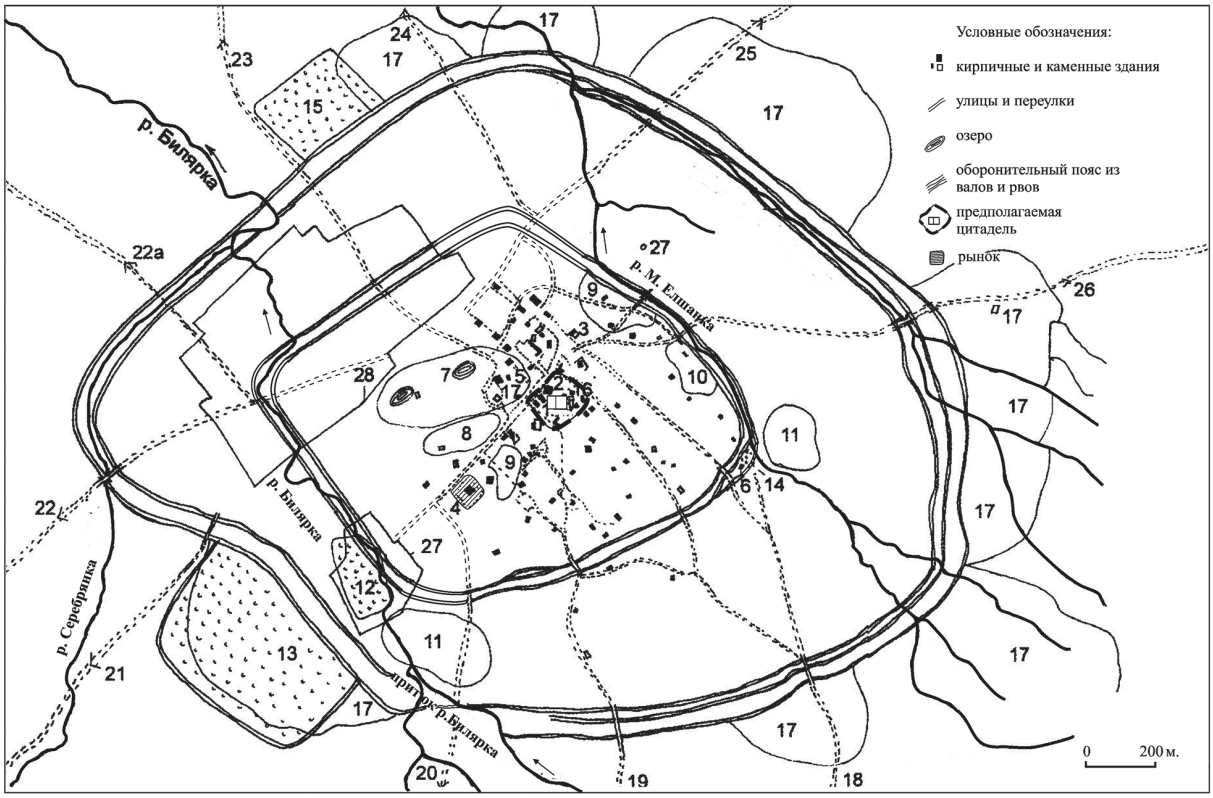


Рис. 1. Планировочная структура Биляра начала XIII в. (по данным аэрофотосъемки):
1. Билярская соборная мечеть, 2. Здание в комплексе с мечетью, 3. Баня, 4. Общегородской рынок и место мечети с минаретом (по В.А. Казаринову), 5. Улица с усадьбами кузнецов, 6. Караван-сарай с баней, 7. «Кузнечный маар» (район металлургов и кузнецов), 8. Район металлургов, 9. Район косторезов, 10. Район стеклодувов, 11. Район гончаров, 12. Древнее кладбище (III) X в., с XI в. Поселение внешнего города, 13. кладбище (I) XII-нач. XIII вв. (на месте поселка X-XI в.), 14. Кладбище (II), 15. Общегородское кладбище (V), 16. Кладбище при Соборной мечети (IV), 17. Пригородные поселения; Дороги: 18. к Щербенскому I городищу, 19-20. к г. Сувару, 21. к Старонохратскому и Красноключинскому городищам, 22. к г. Булгару, 22а. к Западно-Войкинскому городищу, 23. к г. Тухчин (Алексеевскрму городищу), 24. к г. Джукетау, 25. к Новошешминскому I и Екатеринино-Слободинскому I городищам, 26. к Барско-Енарусскинскому городищу, 27. Линия застройки с. Билярска, 28. Местонахождение юрты

Через территорию Биляра в период существования города протекали речки Билярка и Елшанка, впадавшие в р. Малый Черемшан. Перепад высот на территории города с юга на север составлял 1,4 м. При основании города были возведены два невысоких земляных вала, а к XII в. насыпан мощный вал высотой до 6-8 м. По верху вала была сложена дубовая стена, укрепленная в некоторых местах кирпичом [12, с. 28]. Эта внешняя линия обороны имела округлую в плане форму, образованную тремя параллельными валами и соответствующими им рвами. Наружный вал длиной 9,6-10,2 км отстоял от первых двух почти на 100 м. Рядом с ним был выкопан ров. Общая площадь кольца внешнего города без укреплений составляла 374,1 га, с укреплениями – 489,6 га. За пределами внешних укреплений с северо-восточной, восточной и южной сторон существовали пригороды, занимавшие территорию шириной до 900 м. Внутренняя система обороны состояла из двух валов и рвов. Первый вал протяженностью 4,86 км был насыпан при закладке города на высоту 2 м, основанием 10-11 м. В XII в. насыпь вала была подновлена и увеличена на высоту 1 м. Перед валом и воротами города был глубокий ров. Одновременно с ним был насыпан второй внешний вал внутренней системы укреплений длиной 5,4 км. Площадь внутреннего города составляла 116 га, с учетом территории под валами – 130,6 га. В центре внутреннего города находилась соборная деревянная мечеть, к востоку от мечети – комплекс обширных белокаменных сооружений, вероятно, дворца булгарских правителей (100 х 100 м) [12, с. 33].

Характер и расположение отдельных построек, руины которых просматривались на поверхности земли, позволили определить их расположение в структуре города. Установить планировочную структуру города не удавалось, поскольку археологически вся территория столь огромного города не исследовалась. Восстановить в общих чертах

пространственно-планировочную структуру древней столицы позволили материалы аэрофотосъемки 1973 г., опубликованные только частично, но любезно предоставленные автору доктором исторических наук Ф.Ш. Хузиным практически в полном объеме.

По материалам аэрофотосъемки установлена планировочная структура внутреннего города. Центром города служила площадь с соборной мечетью, к которой подходили широкие улицы, связывавшие ее с воротами внутреннего города, а от них с воротами внешнего города. От них отходили более узкие улицы и переулки. Археологи установили, что жилая усадьба с производственной мастерской занимала прямоугольный участок около 200 кв. м, огражденный забором, и включала бревенчатый дом и минимум дощатых построек и навесов. Такие усадьбы располагались вдоль дороги, образуя уличную застройку. В городе насчитывалось около 2500-3000 жилых домов, из которых во внутреннем городе располагались более 30 каменно-кирпичных зданий. В 300 м на юго-запад от соборной мечети находилась рыночная площадь с главной мечетью города, которую упоминали многие путешественники. Остатки ее наблюдал в XIX в. В.А. Казаринов [8, с. 101]. В укреплениях внутреннего города имелись башни с проездными воротами. На северо-восточной стороне укреплений было две проездных башни, на юго-восточной – четыре. Сколько проездных башен располагалось на северо-западной и юго-западной частях внешней оборонительной системы города, уничтоженных современной застройкой с. Билярска, установить невозможно.

В первой половине X в. к деревянной мечети была пристроена каменная 24-колонная мечеть с отдельно стоящим в 1,5 м от ее северо-западной стены или примыкавшим к ней через переход минаретом. С этого времени они стали, по сути, единым зданием с двумя залами. Тип многоколонных зальных мечетей был привнесен в регион из стран мусульманского Востока [14]. Однако при его применении учтены традиции региональной строительной культуры (использование деревянных конструкций и местного камня-известняка, наличие утепленных скатных крыш и тамбуров). Диаметр всего города в среднем составлял 2 км, внутренней части – около 1 км. Учитывая равнинный характер расположения города на местности, можно утверждать, что внутренняя застройка города была скрыта за валами и мощными деревянными стенами. Из-за них, вероятно, виднелись только завершения минаретов мечетей. Такая замкнутость от внешнего мира была характерна для средневековых городов.

Одновременно с Биляром в домонгольский период существовал небольшой город Булгар, расположенный в 6 км от основного русла Волги. Первоначально он занимал территорию в 12 га на мысу высокой коренной террасы, образованном прежним руслом Волги и большим оврагом, получившим позднее название – Иерусалимский. С напольной стороны в X в. он был окружен двумя рядами валов с деревянными стенами типа заплота и рвов. В отличие от Биляра, Булгар развивался на территории, издавно заселенной и освоенной различными племенами. О раннем появлении булгар на территории будущего города свидетельствовали остатки юрты [10, с. 6].

В 1236 г. булгарские города были разгромлены монгольскими войсками Бату-хана. Биляр больше не возрождался. Оставшееся население, очевидно, переместилось к северо-западу от прежнего города на 3,5 км и образовало поселение, входившее в комплекс Билярских и Балынгузских селищ эпохи Золотой Орды XIII – XIV вв. [3, с. 11-12]. Волжско-Камская Булгария как самостоятельное государство прекратила свое существование и была превращена в один из улусов Золотой Орды. Это явилось переломным моментом в развитии Булгарии, поскольку большинство булгарских городов не восстанавливалось, появилось пришлое кочевое население, изменилась материальная культура домонгольского периода, произошла смена языка и т.д. [4, с. 14-18].

В градостроительстве региона произошли изменения. На всех завоеванных территориях монголы запрещали возводить вокруг городов оборонительные сооружения. Валы Булгара были срыты, а рвы – засыпаны. Монголы, бывшие на первых порах существования империи язычниками, проявляли определенную веротерпимость на завоеванных территориях. В середине 40-х гг. XIII в. в центре Булгара возводится большая соборная мечеть по типу многоколонных зальных мечетей с портальным входом и примыкающим к северной стене большим минаретом. С.С. Айдаров считает, что Булгарская соборная мечеть была одноти пна с Билярской мечетью [1].

Интенсивные раскопки на территории города за последние тридцать лет позволили установить, что, став столичным городом Булгарского улуса Золотой орды, Булгар достиг небывалого расцвета. Территория города по сравнению с домонгольским периодом выросла в десятки раз. С середины XIII до второй половины XIV в. город интенсивно застраивался монументальными каменно-кирпичными зданиями. До настоящего времени от былого великолепия сохранилось всего несколько целых зданий: Черная палата, Малый минарет, Северный мавзолей, Ханская усыпальница. Видны руины Булгарской соборной мечети, Восточного мавзолея, Красной и Белой палат, которые были банями-хаммам. На кладбищах Булгара устанавливались усыпальницы-дюрбе центричной композиции по типу восьмерик на четверике, увенчанный куполом под шатром. Вход в них оформлялся портальной нишей. Мавзолеи такого типа имели широкое распространение в Средней Азии, Крыму, Закавказье и генетически восходили к мемориально-культовым постройкам Ближнего и Среднего Востока. Мавзолеи знати возводились на

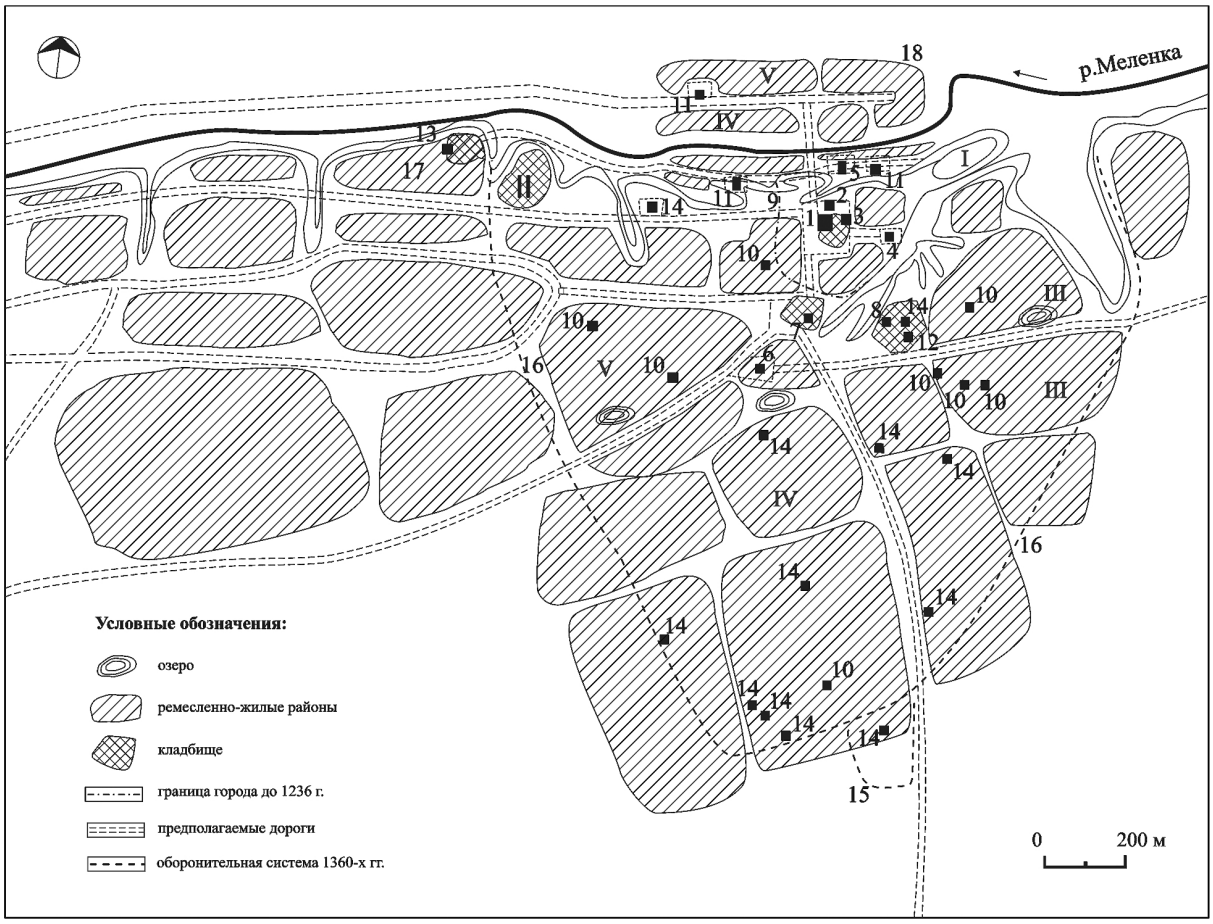


Рис. 2. Планировочная схема Булгара сер. XIV в.:
I. Коптелов бугор, II. Бабий бугор, III. Район с домами монгольского типа, IV. Район гончаров, V. Район металлургов, VI. Соборная мечеть, 2. Северный мавзолей, 3. Восточный мавзолей, 4. Восточная палата (баня), 5. Красная палата (баня), Белая палата (баня), 7. Черная палата, 8. Ханская усыпальница, 9. Граница города до 1236 г., 10. Мавзолей, 11. Баня, 12. Малый минарет, 13. Греческая палата (Армянский храм), 14. Руины каменных зданий, скрытых под землей, 15. Местоположение Малого городка после 1360-х гг., 16. Оборонительная система 1360-х гг., 17. Армянская слобода, 18. Русский поселок

площадях в центре города. Так Северный и Восточный мавзолеи-дюрбе располагались на площади рядом с Соборной мечетью. Это был один из первых архитектурных ансамблей города. В восточной части города на кладбище, рядом с Малым минаретом, в середине XIV в. была построена мечеть, очевидно, поминального назначения [10, с. 12]. Своеобразный колорит застройке города придавали общественные бани-хаммам, покрытые куполами и цилиндрическими сводами. Их располагали на береговой террасе, склоне и нижней части города. Город Булгар выделялся высокой для того времени степенью благоустройства. Перед мечетями, банями-хаммам устраивались мощеные площади с фонтанами, улицы имели деревянные мостовые шириной около 2 м, водоразборные бассейны, вода в которые подавалась по керамическим трубам из ближайших озер [10, с. 9-10].

Пространственно-планировочная структура Булгара обладала общими чертами с другими золотоордынскими городами. По материалам археологических раскопок установлено, что Булгар был открытым, без оборонительных стен, линейно-протяженным по высокому волжскому берегу городом (рис. 2). Его застройка широкой полосой тянулась практически до Ага-Базара, порта города [10, с. 8-9]. Продольными осями служил дороги, связывавшие его части города, пространственно разделявшимися оврагами, которыми был изрезан берег коренной террасы, с портом Ага-Базар. Застройка в этих частях была разной плотности и перемежалась, вероятно, как и в нижневолжских золотоордынских городах, загородными усадьбами знати с садами. Установлены районы проживания ремесленников определенной специализации. Так, на территории города располагались небольшие озера, вблизи которых концентрировались гончарные, металлургические и кузнечные ремесла. Однако жесткой градации местоположения ремесленных

районов определенного вида, как в восточных городах, не наблюдается. Восточная часть города, где располагалась площадь с Соборной мечетью и мавзолеями, была центральной частью с глубиной застройки до 2 км от береговой кромки. Город как бы стекал постройками по береговому склону и его подножию. На середине высоты берегового склона в продольном направлении тянулась улица, связанная с верхней и нижней частью города лестницами. Одна из них, расположенная на оси с Соборной мечетью, была каменной. На этой улице располагались кирпично-каменные бани, в том числе и Красная палата. У подножия берегового склона, за рекой Меленкой, располагался нижний район города, где также проживали ремесленники и находился русский квартал. В юго-восточном направлении за Иерусалимским оврагом сформировался обширный район с жилищами знати монгольского образца, где жилые дома имели суфы (в поздний период сэке в татарском жилище) и отапливались каннами.

Пространственно-планировочную структуру золотоордынского Булгара следует различать по двум периодам существования. Первый период охватывает сер. XIII – сер. XIV вв. Это период развития и расцвета города. В этот период сложилась квартально-уличная застройка города открытого типа, было построено большинство монументальных зданий с организацией площадей. Второй период пришелся на вторую половину XIV – первую треть XV вв. В 1360-е гг., когда мощь Золотой Орды ослабла в силу внутренних распрей и изменения международной обстановки, Булгарский улус стал объектом притязаний в династической борьбе за власть в отделяющихся регионах. Центральная часть Булгара была обнесена по живой ткани города оборонительными сооружениям в виде рва и вала, поверх которого были установлены деревянные стены по типу городней с проездными воротами и башнями. В 1370-е гг. город был взят войсками хана Булак-Тимура. Город восстанавливался в береговой полосе центральной части. На остальной территории города жилые районы восстановились только фрагментарно. Об этом свидетельствуют большие площади некрополей, появившихся в этот период. Поэтому в этих частях городища обнаружены остатки многих мавзолеев. На месте жилого района за Иерусалимским оврагом также образовался некрополь с мавзолеями, в том числе и Ханской усыпальницей. Даже в пределах оборонительных стен живой город занимал только треть территории. В 1431 г. Булгар был разгромлен войсками князя Федора Пестрого, потерял былое величие и значение.

После распада Золотой Орды в разных частях ее некогда огромной территории в первой половине-середине XV вв. образовалось несколько татарских ханств, одним из которых было Казанское со столицей в Казани.

Город Казань располагался на левом берегу р. Волги в 6 км вверх по течению ее притока р. Казанки. Древняя Казань возвышалась на высоком мысу, образованном Казанкой и ее левым притоком Булаком, связанным с оз. Нижний Кабан. С севера территорию города ограничивало русло Казанки, с северо-запада на юго-восток – протока Булак. Территории на правом берегу Казанки и в Забулачье, вплоть до Волги, были низменными, болотистыми и затапливаемыми в период весеннего половодья. Сердцем города была укрепленная крепость (внутренний город), к которой с востока, юга и юго-запада примыкал посад (внешний город). Казань относилась к мысовому типу города с укрепленной крепостью и посадом, который восходил к булгарской градостроительной традиции.

Раскопки в Казанском кремле последних лет подтвердили, что в Казани, ставшей столицей ханства, расширили крепость, возвели деревянные и белокаменные крепостные стены и башни. В «Казанской истории» (XVI в.) отмечается: «Казанский же царь Сафа-Гирей… повелел строить подле Булака острог – около посада, на Арском поле, между Булаком и рекой Казанкой, и копать рвы за острогом…» [7, с. 76]. Здесь речь идет о деревянных стенах, опоясавших посад Казани в 1530 году.

По упоминаниям в исторических источниках можно установить расположение пригородов, частей города и отдельных построек относительно рек, озер, рельефа местности, существующих и в настоящее время. С.С. Айдаров предположил, что для строительства белокаменных укреплений крепости внутреннего города в конце XV – начале XVI вв., по примеру Москвы, в Казань были приглашены итальянские архитекторы [1]. Заслуживает внимания гипотеза Н.Х. Халитова о существовании двух внутренних оборонительных поясов ханской крепости и сохранении ее габаритов в русский период [10, с. 57]. Это свидетельствует о сохранении основ пространственно-планировочной структуры ханской Казани в центральной части современного города. Исследования последних лет позволили уточнить пространственно-планировочную структуру крепости ханской Казани [9].

В целом, пространственно-планировочная структура города сформировалась на основе традиционного для региона мысового расположения в ландшафте. Она состояла из крепости с белокаменно-деревянными стенами и посада, опоясанного деревянными стенами. В северной части крепости располагалась защищенная белокаменной стеной ханская цитадель. Крепость являлась композиционной доминантой города и включала монументальные каменные здания ханского дворца, мечетей Кул-Шарифа, Ханской, Нур-Али, мавзолеев и другие сооружения. Каменно-кирпичные здания располагались и в посаде. Так, до XVII в. на берегу протоки Булак, вблизи р. Казанки сохранялась Даирова (Тагирова)

баня, напоминавшая своими формами булгарские общественные бани-хаммам. Изображение ее сохранилось на рисунке английского путешественника А. Дженкинсона. Основой формирования ландшафтно-планировочного каркаса ханской Казани служила гряда холмов, разделенных поперечными оврагами. По гребню холмов пролегала древняя главная коммуникация, начинавшаяся от ворот крепости Нур-Али (русских – Тайницких) и выходившая к Царским и Верхним Ногайским воротам посада (по направлению современной ул. Кремлевской). К северо-восточной стороне крепости подходит другая возвышенность – большой «язык» Арского поля, «просачивающийся» через узкий перешеек между крутыми склонами глубокого оврага (ул. Пушкина) и северного берега Казанки. На ней также располагался посад. Древней коммуникацией этой части посада служила Арская дорога, протянувшаяся от крепости до посадских Арских ворот (по направлению ул. К. Маркса). По другую сторону кремлевского холма, у его подошвы, ограничиваясь с юго-западной стороны Булаком, располагалась третья часть посада ханской Казани. Основная коммуникация ее тянулась от крепости к Нижним Ногайским воротам (предположительно в районе ул. Баумана). Поперечные коммуникации пролегали по дну оврагов, постепенно засыпавшихся. Пространственно-планировочная структура ханской Казани в своей основе сохранялась в Казани русского времени и отражена на дорегулировочном плане Казани А. Сацыперова 1730 г. (рис. 3).

Наличие обширных предполий города (Царского луга, Арского поля, водных пространств Казанки, Волги, о. Кабан) способствовало композиционному раскрытию и восприятию извне пространственной структуры города. Холмистый рельеф центральной части города с линиями поперечных водоразделов и расположением одной из главных магистралей города на его гребне задавали расположение на высоких точках рельефа архитектурных доминант в виде мечетей с минаретами в ханский период, затем на их местах церквей и монастырей в русский период.

Сравнение средневековых столичных городов региона показало, что каждый из них обладал характерной, отличной от предыдущих столиц пространственно-планировочной структурой. Изменения расположения столиц в системе расселения региона и их структур были вызваны военно-политическими коллизиями, обусловившими переломы эпох и новые направления развития градостроительной культуры Волго-Камья.

Создание в X в. на равнинной территории огромного по масштабам, столичного города Биляр с концентрической пространственной структурой, многорядными оборонительными системами отдельных частей города позволило перенести в Волжско-Камский регион ближневосточно-

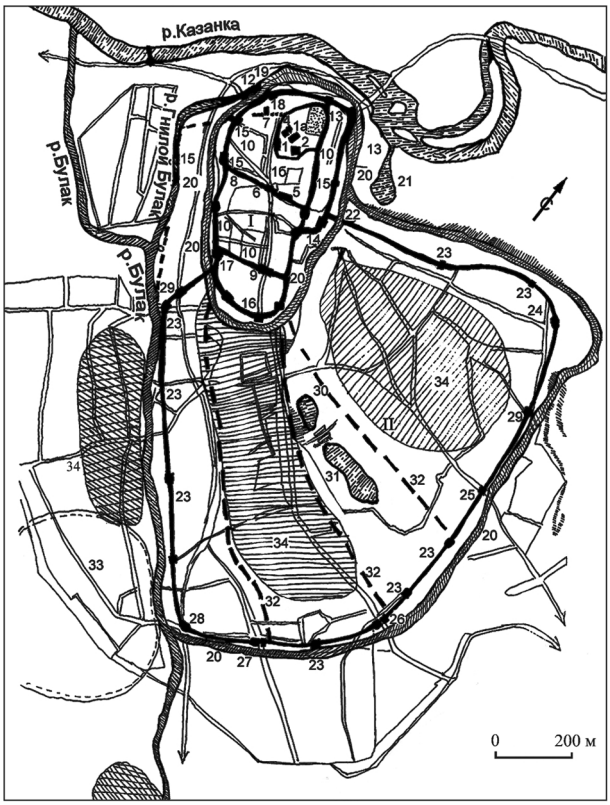


Рис. 3. Планировочная структура Казани сер. XVI в. (на основе плана А. Сацыперова нач. XVIII в.)
I. Крепость: А – ханский двор (1. Проездная башня, 2. Ханский дворец, 3. Ханская мечеть, 4. Ханские мавзолеи), Б – цитадель крепости (5. Мечеть и медресе Кул-Шарифа, 6. Проездная башня первой линии обороны, 7. Мечеть Нур-Али, 8. Белокаменная стена XIII-сер. XVI вв.), 9. Проездная башня предположительно второй линии обороны, 10. Улицы; Башни крепости: 12. Нур-Али, 13. Елбугина, 14. Сбойливая, 15. Безымянная, 16. Ханская, 17. Тюменская, 18. «Тайничный» ключ, 19. Даирова баня, 20. Ров, 21. Поганое озеро. II. Казанский посад, опоясанный деревянными стенами. Башни посада: 22. Проездная, 23. Безымянная непроездная, 24. Кайбатская, 25. Арская, 26. Царская (Ханская), 27. Верхняя Ногайская, 28. Нижняя Ногайская, 29. Аталыкова, 30. Белое озеро, 31. Черное озеро, 32. Возможное местоположение северо-западной части посадских стен, 33. Кураишева слобода, 34. Безымянная татарская слобода

мусульманские градостроительные традиции. Они были применены во взаимодействии с местными строительными традициями. Одновременное принятие в Булгарии на государственном уровне ислама обусловило распространение в регионе восточно-мусульманской типологии монументальных зданий (мечеть, минарет, дюрбе, караван-сарай, баня-хаммам), ставшей в регионе традиционной и использовавшейся в застройке городов Волго-Камья с X до середины XVI в.

Монгольское нашествие, последовавшее за ним разрушение градостроительной культуры Булгарии и включение региона в состав Золотой Орды обусловили

распространение в регионе золотоордынской общеимперской градостроительной культуры с открытыми линейно-протяженными городами, в которых сохранялись некоторые элементы градостроительной культуры предыдущего периода. Такая структура дополнялась в Булгаре каскадным расположением застройки (на берегу, склоне и подоле).

С распадом Золотой Орды и образованием Казанского ханства, в условиях непрекращающихся династических переворотов в градостроительной культуре региона важнейшей стала оборонительная функция городов. В регионе возрождается традиционный, мысовой тип города. Формируется столичный город с секторной пространственной структурой и однорядными оборонительными системами крепости и посада.

Сохранение региональных традиций в новых условиях развития каждого государственного образования проявлялось в восточно-мусульманской типологии монументальных зданий и традиционной деревянной жилой застройке городов. В X - середине XVI вв. в Волжско-Камском регионе Восточной Европы существовала развитая градостроительная культура, трансформация которой в постколлизийные периоды отражалась в новых пространственно-планировочных структурах столичных городов, сохранявших определенные региональные традиции и восточно-мусульманские черты.

В период с X до середины XVI вв. в градостроительную культуру Волжско-Камского региона Восточной Европы были интегрированы отдельные достижения градостроительства и архитектуры стран Мусульманской цивилизации, получившие дальнейшее развитие в синтезе с региональными традициями в организации поселений и срубно-деревянного зодчества.

Литература

1. Айдаров С.С. Монументальные каменные сооружения и комплексы Волжской Булгарии и Казанского ханства (опыт реконструкции и генетико-стилистические особенности): дис. … доктора архитектуры / С.С. Айдаров. – М., 1990. – Т. 1. – 422 с. Т. 2, ч. 1-81 л. Т.2, ч. 2. – 82-164 л.
2. Архитектура стран Средиземноморья, Африки и Азии VI-XIX вв. // Всеобщая история архитектуры. – Т. 8. – М., 1969.
3. Ахметгалин Ф.А. Балынгузское (Торецкое) III селище / Ф.А. Ахметгалин // Биляр и Волжская Булгария. Изучение и охрана археологических памятников. Тезисы научной конференции. Билярск, сентябрь 1997 г. – Казань, 1997. – С. 11-12.
4. Беговатов Е.А. Балынгузское IV селище / Е.А. Беговатов, А.Ф. Кочкина, Д.А. Сташенков // Биляр и Волжская Булгария. Изучение и охрана археологических памятников. Тезисы научной конференции. Билярск, сентябрь 1997 г. – Казань, 1997. – С. 14-18.
5. Игонин Н.И. Опыт применения авиации при изучении Билярского городища и его окрестностей / Н.И. Игонин, А.Х. Халиков // Советская археология, 1975, № 1. – С. 102-108.
6. Исследования Великого города. – М.: Наука, 1976.
7. Казанская история. Новое сказание, вкратце повествующее о начале Казанского царства, и о войнах с Казанскими царями Великих Московских князей, и о победах, и о взятии Казанского царства // Древняя Казань глазами современников и историков. – Казань, 1996.
8. Казаринов В.А. Описание Билярских и Баранского городищ / В.А. Казаринов // ИОАИЭ. – Т. III. – Казань, 1884 – С. 89-127.
9. Ситдиков А.Г. Казанский кремль: историко-археологическое исследование / А.Г. Ситдиков. – Казань, 2006. – С. 188: ил.
10. Смирнов А.П. Новые данные об исторической и социальной топографии города Великие Болгары / А.П. Смирнов // Города Поволжья в средние века. – М.: Наука, 1974. – С. 4-13.
11. Халитов Н.Х. (Нияз Халит). Очерки по архитектуре ханской Казани. Гипотезы. Факты. Размышления / Н.Х. Халитов. – Казань, 1999.
12. Халиков А.Х. История изучения Билярского городища и его историческая топография / А.Х. Халиков // Исследования Великого города. – М.: Наука, 1976.
13. Шпилевский С.М. Древние города и другие булгаро-татарские памятники в Казанской губернии / С.М. Шпилевский. – Казань, 1877.
14. Martin Frishman, Hasan-Uddin Khan. «The mosque». History, architectural development & regional diversity. – Thames and Hudson Ltd., London, 1994, – reprinted Singapore, 1997.

УДК 72.03 (470.40)

Г.Г. Нугманова – кандидат искусствоведения, заместитель директора
Тел.: 89033132239, e-mail: architec@mi.ru
Казанское представительство Научно-исследовательского института теории архитектуры и градостроительства Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИТАГ РААСН, Москва)

АРХИТЕКТУРА ВОЛГО-УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА: ПОСТКОЛОНИАЛЬНЫЙ ВЗГЛЯД НА РОССИЙСКУЮ ИМПЕРИЮ*

АННОТАЦИЯ
В статье рассматриваются возможности применения методов и представлений, выработанных современной гуманитарной наукой, в области архитектурно-градостроительной деятельности на примере Волго-Уральского региона. В частности, система подходов, известная как постколониальные исследования, представляется эффективной при изучении региона со значительным этническим и иноверческим составом населения, позволяющей адекватно рассматривать происходившие явления в истории русской культуры имперского периода.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: архитектура Волго-Уральского региона, этно-конфессиональный состав населения, постколониальные исследования.

G.G. Nugmanova – candidate of fine art, deputy director
Tel.: 89033132239, e-mail: architec@mi.ru
Kazan representatives the Research Institute of the Theory of Architecture and Town Planning of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIITAG RAASN, Moscow)

THE ARCHITECTURE OF VOLGA-URAL REGION: POSTCOLONIAL VIEW ON RUSSIAN EMPIRE*

ABSTRACT
The methods and conceptions of modern humanities using possibilities are considered in the field of Architectural and Town Planning on the example of Volga-Ural region. The Post-colonial studies approaches appear to be effective in the researching of the region with polyethnic and polyconfessional population.

KEYWORDS: the Architecture of Volga-Ural region, polyethnic and polyconfessional population, the Post-colonial studies.

Провинциальное архитектурно-градостроительное наследие, как правило, представляют как локальную разновидность магистральной линии развития общероссийской архитектуры, объясняя его особенности местной традицией, историческими, природно-географическими факторами и т.д. Исследования чаще всего носят описательный характер, ограничиваются констатацией фактов проявления местного своеобразия в рамках архитектурно-художественных стилей и временного отставания по сравнению со столицами. Подобные подходы отражают лишь результат и не позволяют увидеть глубину и суть происходивших явлений.

При изучении российской культуры имперского периода чрезвычайно интересную картину дают методы и представления, выработанные современной гуманитарной наукой, в частности, активно развивающееся в настоящее время антропологическое прочтение истории власти и управления Российской империей [1].

Настоящая работа посвящена Волго-Уральскому региону XIX – начала XX века. Цель ее – обсуждение архитектурно-градостроительного процесса в контексте колониальной политики XIX века. В нем участвовали две стороны. Одна из них – российский центр, располагавший властными полномочиями, большим числом профессиональных идеологов, политиков, архитекторов и т.п., и, что не менее важно, имевший явную цель внедрить по всей стране идеи и образцы культуры, сформированные в столицах. Другая сторона – провинциальное общество рассматриваемого региона. Оно не вступало в спор с центром и по возможности следовало его указаниям, но сам способ выполнения этих указаний содержал в себе неявный ответ на культурные манифесты центра и зачастую вызывал определенную реакцию в столицах.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта “Архитектура и градостроительство Среднего Поволжья и Приуралья в XIX - начале XX века” (проект № 08-04-00378 а).

Именно имплицитность провинциального ответа создала ситуацию, когда диалогический характер архитектурно-градостроительного процесса в России не привлекал до сих пор внимания исследователей. Важно отметить, что население данного региона содержало значительный в численном отношении этнический и иноверческий компонент. Последнее обстоятельство меняло природу любых общественных процессов в регионе, привнося в них элемент межконфессиональных и межэтнических отношений. Это неизбежно касалось и архитектурно-строительной проблематики.

Нам представляется, что разработанная в мировой гуманитарной науке система подходов, известная как постколониальные исследования (postcolonial studies), позволяет адекватно раскрыть рассматриваемые нами явления в истории русской культуры. Отметим, что колониализм здесь понимается как явление не столько экономическое, сколько как культурное. В общих чертах оно сводится к тому, что обладающий властью центр империи связывает свою власть со знанием и считает необходимым распространить это знание на все колонизируемое пространство. Отношения российского центра и российского общества обычно характеризуют в таких терминах, как патернализм, ориентализм, колониализм и т.д.

Патернализм, как уподобление общественных отношений отношениям в патриархальной семье, часто приобретал популярность на поворотах российской истории. Вероятно, это более понятное явление, чем колониализм или ориентализм. В отличие от них концепция патернализма относится, скорее, к словесной оболочке власти, чем к практическому ее осуществлению. Однако в связи с темой данного исследования стоит отметить, что в схеме «царь – отец, а православные – его дети» для неправославного населения оставалось в лучшем случае место пасынков.

Вышедшая в 1978 году книга Эдварда Вади Саида «Ориентализм. Западные концепции Востока» стала событием в западной гуманитарной науке [2]. Темой этой книги стал не сам ориентализм в классическом смысле этого слова, то есть корпус научных данных об истории и культуре Востока, и не история формирования этого корпуса. Она посвящена критическому исследованию сложившейся в европейской (в основном британской и французской) и американской науке традиции изучения Востока, носящей по преимуществу имперский характер. Основной тезис Саида состоит в том, что западные исследователи изучают не презентации, а репрезентации восточной культуры и истории, иначе говоря, любой факт в этой области воспринимается через призму сложившихся на западе имперских представлений. Для Саида ориентализм – это не научная дисциплина, а сложившийся дискурс.

Нельзя сказать, что такая позиция была заявлена впервые именно Саидом. Многие западные интеллектуалы высказывали подобные мысли после Первой мировой войны и особенно часто после крушения колониальных империй в середине двадцатого века. Но, как уже говорилось, именно книга Саида стала событием. Конечно, это обусловлено главным образом тем, что в ней эта позиция заявлена очень ярко и снабжена разветвленной системой примеров и обоснований. Но немалую роль сыграла и личность автора. Палестинский араб-христианин с блестящим западным образованием, профессор ряда американских и европейских университетов, несколько лет был заместителем Ясира Арафата в руководстве организации ФАТХ. Во всяком случае, считается, что именно книга Саида положила начало современным postcolonial studies.

Саид довольно четко очерчивает предмет своей работы. Под Востоком в ней понимаются арабские страны и Индия, а под Западом – Великобритания, Франция, США и (в меньшей степени) Германия. Однако по мере роста популярности его концепции границы стали размываться. Например, в прошлом году в Алма-Аты состоялась конференция на тему «Восточный Ориентализм», посвященная современному искусству азиатских стран, появился термин «оксидентализм», означающий репрезентации западной культуры на Востоке и т.п. Основной тезис Саида состоит в том, что западные исследователи изучают не презентации, а репрезентации восточной культуры и истории. Иначе говоря, любой факт в этой области воспринимается через призму сложившихся на западе имперских представлений. Многие из его наблюдений и выводов справедливы и для России. Например, о том, что ориентальное знание одновременно является властью.

Рассмотрим различные аспекты и преломления идей Саида применительно к имперской России.

Саидов ориентализм генетически связан с колониализмом. Как уже отмечалось, нас в первую очередь интересуют не экономические, а культурные аспекты колониализма. Они основаны на культурной дистанции между теми, кто осуществляет колонизацию, и теми, кто ей подвергается. Эта дистанция маркируется разными средствами – расовыми, этническими, религиозными, юридическими и т.д., которые, выступая в роли знаков-различий, выстраивают необходимую дистанцию между властителями и подданными. Работа с этой культурной дистанцией, манипулирование ей является ключевым элементом всякой колониальной политики.

В многонациональной и многоконфессиональной России значительная культурная дистанция существовала между русскими (православными) и инородцами. Здесь знаки-различия, необходимые для имперской администрации как коды «свой-чужой», наиболее очевидны и понятны.

Однако не менее значительной была культурная дистанция между правящими и низшими классами, относящимися к одной этнической группе. Эта дистанция также обозначалась маркерами. Самый яркий, по-видимому, пример представляет петровский эксперимент с бородами. Со временем классовый контраст только усилился, и знаки-различия касались теперь и языка (иноязычие верхов), религии (раскольничество низов), существовали и юридические различия (телесные наказания для низов и тюремная система для верхов). Впрочем, процесс шел неоднозначно. Иногда идеи народности становились главенствующими и культурные различия российской элиты и православных низов в чем-то сглаживались.

Следовательно, колониализм и ориентализм, как его отражение в культуре, в России носили двоякий характер. Во-первых, они существовали в обычном смысле колонизации Востока Российской империей. Здесь в качестве Востока выступали завоеванные народы, представлявшие традиционный предмет ориентализма. В другом случае оппозиции Запад-Восток соответствовала оппозиция Государство (как носитель власти и культуры) – с одной стороны, и Народ, подлежащий просвещению, то есть, в сущности, той же колонизации.

Особенность России, которую отмечают историки, заключалась в том, что в культурном, социальном и экономическом отношениях империя развивалась снаружи вовнутрь («В России центр на периферии», – писал Ключевский). Центры располагались по географической периферии, оттуда цивилизация распространялась в центр. Российские губернии подразделялись на внешние и внутренние, и государственная политика в отношении них очень сильно разнилась. Первые из них находились в более благоприятных условиях. Они (Польша, Финляндия, Среднеазиатские Эмираты) имели определенные налоговые льготы и некоторые законодательные послабления по сравнению с великорусскими губерниями. Это необычно для классической колониальной ситуации, но вполне соответствует имперской логике, когда удержание завоеванных территорий имело самостоятельную ценность. В результате основные колонизационные усилия империи были направлены именно в центральные губернии и в Сибирь.

Этот российский путь колонизации, направленный не вовне, а внутрь метрополии, определяется термином «внутренняя колонизация», впервые употребленным по отношению к России еще в XIX столетии в западной науке (Август Гакстгаузен, The Russian Empire, it's People, Institutions, and Resources, London, 1856). В современной историографии Петровские реформы были представлены как «уникальный акт самоколонизации русского народа», и термин «самоколонизация» имеет тот же смысл (Гройс Б. Имена города // Гройс Б. Утопия и обмен. М., 1993). Романом внутренней колонизации называет А. Эткинд русскую литературу XIX столетия. Он пишет: «Главные пути российской колонизации были направлены не в Польшу и даже не в Башкирию, но в тульские, поморские, оренбургские деревни. Сюда направлялись местные паломники в страну Востока. Здесь открывали общину, записывали фольклор, выявлялись старинные обычаи, странные секты. В российских столицах известия о новых экзотических открытиях воспринимались так же, как в европейских с одной лишь разницей – этот экзотический народ был своим и говорил на том же языке. Россия колонизовала саму себя, осваивала собственный народ. Народ был Другим, хотя и говорил на русском языке, но те же слова произносил иначе и вкладывал в них иной смысл. Миссионерство, этнография, экзотические путешествия, характерные явления колониализма, в России были обращены внутрь собственного народа» [3].

Таким образом, в конструкции, предложенной Саидом, в данном случае Востоком выступает российская глубинка, российская провинция.

Однако этот Восток расщеплен надвое. Значительная часть внутренних российских территорий была населена инородцами, например, Волго-Уральский регион, присоединенный еще в XVI в. Абсолютное большинство населения его населения составляли коренные жители, этнические инородцы – татары, чуваши, марийцы, мордва, удмурты, башкиры. Поэтому проводимая здесь политика может быть отнесена, скорее, к традиционному типу внешней колонизации. Вероятно, А. Эткинд прав в отношении башкир, поскольку российская империя быстро оставила почти бесполезные попытки внедрения своих культурных нормативов в среду кочевых народов. Власть ограничилась обозначением своего присутствия на линиях, отделяющих киргиз-кайсацкие орды, выстроив в местах культурных контактов 4 каменные мечети по имперскому образцу (городах Оренбурге, Верхнеуральске, Троицкой и Петропавловской крепостях).

Но колонизация оседлых инородцев шла полным ходом. Показателен проект Азиатской Академии, разработанный в 1810 г. С.С. Уваровым и предназначенный к «исправлению состояния побежденных» народов с помощью такого сочетания просвещения и религии, которое способствовало бы образованию и благоденствию побежденных» [4]. Налицо описанный Саидом ориенталистский подход, сформулированный представителем имперской власти. Проект не был реализован, но основные его идеи были воплощены во внутренней политике Министерства просвещения, которое С.С. Уваров позднее возглавил. Основанные в Казани сначала гимназия (при Московском университете), а затем в 1804 г. университет, ставший третьим императорским, стали подлинными очагами имперской науки о собственном Востоке. Здесь готовили имперских

администраторов. В своей речи, посвященной десятилетию Министерства просвещения, С.С. Уваров отметит, что в области восточной словесности «между всеми университетами европейскими, казанский есть первый», особо отметив тот факт, что в нем к «государственной надобности обучаются на казенном содержании особые воспитанники» для определения в качестве должностных лиц [5, с. 23]. Восточное отделение прославилось своими ориентальными коллекциями и учеными-востоковедами настолько, что поставляло кадры в столичный университет, а в советское время там оказались и его коллекции.

Что касается религиозного просвещения инородцев центральных губерний России, то часть их к моменту завоевания исповедовала язычество, а другая часть – ислам, утвердившийся здесь с X века. Завоевание этих народов сопровождалось насильственным крещением. Но постепенно волна массовой христианизации инородцев стихла настолько, что, как оказалось два века спустя после завоевания, вопреки запрету в Казанской губернии было выстроено 418 мечетей, а вместе с возведенными еще до завоевания 118 действовало 536 мечетей. Язычество также процветало.

Новый всплеск в середине XVIII в. отличался поистине имперской жестокостью и оставил в народной памяти воспоминания, незабываемые на протяжении всего последующего времени и вытеснившие даже события XVI в. Интересы экономического развития и внешней политики заставляли метрополию проявлять гибкость и, в какой-то мере, идти на уступки. Однако когда инородческий регион поддержал Пугачева, имперский страх заставил забыть об объявленной веротерпимости. Власть создала институты для управления жизнью мусульманского населения под своим пристальным наблюдением. Духовное магометанского закона собрание было размещено подальше от мусульманского центра, русской Уфе. В Казани жизнью мусульманского населения управляла Татарская ратуша. Впрочем, несмотря на предпринятые усилия, во время турецких войн мусульманское население поддерживало единоверцев, мечтая об освобождении и обращении всех русских в магометанство. Созданные Институты сыграли консолидирующую роль в формировании татарской нации.

Существовали определенные различия в процессах колонизации регионов, населенных мусульманами и язычниками. Завоеватели очень долго не различали эти религии и проводили одинаковую политику насильственной христианизации. Различать их стали лишь ближе к середине XIX столетия, когда язычники были успешно крещены (хотя бы формально), а тщетность попыток массового обращения мусульман в христианство стала очевидной. Образовавшаяся относительно немногочисленная группа кряшен (крещенных татар) отличалась крайней неустойчивостью, готовностью при первой же возможности возвратиться в мусульманство. Мусульманство получило широкое распространение и среди языческих инородцев. Ислам стал соперничать с официальной религией, обращая в свою веру инородцев.

Результатом осознания неискоренимости и даже опасности ислама стала организация его изучения на специальном отделении во вновь созданной в Казани Духовной Академии. Красноречивы труды – «Религиозные обряды и обычаи у татар-магометан», «О татаризации инородцев Приволжского края», «О татарских мечетях», «Конфессиональные школы казанских татар», «О необходимости инородческих миссионеров в деле христианизации края» и т.д.

Чисто колонизаторским и в какой-то мере ориенталистским был один из самых грандиозных по масштабу и размаху проектов российских властей в области архитектуры и градостроительства – урегулирование поселений и внедрение образцовых фасадов в соответствии с западными идеалами. Реализация проекта, рассчитанного на преобразование огромной страны, растянулась более, чем на два столетия.

Образцовый проект мечети 1829 г., напоминающий древнебулгарские памятники, основан, если оперировать терминологией Саида, на западной репрезентации образа мечети, на ориентальном знании власти. Обращение к наследию отечественного средневековья при проектировании храмов соответствовало западной архитектурно-градостроительной концепции, которой следовали и в России. Однако Власти неизвестно было настоящее Востока, который изменился со времен завоевания, в частности, утратил традиции монументального архитектурного зодчества. В период гонимого ислама выработался другой тип храма, ставший теперь традиционным. Две построенные по образцу 1829 года мечети были возведены на казенных заводах за казенный счет, в то время как абсолютное большинство мечетей (которые были, хотя бы по одной, в каждой деревне, где проживали мусульмане), соответствовали сложившейся в регионе более поздней традиции.

Несоответствие традиции, дороговизна и сложность строительства мечетей по имперскому образцу вынудила мусульман в 1843 г. обратиться с посланием в метрополию. Мусульмане попросили утвердить для них другие, более приемлемые образцы мечетей. Проекты, разработанные в Духовном управлении мусульман, сопровождались словесным описанием традиционной мечети, которая должна была быть «в простейшем виде, сообразно обычаю магометан, числу прихожан и их строению, а именно: вместо крестообразного здания, какое означено на образцовом плане предоставить строить мечети из двух и трех комнат в ряд с особым позади здания местом для муллы (михрап) и на переди с крытым крыльцом, а наверху здания минаретою для провозглашения азана». Позднее описанное традиционное устройство мечети

было открыто в этнографических исследованиях той же Духовной Академии.

В сопровождавших послание проектах минареты, врезанные в коньки крыш, отличались хорошими пропорциями и членениями, выработанными в ходе длительной строительной практики. Однако фасады с запоздалыми, примитивно воспринятыми классицистическими формами «для большей правильности и благовидности» были в столице переделаны. Новые образцы с куполами и отдельно поставленными минаретами, которых предполагалось один, два или четыре, также отсылали к историческим прототипам, только в данном случае – к арабской средневековой архитектурной традиции. Вновь образ Востока создавался не на основе реального, существующего собственного Востока, а опирался на давно сложившиеся представления о далеком иностранном Востоке. И вновь имперские образцы оказались мало востребованными. Указ 1862 г. отменил обязательное следование образцовым проектам и разрешил строительство мечетей по планам и фасадам, «какие прихожанами будут признаны удобными».

Результатом ориенталистского изучения собственного русского народа стало открытие его культуры, в том числе традиционного зодчества, и, как следствие, широкое распространение влияния деревянной крестьянской архитектуры на гражданскую архитектуру российских городов.

Очевидно, что колониальную конструкцию можно распространить на широкий круг российской имперской архитектурно-градостроительной практики. В Волго-Уральском регионе с разнообразным этноконфессиональным составом населения и значительным процентом государственных крестьян социальные и культурные контрасты еще более усиливаются, субъекты и объекты колонизации еще более поляризуются. Использованные подходы, характеризующие постколониальные исследования, дают возможность описать такие тонкие культурные явления, как возникновение локальной версии ориентального дискурса из политических и экономических реалий и последующее его влияние на культурный процесс.

Литература

1. Ричард С. Уортман. Сценарии власти: мифы и церемонии русской монархии. Т. 1. От Петра Великого до смерти Николая I. – М., 2002; Янов А. Россия и Европа. Книга вторая. Загадка Николаевской России, 1825-1855. – М., 2007.
2. Эдвард В. Саид. Ориентализм. Западные концепции Востока. – СПб., 2006.
3. Эткинд А. Фуко и тезис внутренней колонизации: Постколониальный взгляд на советское прошлое // НЛО, 2001, № 49. – С. 50-74; Он же: Русская литература, XIX век: Роман внутренней колонизации // НЛО, 2003.
4. Уваров С.С. Речь президента Академии наук. – СПб., 1818.
5. Уваров С.С. Десятилетие Министерства народного просвещения. 1833-1843. – СПб., 1864.

УДК 72.03:726(47+57)
Нияз Халит – доктор архитектуры, профессор
E-mail: niaz_halit@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

К РЕКОНСТРУКЦИИ ПЕРВОНАЧАЛЬНОГО ОБЛИКА МАЛОГО МИНАРЕТА В БОЛГАРАХ

АННОТАЦИЯ
Исследование посвящено реконструкции первоначального облика золотоордынского минарета в г. Булгар на основании анализа общих пропорциональных и стилевых закономерностей минаретов сельджукского стиля.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: минарет, сельджукский, стиль, пропорции.

Niyaz Halit – doctor of architecture, professor
E-mail: niaz_halit@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

SOMETHING ABOUT RECONSTRUCTION OF THE KECHE MANARA IN MEDIEVAL BULGAR

ABSTRACT
The study is focused on reconstruction of the initial appearance of one of the Minarets of Golden Horde period in Bulgar city (Volga area, 14-th century) on the basis of the analysis of the overall proportional and style patterns of the minarets of Seljuk epoch.

KEYWORDS: minaret, Seljuk, style, proportions, patterns.

Кече Манара на городище Булгар, кажется, единственный сохранившийся в относительной целости золотоордынский минарет в Поволжье, датированный в литературе 14 веком, временем расцвета мусульманской культуры империи.

Кече Манара относится к типу отдельно стоящих, что уже само по себе относит его к достаточно редким памятникам зодчества. Отдельно стоящие минареты могли нести различные функции:

1. Сопровождать здания мечетей различных типов, в т.ч. и открытых (мусалла),
2. Служить мемориальным целям,
3. Играть роль дозорной башни.

В настоящем случае минарет, находящийся на территории комплекса из нескольких прямоугольных дюрбе и не имеющий видимых следов существования рядом здания мечети, является элементом довольно редко встречающегося мемориального ансамбля, по-видимому, особой значимости, на что указывает и его название (т. наз. Ханская Усыпальница) (рис. 1). По крайней мере, в огромном большинстве подобных мемориальных комплексов, даже весьма значительных – таких, к примеру, как Шахи-Зинда в Самарканде или Багауддин под Бухарой, никаких минаретов нет.

К сожалению, подлинного названия этой башни не сохранилось. Возможно, его и не было, если он был принадлежностью поминальной мечети при Ханской усыпальнице. Сегодня же, после утраты целостности комплекса и его окружения, минарет выглядит как отдельная от всего башня не очень понятного назначения. К сожалению, незаурядная архитектура золотоордынского Булгара, связанная с его столичным статусом и богатой историей, не имеет никакой документальной поддержки и может быть пока расшифрована только как материализованная идея неизвестных зодчих на основе анализа сохранившихся сооружений и их остатков.

В стилевом отношении Кече Манара – типичный образец сельджукизма, распространившегося в течение 10-14 вв. на огромных пространствах от Средиземноморья до Поволжья, преимущественно на территориях тюркских государств и империй: сельджукидов, булгар, газневидов, караханидов, ширваншахов, чингисидов и др. Композиция башен “сельджукского стиля” основывалась на гармоничной взаимосвязи ряда простых геометрических объемов: прямоугольных параллелепипедов, цилиндров, призм, конусов и др. Немалую роль играли выразительная структура и характер каменной кладки. Художественный образ создавался за счёт выразительного силуэта и игры светотени на гладких белых гранях и плоскостях, сложенных из тщательно выложенных блоков – квадров. Сравнительно немногочисленные, но тщательно разработанные

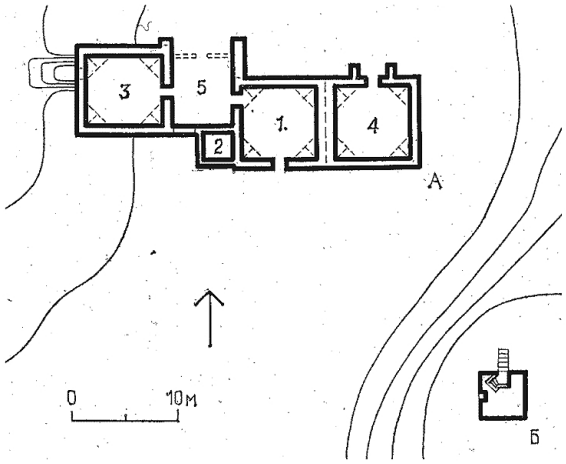


Рис. 1. Комплекс Ханской Усыпальницы на Булгарском городище: а) современное фото;
б) план комплекса, рис. С.С. Айдарова

элементы архитектурного убранства (входные порталы, оконные и дверные наличники, капители колонн, михраб) выделялись продуманным размещением на фоне глади каменной кладки и пластикой рельефа, создающими эффектную игру светотени [1, с. 8]*. Именно так скомпонован Кече Манара: куб с треугольными скосами, уплощенный восьмигранник, массивный угоняющийся цилиндр, шерефе, малый цилиндр, конус.

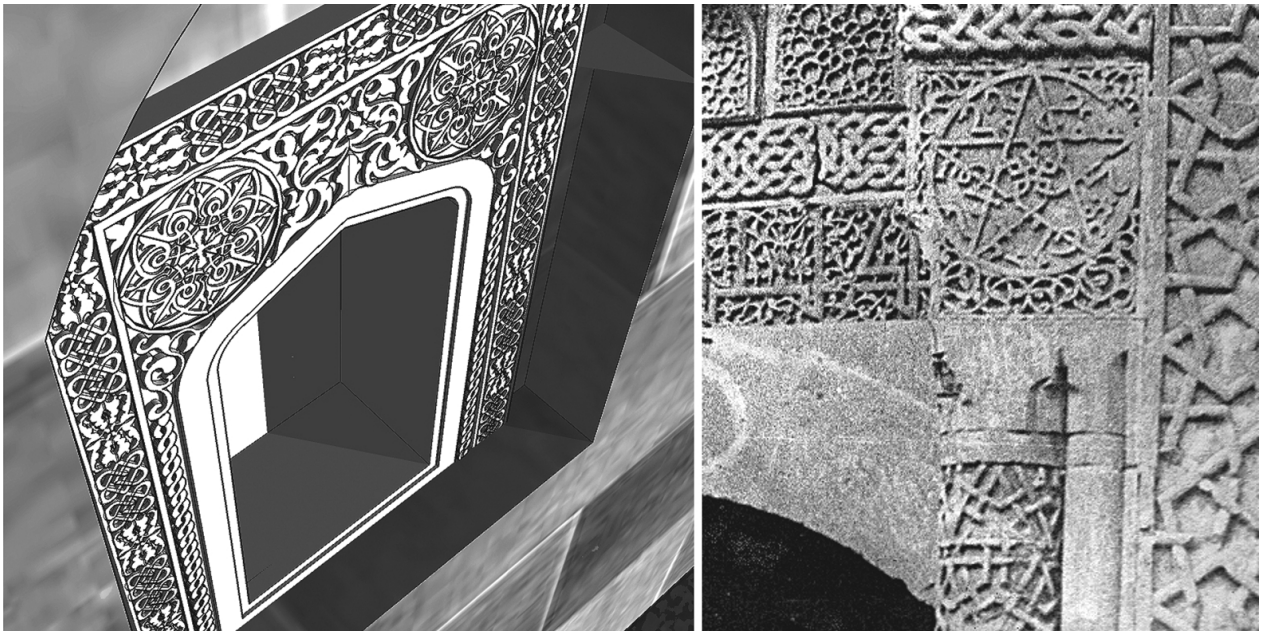
В то же время пропорции минарета достаточно необычны. Для сельджукского стиля, особенно в его иранском варианте, характерны чрезвычайно вытянутые пропорции башен, даже в двухъярусном решении, как в нашем случае. У булгарского же Кече Манара пропорции иные, можно сказать, уникальные. За исключением нескольких минаретов агульской группы в горном Дагестане [3, с. 108; 4, с. 233-239], нигде более таких башен не наблюдается. (Впрочем, эти сооружения, хотя внешне и сходны с сельджукскими, могут быть причислены скорее к местному народному зодчеству, чем к архитектурным проявлениям сельджукизма как стиля, и относятся к гораздо более позднему времени. Едва ли их можно считать корректными аналогиями нашему памятнику). Приземистые пропорции дагестанских минаретов несложно объяснить их возвышенным положением на склоне или вершине горы, наш же минарет расположен на ровной местности в окружении немалых по величине каменных дюрбе (а в прошлом, вероятно, и других зданий и сооружений, деревьев), скрывающих более половины его высоты. Нестандартные пропорции и недостаточная высота сооружения вызывают вопросы. Этому должны быть какие-то объяснения. Заставляет задуматься и отсутствие традиционного шерефе или площадки муэдзина. Вместо них мы видим неширокий пояс вокруг верхнего яруса, непригодный для чтения азана, и открытый проем лишь на южную сторону на вершине внутренней винтовой лестницы, в то время как архитектура минарета как функционального сооружения предполагает обязательную возможность обращения во все стороны.

Нижний ярус башни, весьма качественный по своей архитектуре и уровню отделки, говорит о высоком уровне владения стилем, а статус места как одного из значимых мемориалов бывшей столицы Золотой Орды предполагает соблюдение стандартов стиля в его лучших образцах, в том числе и в пропорциях, которые в современном виде башни явно нарушены.

Есть в архитектуре Кече Манара и другие загадки. Речь о необычной нише на поверхности нижнего четырехгранного яруса, украшенной орнаментальной резьбой и арабской надписью (в прошлом). Ниша выглядит как михраб, но сориентирована не на кыйблу, а на запад, назначение ее неизвестно. Детали ее декоративного оформления по технике резьбы и декоративным мотивам весьма архаичны и близки к оформлению некоторых памятников Румского султаната конца 12 - начала 13 вв.** (рис. 2). Однако, несмотря на сходство рисунков (розетки, орнаментальные бордюры), резные детали здесь вполне индивидуальны и трактованы достаточно оригинально, что позволяет отнести их к произведениям булгарского искусства золотоордынской эпохи (рис. 3). Возможно, архаичность рисунка и техники резьбы не случайны и отражают местную традицию, цитируя какие-то не дошедшие до нас образцы. Такие же суждения можно высказать и относительно входа в минарет, украшенного характерным для сельджукского

* Кирпичные минареты этого стиля, сохраняя общие композиционные закономерности, имели более затейливую обработку поверхности в виде выпуклых орнаментов, разнообразных жгутов и плетенок, особенно начиная с 13 века.

** Мавзолей Мама хатун в Теркане, Турция (1192 г.).



а) б)

Рис. 2. Ниша на западном фасаде минарета, техника резьбы
а) реконструкция автора; б) *аналогия*: Мавзолей Мама хатун в Теркане, Турция (1192 г.). Деталь входа

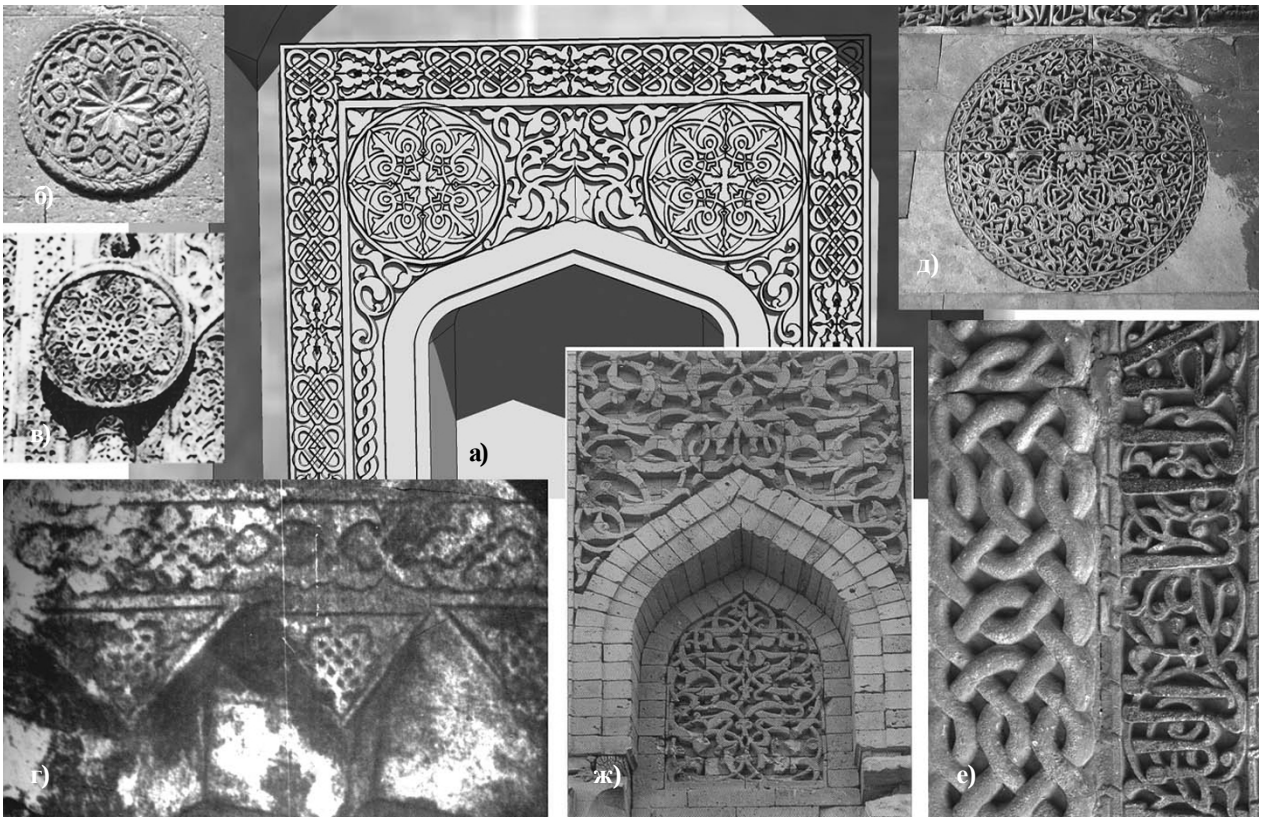
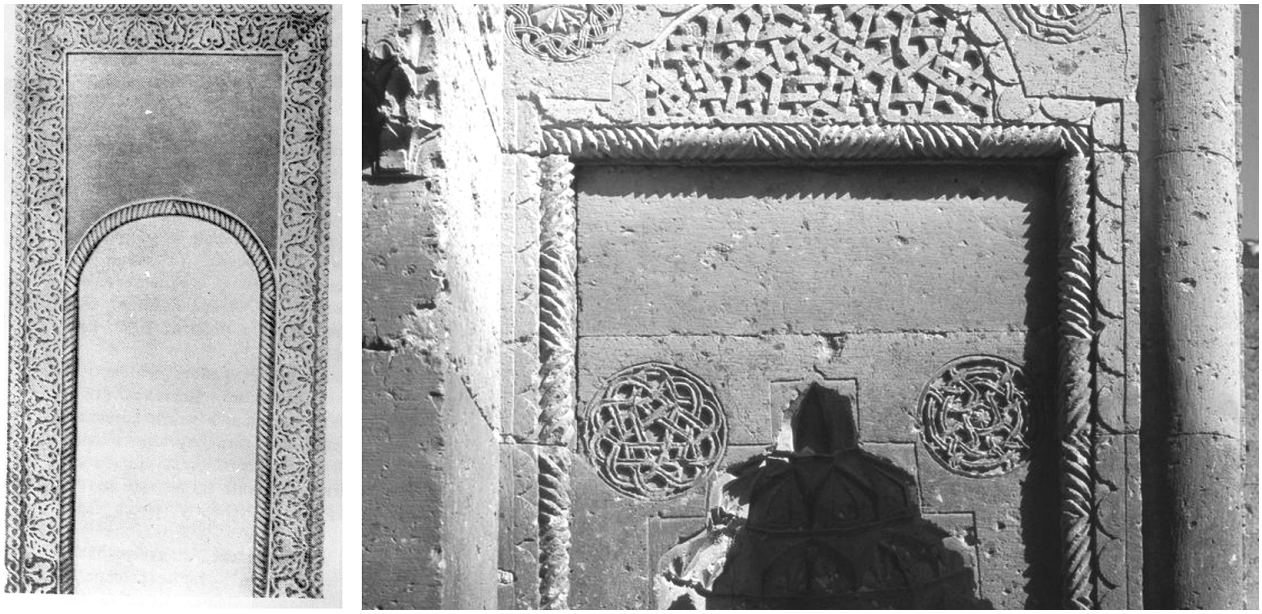


Рис. 3. Ниша на западном фасаде минарета, декоративная розетка и орнаментальный бордюр:
а) рисунок автора; б) *аналогия*: Султан хан на дороге Аксарай-Конья, Турция (1229 г.). Деталь михраба мечети; в) *аналогия*: Буручие медресе, г. Сивас, Турция (1271 г.) Деталь входного портала; г) *аналогия*: Деталь неизвестного здания и из г. Сарай Берке. Золотая Орда, 14 в. Совр. Волгоградская обл. РФ; д) *аналогия*: Султан Иса медресе, г. Мардин, Турция (1285 г.). Деталь входного портала; е) *аналогия*: Мавзолей Мама хатун в Теркане, Турция (1192 г.). Деталь входа; ж) *аналогия:* Тюрбе Иль Арслана в Куня-Ургенче (Хорезм, сер. 12 в.). Совр. Туркменистан, фото

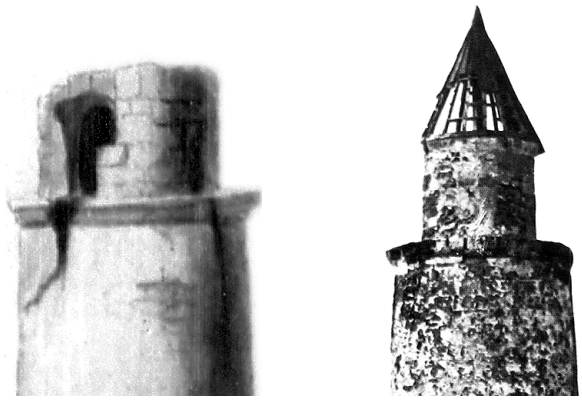


а) б)

Рис. 4. Оформление входа на северном фасаде минарета:
а) Реконструкция Ф.Х. Валеева; б) *аналогия*: Алай хан на дороге Аксарай-Кайсери, Турция (1192 г.)

а) б)

Рис. 5. Резная пальметта над углом четверика минарета:
а) фото; б) *аналогия*: Ешиль джами в Изнике, Турция (1391 г.)



а) б)

Рис. 6. Фрагментарная реставрация минарета к концу 19 века: а) фрагмент чертежа А. Шмита, 1836 г.; б) фрагмент фото 19 века

искусства бордюром-жгутом и обрамленного эффектным бордюром растительного орнамента (рис. 4).

Не менее интересна резная пальметта над углом нижнего четверика. Ничуть не уникальная сама по себе и широко встречающаяся повсюду, эта деталь применена здесь абсолютно оригинально, завершая угол здания, а не консольно выступая как обычно (рис. 5). Ничего подобного в мире сельджукской архитектуры не встречается и это решение тоже можно назвать «ноу-хау» булгарского зодчества.

Богатое оформление входа еще раз подтверждает самодостаточную архитектуру минарета как отдельно стоящего сооружения. Минареты, являвшиеся элементом здания мечети, всегда имели подчиненное значение по отношению к интерьеру, и входы в них не подчеркивались.

Привычное нам современное состояние памятника после тщательно выполненных недавно реставрационных работ представляет собой скорее консервацию башни, чем ее восстановленный прежний облик. Старинные документы и фотографии говорят о том, что минарет дошел до нас полуразрушенным и его первоначальный вид остался неразгаданным. Кроме схематичной зарисовки 18 века, известен

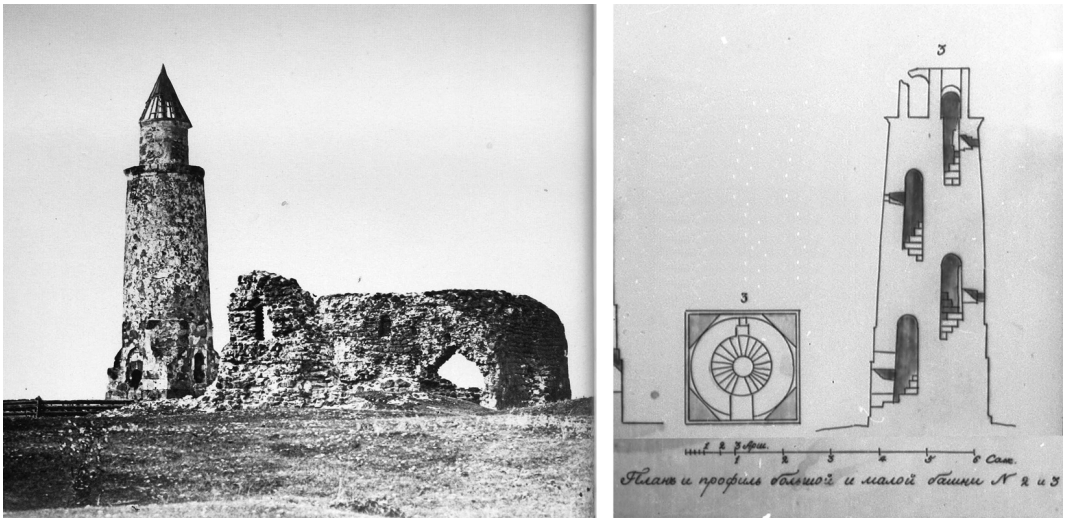
обмерный чертеж архитектора Шмита [5], на котором верх минарета обломан, но запечатлен выход на предполагаемое шерефе, которого реально не существует, а вместо него изображена узкая полочка, венчающая нижний цилиндрический ярус (рис. 6а). Чертеж неточный: вход в башню очевидно занижен, высота дверного проема слишком мала. Можно предположить, что и некоторые другие детали чертежа выполнены с искажениями. В частности, это касается уровня пола верхней площадки, совпадающего с уровнем внешнего пояска. В случае, если этот поясок служил опорой для шерефе, его уровень должен быть несколько ниже, хотя бы по соображениям гидроизоляции. Фотография 19 века показывает, что к этому времени повысилась высота барабана, появился венчающий карниз и деревянное коническое покрытие (рис. 6 б). Все это – результаты проведенной реставрации, а не подлинное завершение минарета.

Как же выглядел Кече Манара в его первозданном виде?

Массивное каменное тело минарета с внутренней винтовой лестницей заканчивается на чертеже Шмита пустотелым цилиндрическим ярусом с довольно толстым центральным каменным столбом и арочным проемом наружу (рис. 7). Проем наружу из верхнего цилиндрического яруса говорит о наличии шерефе, которое никак не могло бы разместиться на существующем каменном пояске. Сравнивая Кече Манара с подобными же по пропорциям минаретами, имеющими внешнее шерефе, легко убедиться в том, что может быть лишь два решения: либо шерефе намного шире зафиксированного пояса и выступает далеко за границы цилиндра, либо цилиндр должен быть гораздо у́же существующего. В нашем случае наиболее вероятна деревянная шерефе в виде открытой или закрытой круговой площадки, консольно выступающая за пределы опоры.

Обратим внимание: все современные татарские минареты имеют либо закрытую площадку, либо шэрэфэ, огражденную ажурной решеткой, свободно продуваемую ветром. И это отнюдь не случайно: здесь не Турция, не Азербайджан и не Крым, где лед и снег – явления очень временные и эпизодические, и по существу не препятствующие чтению азана зимой. Поэтому и площадки шэрэфэ там имеют глухие каменные парапеты, украшенные иногда орнаментом, но механически переносить эти формы в Поволжье, как предлагают некоторые исследователи, было бы опрометчиво. На вид красивые каменные галереи-шэрэфэ никак не защищены от осадков, а в зимнее время служат накопителями льда и снега, делая невозможным ежедневный пятикратный призыв к намазу с них. А о том, сколько снега набиралось в те времена возле минаретов, красноречиво говорит вход к Кече Манара, расположенный на высоте почти двух метров. В противном случае для того, чтобы попасть в башню, пришлось бы копать глубокую нору под сугроб. Вот оно – влияние климатических условий на архитектуру. Думаю, завершения минаретов на самом деле выглядели иначе, а именно так, как это делалось в последние столетия народными мастерами.

Мы можем с достаточной уверенностью говорить о существовании в далеком историческом прошлом нашего края двух, казалось бы, различных типов минаретов: деревянного и каменного, внешний вид которых как будто бы говорит об их коренных различиях. Если же опираться на представленные выше аргументы, внешние различия между ними оказываются намного меньше. Впрочем, на этот вопрос можно взглянуть и с другой стороны. Видимое отличие внешнего вида восьмигранного деревянного минарета от цилиндрического каменного, вроде бы, говорит о принадлежности их к различным архетипам. Однако, это вовсе не так: каменные многогранные и цилиндрические минареты Переднего Востока и Малой Азии довольно часто снабжались деревянной закрытой галереей, которая заменяла открытую шэрэфэ. В иной стилевой манере, но, однако, конструктивно, совершенно аналогично решались минареты Ирана и Ирака (рис. 8). В итоге внешний вид такой башни приобретал зримые черты сходства с татарскими деревянными минаретами, где эти конструкции как бы срослись в едином материале и составили неразъёмное целое. В каменных же булгарских минаретах такие крытые деревянные площадки давно уже разрушены временем – исчезли, обнажив каменную скелетную конструкцию (рис. 9). Подтверждением сказанному служит мизерная ширина консольного пояса вокруг верхнего выхода Кече Манара, явно непригодного для того, чтобы кому-либо выходить на него. Точно так же был устроен и верхний карниз Олы Манара, запечатленного в обмерах А. Шмита. Обратим внимание: высокий шатер деревянного татарского минарета почти обязательно имел еще один дополнительный карниз над покрытием площадки азанче. Для чего он был нужен? У такого минарета к тому же обычно наблюдались высокие профилированные карнизы под свесами, тщательно выполнявшиеся из дерева и не имевшие под собой никакой видимой конструктивной необходимости. Некоторые исследователи вполне обоснованно видели в них реликтовые формы местного зодчества, в которых законсервировались более ранние традиции, вероятнее всего, каменной архитектуры. Предложенная выше гипотеза о каменно-деревянной конструкции булгарского минарета легко объясняет эти загадочные формы народного зодчества, превратившиеся в архитектуре деревянной сельской мечети в своеобразный канон. И действительно, если эта композиция изначально складывалась из карниза над площадкой и карниза меньшего по своему диаметру внутреннего стержня, где располагалась винтовая лестница с выходом на площадку, несколько



а) б)

Рис. 7. Состояние минарета до реставрации:
а) древние памятники села Болгар Спасского уезда Казанской губ. Фото 19 века; б) чертеж А. Шмита, 1836 г.

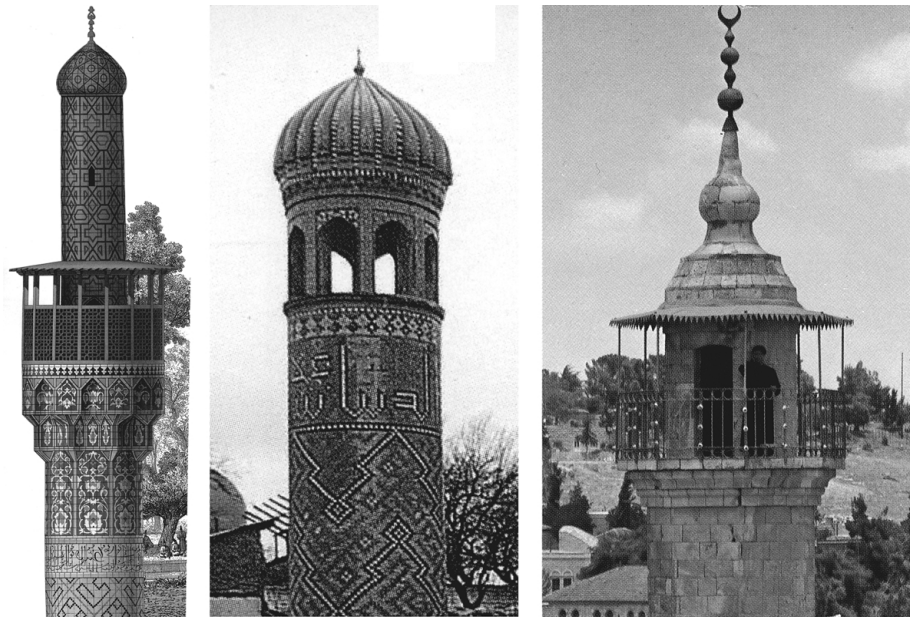


Рис. 8. Защита шерефе в условиях агрессивной среды

возвышавшегося над деревянной галереей, то никаких загадок не остается: мы видим во внешних формах деревянного сельского минарета канонизировавшиеся формы более монументальных каменных башен, в подражание которым он и возводился. Именно так мог быть устроен и Кече Манара: закрытая площадка-шерефе из дерева с витражами-панджара между открывающимися окнами-ставнями для чтения азана, либо огражденная легкой прозрачной продувающейся решеткой.

Каменный столб внутри площадки, зафиксированный архитектором Шмитом, имел смысл лишь в лишь том случае, если выше находился еще один ярус, куда вела винтовая деревянная лестница вокруг этого столба на верхнюю площадку с шерефе или без нее. Композиция в средневековой архитектуре весьма распространенная. Встречалась она и в Золотой Орде. Одним из ярких примеров подобного сооружения как по функции, так и по композиции является мемориальный минарет близ г. Баграм в современном Афганистане, воздвигнутый в 1099-1115 гг. тюркским правителем империи Газневидов Масудом III. После разрушения его верхней части минарет выглядит совершенно так же, как и Кече Манара в Булгаре, и если бы не старинная фотография, запечатлевшая его сто лет назад, о его первоначальном виде едва ли можно было бы догадаться. Так же, как и

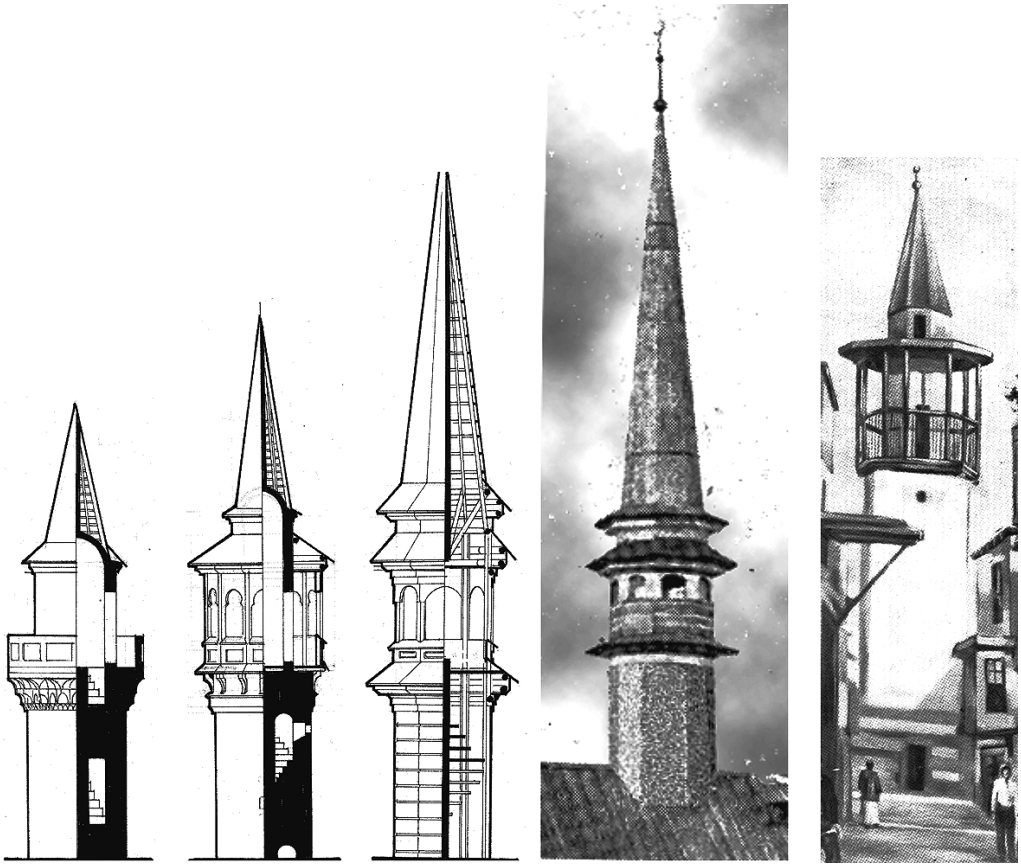
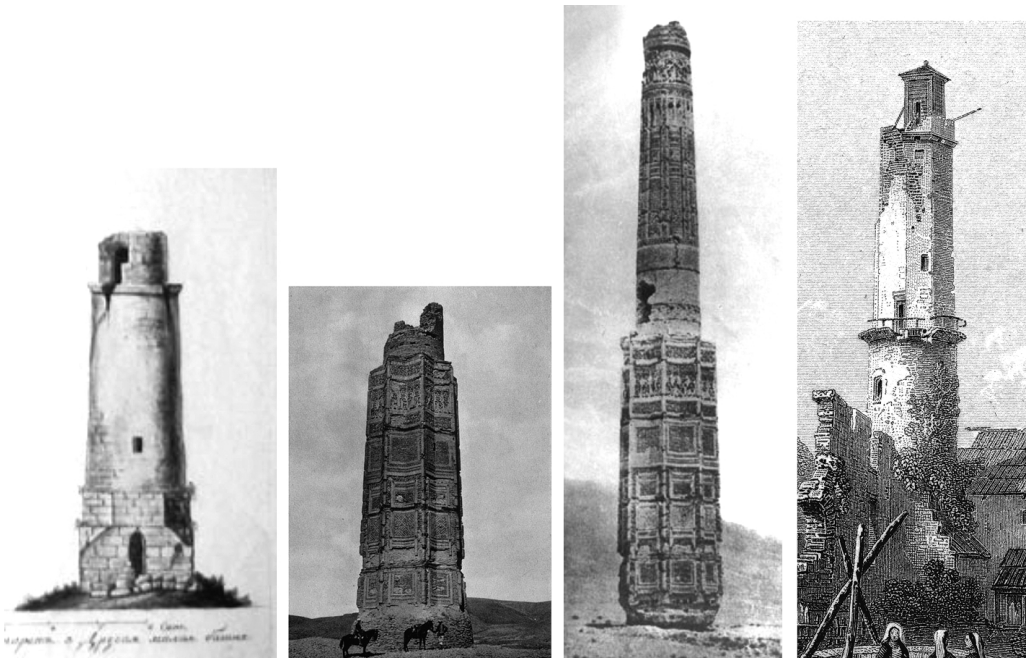
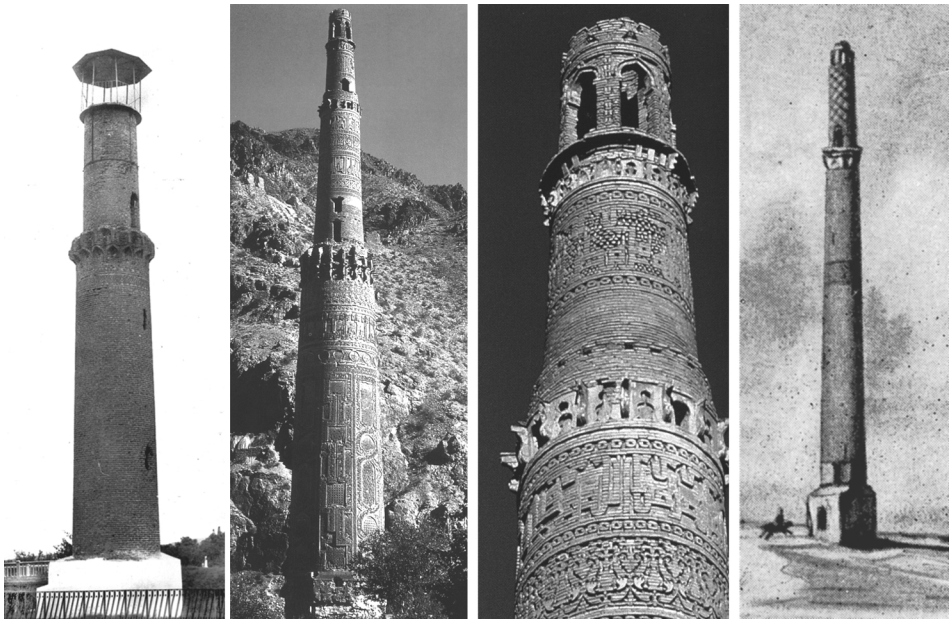


Рис. 9. Возникновение татарского типа минарета с закрытым шерефе



а) б) в) г)

Рис. 10. Кеча Манара и трехъярусные минареты сельджукской традиции:
а) кече Манара в г. Булгар (Улус джучи, 14 в.). Совр. Татарстан, чертеж А. Шмита, 1836 г.;
б), в) минарет Масуда III близ г. Газни (Государство Газневидов, 12 в.). Совр. Афганистан, фото 19 в.
г) золотоордынский минарет в Казанской губернии, фрагмент рис. А. Дюрана, 1836 г. Совр. Татарстан



а) б) в) г)

Рис. 11. Трехъярусные минареты сельджукской традиции:
а) золотоордынский минарет Татартуп с Джулатского городища, 14 в. (современная Северная Осетия);
б), в) минарет Джам близ селения Фируз Ага (Государство Газневидов, 13 в.). Совр. Афганистан, фото;
г) минарет близ селения Шамхор (Государство Газневидов, 12 в.). Совр. Азербайджан, рис. А. Гагарина, 19 в.

у Кече Манара, он имеет выход на не сохранившуюся промежуточную шерефе и лестницу наверх, на закрытую площадку третьего яруса. Именно такими были золотоордынский минарет Татартуп с Джулатского городища (современная Северная Осетия) и минарет мечети в Казанской губернии, запечатленной в 1838 г. А. Дюраном (рис. 10). Их верхние площадки не сохранились, однако, как могла выглядеть верхняя часть минарета такого типа, можно видеть на примере минарета Джам в селении Фируз Кох близ Герата в Афганистане (конец 12 века). Площадок этого типа на вершине минарета очень много в архитектуре Средней Азии и окружающих регионов, что дает основания предполагать сходные решения и в архитектуре Золотой Орды (рис. 11).

Обобщая все вышесказанное, можно констатировать следующее:

1. Сохранившаяся часть Кече Манара демонстрирует высокое качество архитектуры сельджукского направления.

2. Способы обработки и образно-художественного решения, а также резные декоративные детали минарета выглядят достаточно архаичными и относят его датировку к раннесельджукскому времени – 12-13 вв.

3. Пропорциональные соотношения элементов минарета в его современном виде необычны и не вписываются в стандарты сельджукского стиля.

4. Венчающие карнизы цилиндрических ярусов и коническое покрытие – результаты поздней реставрации, а не подлинные детали минарета.

Рис. 12. Реконструкция первоначального облика минарета

5. Обмерные чертежи Шмита позволяют говорить о наличии второй верхней площадки для чтения азана.

Сохранившиеся памятники Булгара выглядят отнюдь не провинциальным подражанием стилю, а являются зрелыми произведениями золотоордынской архитектуры, о чем говорит, в частности, и сохранившаяся нижняя часть Кече Манара. Негармоничные пропорции же ее, не вписывающиеся в стандарты стиля, указывают на серьезные утраты, существенно исказившие первоначальный вид памятника. Сельджукские и, в частности, золотоордынские аналогии позволяют вполне уверенно предполагать наличие нижней шерефе и достаточно высокого цилиндрического яруса с винтовой лестницей внутри, ведущей к верхней закрытой площадке под венчающей частью минарета. Соотношения частей башни могут быть подсказаны сопоставлением с минаретом мечети, запечатленной в 1938 г. А. Дюраном в Казанской губернии [2]. Его нижняя часть практически повторяет пропорции Кече Манара, а общая высота башни примерно вдвое больше сохранившегося нижнего яруса (рис. 12).

Литература

1. Бретаницкий Л.С. Художественное наследие Переднего Востока эпохи феодализма. – М.: Советский художник, 1988.
2. Татарская мечеть и деревня в Казанской губернии. Durand A. Voyage Pittoresque et Archeologique en Russie Execute en 1839 sous la Direction de M. Anatole de Demidoff, Desseins faits d'apres et litographies. Par Andre Durand. – Paris, 1841. Альбом литографий.
3. Мамедов Ф. Архитектурные связи школ зодчества средневекового Азербайджана. – Баку: Элм, 1988.
4. Хан-Магомедов С.О. Рутульская архитектура. – М: Ладья, 1998.
5. Шмит А.К. Архитектурные чертежи развалин древних Болгар. Сняты с натуры архитектором А. Шмитом, 1827 г. – М., 1832. Б. м.; Шмит А.К. Минареты Болгара НА РТ. Ф. 200. Оп. 1. Д. 53. Л. 2 об., 3, 6, 10.

УДК 72.03
Р.В. Шипилов – аспирант, ассистент
Тел.: 89172795436, e-mail: ultromarin@inbox.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИСТОРИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ СПОРТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

АННОТАЦИЯ
Статья описывает основные исторические вехи появления и развития типологии спортивных сооружений с древнейших времен до наших дней.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: история архитектуры, спорт, спортивные сооружения, стадион, арена.

R.V. Shipilov – post-graduate student, assistant
Tel.: 89172795436, e-mail: ultromarin@inbox.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE HISTORY OF RISING AND EVOLUTION OF SPORT FACILITIES

ABSTRACT
The article describes the historical evolution of architectural typology of sport facilities from ancient times till now days.

KEYWORDS: the history of architecture, sport, sport facilities, stadium, arena.

Введение

Спорт сопутствует жизни человеческого общества с незапамятных времен. Физическая культура и спорт своими историческими корнями уходят в глубокую древность. Археологические раскопки приносят сведения о примитивных постройках для физических упражнений, относящихся еще к каменному веку. Такие постройки найдены на территории Индии, Египта, Средней Азии и Южной Америки. К ним относятся так называемые кромлехи, т.е. площадки, окруженные каменными столбами.

Развитие физической культуры, появление в обиходе разнообразных игр и спортивной борьбы вызывали необходимость строительства специальных сооружений, а новые сооружения оказывали, в свою очередь, влияние на прогресс развития спорта и физической культуры.

Месоамериканские стадионы

Предметы, служившие в древности для игр и спортивных соревнований, имели культовое значение, и именно они дают нам представление о понимании древними людьми сил природы. Например, диск у индийцев символизировал солнце и был атрибутом бога Вишну; игра в мяч у ацтеков была аллегорией борьбы дня с ночью, света с тьмой, причем игровая площадка символизировала небо, а мяч – вселенную. Эти сооружения так же известны, как «***Стадион для месоамериканской игры в мяч»*** – тип каменного сооружения, где на протяжении 2700 лет индейцы играли в мяч. На территории Месоамерики было обнаружено более 1300 стадионов, причём 60 % из них – за последние 20 лет.

Кроме игр, на стадионах проходили другие культурные и ритуальные мероприятия, музыкальные представления и фестивали. Вотивные предметы, закопанные на главном стадионе Теночтитлана, включают миниатюрные свистульки, окарины и тепонацтли.

Доколумбовские стадионы для игры в мяч были найдены на территории всей Месоамерики от Никарагуа на юге до штата Аризона на севере. В городе Эль-Тахин, который был центром классической культуры Веракрус, насчитывается как минимум 18 стадионов. Предположительно количество стадионов являлось признаком децентрализации политического и экономического могущества: в сильно централизованных государствах, таких как империя ацтеков, было найдено относительно немного стадионов, в то время как в районах слабых государств с разнообразными культурами, таких как Кантона, их было гораздо больше.

Размер стадионов сильно различается, однако их форма одинакова – длинное узкое пространство между горизонтальными и наклонными стенами (изредка вертикальными). Стены были оштукатурены и ярко раскрашены. Ранние версии стадионов были открыты по краям, позже с двух сторон были добавлены замкнутые пространства, из-за чего при виде сверху

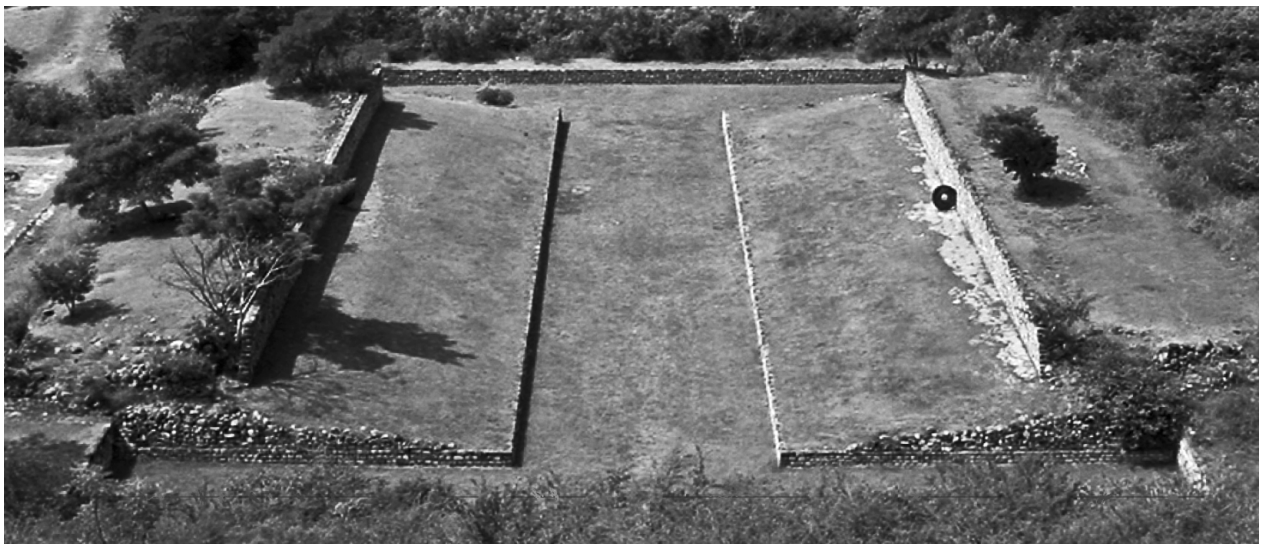


Рис. 1. Хочикалько (Мексика). Площадка для игры в мяч в форме буквы **I** (первое тысячелетие нашей эры)

стадион был похож на букву **I** (рис. 1). Отношение длины к ширине в среднем составляет 4 к 1. Размеры стадиона в Тикале (всего 16 на 5 м, самый мелкий из найденных) в шесть раз меньше Великого стадиона (англ. Grand Ballcourt) в Чичен-Ице.

Наиболее крупные стадионы располагались в центральных районах города и совместно с пирамидами и другими монументальными сооружениями были ориентированы согласно правилу. Ось большинства месоамериканских городов была направлена с юга на север с небольшим отклонением к востоку, поэтому стадионы располагались либо параллельно, либо перпендикулярно этой оси.

Резиновый мяч, известный индийцам Америки еще в третьем столетии до нашей эры, был в то время основой физических упражнений, явившихся первообразом игры с эластичным мячом, впоследствии распространившейся в Северо-Американских Соединенных Штатах.

На стенах древнейших мексиканских игровых арен найдены кольца, прикрепленные перпендикулярно к стене на оси арены, сквозь которые бросали мяч во время игры; эти кольца справедливо могут считаться прообразом корзин американского баскетбола.

Спортивные сооружения в древней Греции и Риме

История эгейской культуры свидетельствует о распространении ранних форм физической культуры в восточном Средиземноморье в XXX – XII в. до н.э. Здесь были найдены обломки сосудов с изображениями лучников, акробатов, прыгающих через быков. При раскопках кносского дворца (Кносс – древний город на острове Крит) удалось обнаружить помещения, которые предназначались для занятий физическими упражнениями.

Значительным явлением, характеризующим развитие древнегреческой физической культуры, были Олимпийские игры. Документальные данные приурочивают начало этих празднеств к 776 г. до н.э. С этого года начинается счет календарным четырехлетиям – олимпиадам.

Наряду с общегреческими Олимпийскими играми во многих городах Греции проводились игры меньшего масштаба. Для проведения общегреческих и региональных игр было сооружено много стадионов, остатки которых обнаружены в Олимпии, Дельфах, Пирее, Милете и ряде других районов Греции.

Античные стадионы относят к трем периодам: эллинскому, эллинистическому и древнеримскому (см. табл.).

На древнегреческих стадионах раннего периода не было специальных устройств для зрителей. Как правило, зрители располагались на склонах холмов перед ареной. Стадион в Олимпии – первый из стадионов древности, имевший трибуны и послуживший прообразом последующих построек аналогичного назначения. Древние греки отлично знали основные принципы обеспечения хорошей видимости с трибун. Закругленная линия трибун (удобная для зрителей, сидящих в одном ряду) сохранялась без существенных изменений в римскую эпоху и даже дошла до наших дней.

На арене Олимпийского стадиона устраивались грунтовые дорожки, которые размечались для одновременного бега 20 человек. Линии старта и финиша обозначались плитами.

Древнеримский период строительства стадионов относится ко времени формирования древнеримской империи (начало н.э.). В это время происходит реконструкция многих стадионов эллинского периода. Во II в. н.э. подверглись реконструкции стадионы в

Таблица

Основные характеристики некоторых стадионов Древней Греции и Древнего Рима

Место нахождения	Дата сооружения	Размеры арены (м)	Длина беговой дорожки (м)	Вместимость трибун (чел.)
Эллинский период				
Олимпия	Около 450 г. до н.э.	212 × 32	122,25	30 000
Дельфы	Конец V в до н.э.	192 × 25,5	177,35	7 000
Афины	330 г. до н.э.	204 × 33,4	184,30	50 000
Эллинистический период				
Милет	II в. до н.э.	194,5 × 29,6	192,27	15 000
Приенна	Вторая половина II в. до н.э.	191 × 18	191,39	5 000
Древнеримский период				
Перга	II в. н.э.	191,5 × 34		15 000
Анцаин	II в. н.э.	207,5 × 38		15 000
Рим (Колизей)	80 г. н.э.	79,35 × 47,5		50 000
Рим (Циркус Максимус)	I в. н.э.	500 × 100		250 000

Афинах и Дельфах. В связи с возросшим количеством участников соревнований были расширены арены этих стадионов и устроены стационарные мраморные трибуны для зрителей. На стадионах древнеримского периода профильная линия трибун для лучшей видимости делается вогнутой. Стадионы этого периода становятся архитектурно законченными объектами. В I в. до н.э. началось формирование такого вида древнеримского зрелищного сооружения, как амфитеатр. Впоследствии амфитеатры оказали определенное влияние на строительство современных спортивных арен. Ярким примером древнеримского амфитеатра является Колизей.

Особого внимания заслуживает величественное сооружение, предназначенное для соревнований в гонках на колесницах, имевшее название гипподром, или Циркус Максимус (рис. 2). Это сооружение вмещало на своих трибунах до 250 000 зрителей.

Средние века

В IV в. н.э. в Риме стала пользоваться государственной поддержкой христианская религия. Церковь повела активную борьбу против римских зрелищ, собиравших десятки тысяч зрителей. Начался медленный упадок классической культуры, а вместе с ней и физической культуры. Распространение христианства, отрицающего культ человеческого тела и его гармоническое развитие, сопровождалось узаконенным разрушением множества крупнейших спортивных сооружений античного мира.

После того как на смену античной культуре пришло христианство, по своим догмам отрицавшее культ человеческого тела, спортивные игры и соревнования были прекращены. Спорт совершенно утратил свое первоначальное значение и в средние века существовал только как обучение военному ремеслу или охоте на крупного зверя. Строительство специальных спортивных сооружений совершенно прекратилось.

Раннее средневековье характеризуется полнейшим упадком физической культуры. В X-XI вв. очень медленно начали развиваться некоторые целенаправленные формы физических упражнений. Предпосылкой к этому послужили начавшиеся в XI в. торговая колонизация Востока, крестовые походы и появившееся рыцарство. Свободное от походов время рыцари заполняли главным образом воинскими упражнениями и участием в турнирах.

В развитом феодальном обществе (XI-XIV вв.) под влиянием классовой борьбы сформировались физическая культура народных масс (крестьян и горожан) и физическая культура господствующего класса (феодалов, рыцарей).

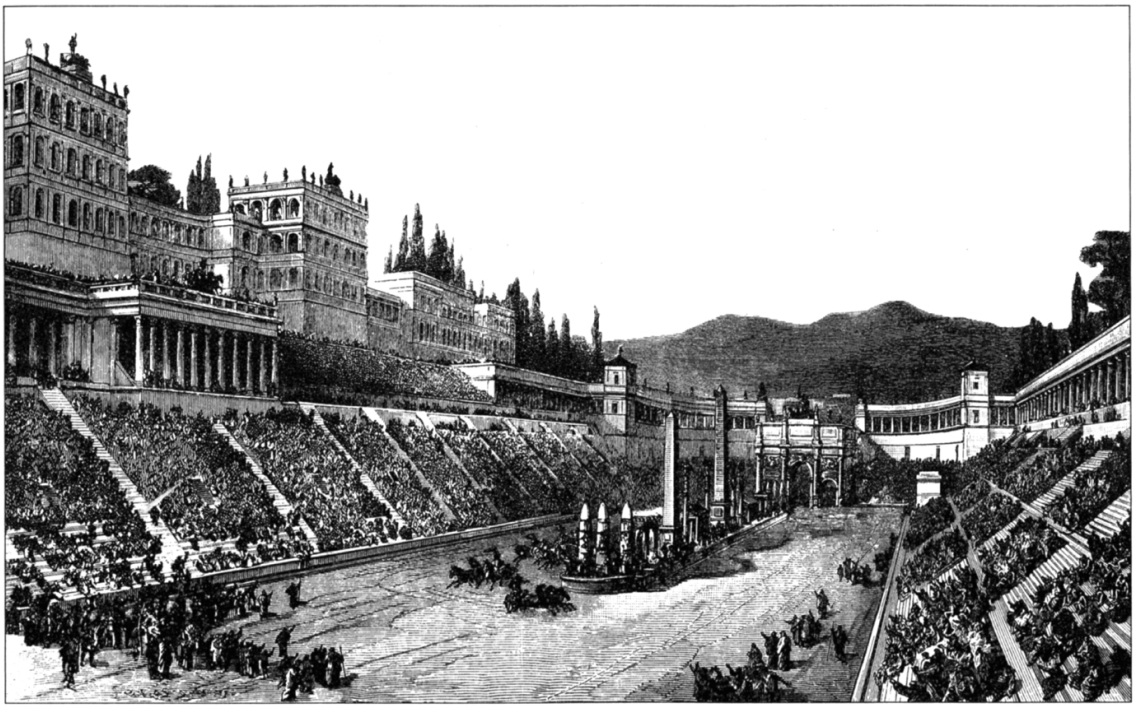


Рис. 2. Большой цирк (Circus Maximus) в Риме (Реконструкция)

В XVI и XVII вв. во многих городах для общедоступных игр в мяч и для стрельбы по мишени отводились специальные участки. В качестве примера можно указать площадку Плас де Возжи (Place de Vosges) (прежде Плас Рояль (Place Royale), открытую в 1612 году), которая первоначально была предусмотрена как место игр и гуляний городского плебса, а затем была перестроена в турнирную площадку с местами для зрителей (здесь впервые был применен травяной покров). В Польше, во времена Ягеллонов, для подобных целей были отведены так называемые Блони в Кркове, а в Варшаве – луга под стенами, окружавшими город.

Наряду с площадками и местами игр и гуляний для городских жителей, аристократия создавала в парках зрелищно-увеселительные объекты, как, например, плавательный бассейн в Вилла Мантальто в Риме, построенный в XVI в. Доменико Фонтано, или амфитеатр в саду Боболи во Флоренции XVII в. С этого же времени начали строить первые спортивные залы: фехтовальные или для игры в мяч (рис. 3, 4, 5).

Период позднего средневековья – это период ломки феодального строя, зарождения буржуазной культуры, в том числе буржуазной физической культуры.

От нового времени до наших дней

Только лишь в новые времена, начиная с XIX века, стала постепенно возрождаться роль спортивных сооружений, предназначенных для упражнений и для устройства состязаний.

В 1806 году архитектор Луиджи Каноника построил в Милане овальную арену, использовав классические римские образцы. Возведение этой арены можно считать началом строительства современных зрелищно-спортивных сооружений. Арена в Милане была предназначена для разнообразных публичных соревнований; ее можно было даже наполнять водой для проведения водных игр. Позднее арену переоборудовали под футбольное поле и устроили круговую беговую дорожку протяженностью 500 метров.

Эпоха современного спорта началась в гуманистических целях защиты здоровья людей от пагубного влияния индустриализации. П.Г. Линг вводит в обиход «шведскую гимнастику», что повлекло за собой строительство соответствующих гимнастических залов. В 1828 году в Ливерпуле, в Англии, был построен первый крытый плавательный бассейн, а в Голландии, в городе Бреде, в 1830 году – первый открытый плавательный бассейн. Футбол в своей нынешней форме появился в 1855 году, а специальные футбольные площадки начали строить на 30 лет позднее.

Развитие строительства спортивных павильонов в новейшее время получило начало в Англии. Англичане еще в начале XIX века стали размещать в павильонах всякого рода вспомогательные помещения для посетителей спортивных объектов.

В XX веке, под влиянием технического прогресса и социально-политических реформ, все виды спорта получили огромное развитие. Возникли и совершенно

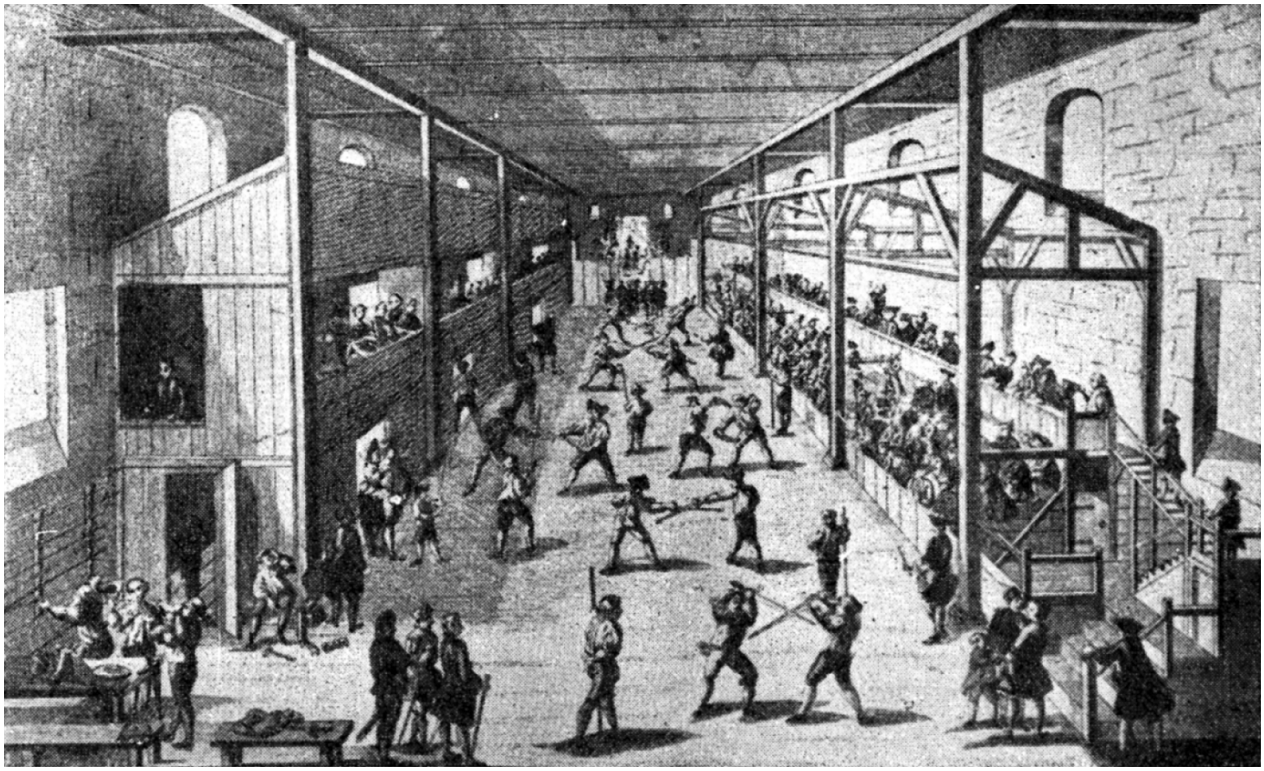


Рис. 3. Фехтовальный зал в Милане, XVIII в.

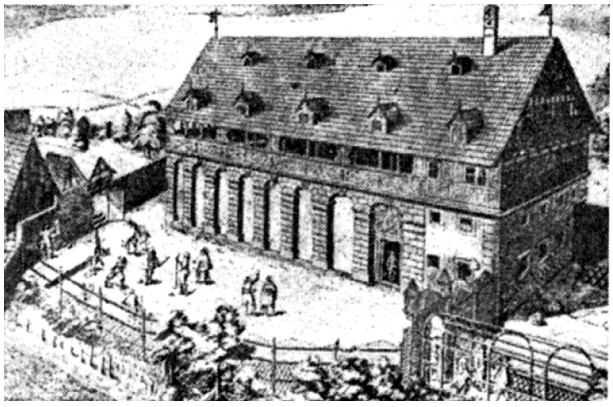


Рис. 4. Дом для игры в мяч – фасад. Гравюра на меди 1632 г.

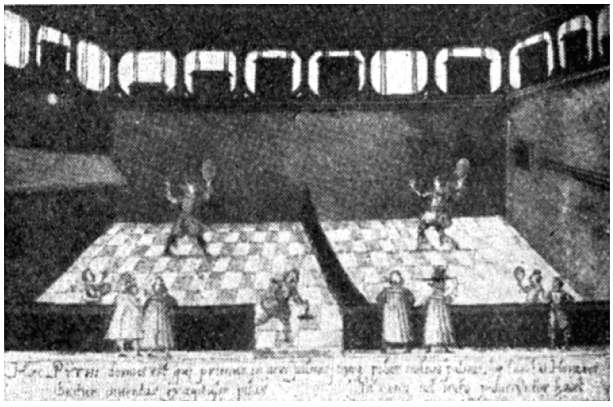


Рис. 5. Интерьер дома для игры в мяч

новые виды спорта, в частности скоростные состязания на разного рода машинах, начиная с велосипедов и заканчивая самолетами. Это повлекло за собой строительство специально приспособленных спортивных сооружений самых разнообразных видов и конструкций: различного рода гоночных дорожек, велодромов, автодромов, мотоциклетных треков, акваторий для гребных, парусных и водно-моторных соревнований, спортивных аэродромов, планерных площадок, аэроклубов, водных станций, сооружений для зимних видов спорта – лыжных трамплинов, бобслейных, саночных и буерных трасс.

Спортивные сооружения в России

Историческое развитие физической и спортивной активности на Руси и непосредственно спортивных сооружений как архитектурного типа можно сопоставить с их развитием на территории Европы. Как язычество, так и христианство, пришедшее позднее, на Руси отрицали культ человеческого тела в отличие от эллинов, превознося богобоязненность и слабость человека против высших сил, однако во все века основной предпосылкой для развития тех или иных видов физической активности служила необходимость подготовить сильного, ловкого и выносливого война.

Поэтому к специальным сооружениям можно отнести различные военные тренировочные площадки. Несмотря на то, что специализированные соревновательные сооружения не возводились, на ярмарочных площадях и под стенами городов всегда были популярны кулачные бои и игрища, на которых можно было продемонстрировать свою силу и удаль. Фольклорные источники указывают и на то, что различные поединки как кулачные, так и с применением различных видов оружия, имевшие зачастую летальный исход, были способом разрешать споры. В качестве общеизвестного примера можно привести поэму М.Ю. Лермонтова «Песня про царя Ивана Васильевича, молодого опричника и удалого купца Калашникова», созданную в результате исследований поэтом русского фольклора.

С развитием аристократического общества в России свое развитие получили такие виды развлечений, которые были недоступны простому народу, например верховая езда. Будучи необходимостью для подготовки элитных родов войск, а также став неотъемлемой частью аристократического воспитания, для верховой езды стали возводиться специальные манежи. Можно с уверенностью утверждать, что данный тип сооружений стал одним из первых в России, создаваемых для специализированного вида физической активности. Здание бывшего Конногвардейского манежа, в котором расположен Центральный выставочный зал Санкт-Петербурга – одно из немногих сохранившихся до наших дней построек Лейб-гвардии Конного полка, предназначенное для объездки кавалерийских коней и военных упражнений, а также для проведения торжественных мероприятий и парадов. Возведенное в строгих формах русского классицизма в 1804-1807 годах, оно принадлежит к ряду последних творений великого зодчего Джакомо Кваренги. Здание манежа представляло в плане вытянутый прямоугольник (первоначально 60х16 саженей). Главный фасад, обращенный на Исаакиевскую площадь, решен в виде величественного восьмиколонного портика с массивным фронтоном и широкой гранитной лестницей. Тимпан фронтона украшал скульптурный барельеф с изображением торжественной раздачи призов победителям на конных состязаниях. На фронтон были установлены три декоративные статуи античных героев. Двойная колоннада в центральной части портика усиливала парадность главного фасада. Между пилястрами лоджии, образованной внутри портика, были выполнены горельефы с изображением спортивных игр в античном цирке. Для въезда были сделаны пологие пандусы с боковых сторон портала.

Вторая половина XIX века стала для России новым этапом развития спортивной активности. Более широкое распространение получили различные спортивные кружки, общества и объединения. 19 февраля 1889 года в Москве на льду “Петровки” состоялся первый в истории России чемпионат по конькобежному спорту.

Термин «физическая культура» стал упоминаться в печати с 1908-1910 гг. Под физической культурой тогда понимали деятельность человека и общества, направленную на физическое воспитание, образование и укрепление здоровья.

Однако ко времени Великой Октябрьской социалистической революции Россия в своем спортивном развитии значительно уступала большинству других стран мира. После революции положение в корне изменилось. Коммунистическая партия, Советское государство приняли на себя заботу о массовом развитии физкультуры и спорта в стране. Народная власть сделала спорт всеобщим достоянием, открыла к нему дорогу всем, кто стремился к всестороннему физическому развитию.

Для многих спортивных объектов, построенных в Советском Союзе в 40-х годах XX столетия, в основу положены приемы античных спортивных сооружений, дополненных помещениями, отвечающими требованиям постановки дела физического воспитания в СССР. Одним из первых павильонов с такой расширенной программой является спортивный стадион в Черкизове, в Москве, построенный в 1938 году. Авторы проекта спортивного павильона в Сокольниках (архитекторы А. Васильев и Г. Вегман), учитывая то, что трибуны стадиона размещены на земляных валах, разместили все вспомогательные помещения стадиона в отдельном павильоне, расположенном на поперечной оси стадиона. Павильон состоит из фронтальной части, обращенной в сторону стадиона с портиком и колоннадой, где размещены все необходимые помещения, и из перистиля, окруженного колоннами, похожего на такие же перистили в палестрах. Здесь устроена площадка для зарядки перед соревнованиями и для отдыха после них. В странах с умеренным и суровым климатом перистили такого рода перекрываются и преображаются в гимнастические залы, которые часто разрастаются до размеров крупных спортивных корпусов, используемых для гимнастики и спортивных игр. Примером такого крытого сооружения может служить теннисный павильон московского «Динамо».

Заключение

Прогресс строительной техники, появление новых материалов в строительстве привел, к тому, как это было в древние времена, ко многим изменениям в архитектуре спортивных сооружений, что в основном сказалось на формах крытых сооружений (спортивных залов, плавательных бассейнов), стадионов с трибунами большой емкости, а также на конструкции специальных устройств, например вышек для прыжков в воду. В функциональном отношении современные крытые спортивные объекты в основном сохранили

общие с древними сооружениями черты. Например, система античных греческих спортивных сооружений, в особенности эллинистического периода, во многом схожа с современными центрами физической культуры. Современные купальни в значительной степени соответствуют древнеримским термам, а современные спортивные павильоны – похожи на палестры.

Однако, несмотря на очевидное влияние на современное проектирование сложившихся за многие века приемов строительства спортивных сооружений, многие проектировщики зачастую не прибегают к накопленному историческому опыту, что приводит к возникновению архитектуры, уступающей своим качеством историческим аналогам, несмотря на прогресс в сфере строительных технологий и материалов.

На всех стадиях проектирования спортивных сооружений необходим более глубокий подход к всестороннему анализу истории становления и развития физической культуры и спорта в общественной жизни, а также основных тенденций международного спортивного и олимпийского движения на разных этапах его развития. Только с учетом данных аспектов можно с уверенностью говорить о качестве проектирования спортивных сооружений. В условиях стремительного роста влияния спорта и олимпийского движения на мировое сообщество задача качественного проектирования данного типа сооружений представляется особенно актуальной. На волне успеха России, доказавшей свое право на проведение Универсиады в 2013 году и Олимпиады в 2014, отечественное архитектурное проектирование также обязано установить новый уровень качества спортивных сооружений, что не может быть реализовано без обращения к сложившейся за многовековую историю теоретической и практической базе в области проектирования и строительства спортивных сооружений.

Литература

1. Ballgame imagery of the Maya Lowlands: History and Iconography // The Mesoamerican Ballgame. – Tucson: University of Arizona Press, 1991. – C. pp.251-288. – ISBN 0-8165-1360-0.
2. The Lords of Light versus the Lords of Dark: The Postclassic Highland Maya Ballgame // The Mesoamerican Ballgame. – Tucson: University of Arizona Press, 1991. – C. pp.213-238. – ISBN 0-8165-1360-0.
3. The Ballcourt in Mesoamerica: Its Architectural Development // Pre-Columbian Art History: Selected Readings. – Palo Alto, CA: Peek Publications, 1975. – C. pp.63-69. – ISBN 0-917962-41-9.
4. Каратаев О.Р., Новиков В.Ф., Перикова Е.С., Шипилов Р.В. Спортивные сооружения: Учеб. пособие. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008.
5. Мячин И.К., Стародуб А.Э., Смирнов Б.М. Москва-80. Олимпийский путеводитель. – М.: Московский рабочий, 1980.
6. Мячин И.К., Стародуб А.Э., Смирнов Б.М. Москва-80. Олимпийский путеводитель. – М.: Московский рабочий, 1985.
7. Александров Ю.Н. Москва. Диалог путеводителей. – М.: Московский рабочий, 1985.
8. Ильин М.А. Москва. – М.: Искусство, 1993.
9. Давидовский П. Генезис «Песни о купце Калашникове». – Л., «Филол. записки», Воронеж, 1913, в. 4-5.
10. www.museum.ru/News/archive/mrList050220071103.htm.

УДК 728.5
А.В. Степанчук – аспирант, ассистент
Тел.: 89274011163, e-mail: alena.stepanchuk@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВИДОВ РЕМЕСЛЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СТРУКТУРЕ МИНИ-ГОСТИНИЦ ДЛЯ ЭТНОГРАФИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

АННОТАЦИЯ

В условиях глобализации особенно актуальным является сохранение и возрождение народных художественных промыслов. Одним из видов деятельности, раскрывающих культуру народа, является этнографический туризм. В инфраструктуре этнографического туризма определяющим архитектурно-планировочным элементом являются мини-гостиницы с помещениями для организации ремесленной трудовой деятельности. Для выявления архитектурно-пространственных типов мини-гостиниц для этнографического туризма автором определены наиболее востребованные с точки зрения потенциальных туристов виды народных художественных промыслов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: этнографический туризм, мини-гостиницы с помещениями для ремесленной трудовой деятельности, народные художественные промыслы.

A.V. Stepanchuk – post-graduate student, assistant
Tel.: 89274011163, e-mail: alena.stepanchuk@rambler.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

BASISES OF CHOICE OF HANDICRAFT ACTIVITY'S KINDS IN STRUCTURE OF MINI-HOTELS FOR THE ETHNOGRAPHIC TOURISM

ABSTRACT

In globalization conditions it's urgent to preserve and revive national art trades. Ethnographic tourism is one of the activity's kinds that shows people's culture. Mini-hotels with rooms for the craft labor activity are architectural planning key elements in the ethnographic tourism's infrastructure. Author reveals the most popular national art trades' kinds (from the potential tourists point of view) in order to form the architectural and spatial types of mini-hotels for the ethnographic tourism.

KEYWORDS: ethnographic tourism, mini-hotels with rooms for the craft labor activity, national art trades.

Народные художественные промыслы являются уникальной частью отечественной культуры, духовным наследием, представляющим собой неотъемлемую часть мирового культурного наследия и одну из форм народного творчества любого народа. Необходимость сохранения национального своеобразия в контексте глобализации требует разработки новых форм сохранения, возрождения и развития народных художественных промыслов, декоративно-прикладного искусства в России и, в частности, в Республике Татарстан. Эта проблема решается на государственном уровне [1, 2], на региональном уровне [3, 4, 5], в работах преподавателей, аспирантов и студентов КГАСУ [6, 7].

Среди разнообразных видов деятельности в наибольшей степени раскрывает местные национальные традиции, культуру народа **этнографический туризм** [8, 9].

Этнографический туризм – это погружение отдыхающих (туристов) в среду того или иного народа со всеми ее характерными местными национальными традициями, культурой, укладом жизни.

Основные направления туристических этнографических программ:

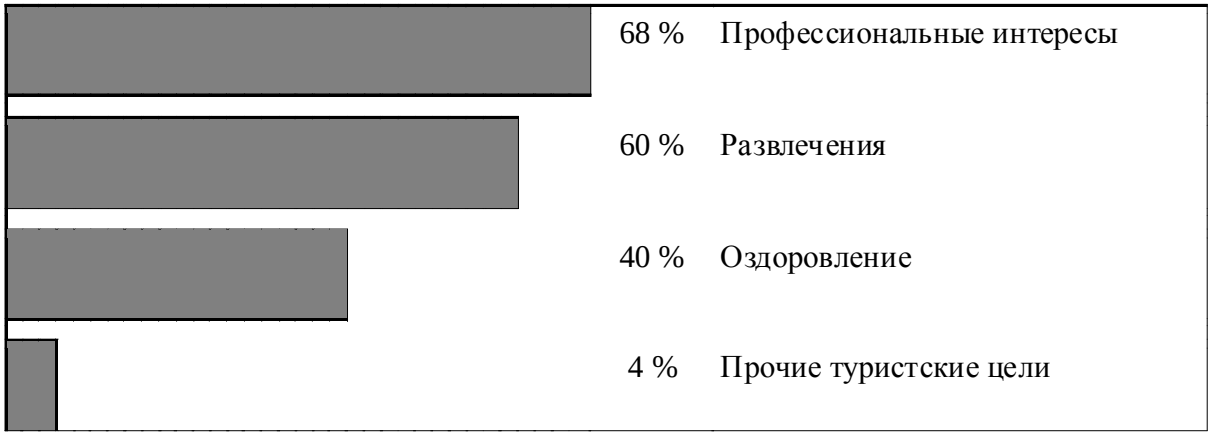
- раскрытие местных традиций, обрядов, обычаев, уклада жизни, быта, национальной кухни;
- ознакомление с национальной музыкальной, песенной и танцевальной культурой;
- предоставление туристам возможности участия в национальных праздниках, гуляньях, ярмарках;
- демонстрация местных народных художественных промыслов (НХП) и ремесел с посещением интерактивных мастерских, участие в процессе создания продукции народно-художественных и декоративно-прикладных промыслов [10].

Одним из основных архитектурно-планировочных элементов инфраструктуры этнографического туризма являются **мини-гостиницы с помещениями для организации ремесленной трудовой деятельности** [11].

Функционально такая мини-гостиница делится на две крупные зоны: жилую зону и зону организации ремесленной деятельности [12-14]. В жилой зоне должны размещаться гостиничные номера для туристов

График № 1

Цели путешествий потенциальных туристов



и квартира хозяев. В зоне ремесленной деятельности должны размещаться помещения для организации этой деятельности, экспозиции продукции и подсобные помещения [15]. Кроме названных, в структуру мини-гостиниц следует включить достаточно развитую группу вспомогательных помещений.

Для реализации целей настоящего научного исследования необходимо решить следующие задачи:

- выявить архитектурно-пространственные типы мини-гостиниц для этнографического туризма;
- разработать составы помещений жилой, ремесленно-производственной и вспомогательных зон;
- обосновать параметры проектирования жилых, производственных и вспомогательных зон.

В данной статье исследуется вопрос формирования структуры ремесленно-производственной зоны мини-гостиниц. Состав помещений для организации этой зоны естественным образом вытекает из основных видов традиционных народных художественных промыслов, представленных в настоящее время на территории Республики Татарстан. Перечень этот довольно обширен. Выявление наиболее интересных и востребованных видов НХП с точки зрения потенциального потребителя (туриста) является важным для экономического обоснования целесообразности разработки исследуемого типа здания, для формирования перечня помещений и обоснования выбора их габаритов.

Для решения задач по архитектурно-пространственному формированию мини-гостиниц с элементами этнографической деятельности автором разработана «Анкета социологического обследования изучения групп потенциальных туристов – потребителей этнокультурного туристического продукта с целью выявления наиболее предпочтительных видов НХП» [16].

Исследование проводилось по следующим группам вопросов:

- социально-демографические характеристики респондентов, их профессиональные занятия, возраст, пол и т.п.;
- интерес потребителя к различным видам туризма;
- влияние различных факторов на выбор туристами места и вида отдыха;
- предпочтения относительно градостроительных условий расположения места остановки, типа средств размещения и видов деятельности на отдыхе;
- виды НХП, которыми респонденты хотели бы попробовать заниматься.

Анкета составлена в форме теста, на каждый вопрос предлагались варианты ответов, из которых респонденты должны были выбрать подходящие и отметить свой выбор. В анкетировании приняли участие 45 респондентов. Был проведен анализ материалов обследования, данные были обработаны с использованием методов математической статистики. Приведем некоторые результаты анкетирования.

Исследование выявило основные цели путешествий: 68 % респондентов совершают поездки с профессиональными целями, с целью развлечения – 60 % опрошенных, с целью оздоровления – 40 % и с прочими целями – 4 % респондентов (график № 1).

Большое значение в исследовании имеет выбор видов туризма.

По результатам анкетирования выявлены наиболее популярные виды туризма. Наибольший интерес среди опрошенных людей вызвал культурно-познавательный туризм (76 %).

На втором месте (52 %) по популярности находится этнографический туризм (знакомство с культурой народа, погружение в традиционный уклад жизни, участие в национальных праздниках, знакомство с местными национальными ремеслами и промыслами,

График № 2

Выбор видов туризма

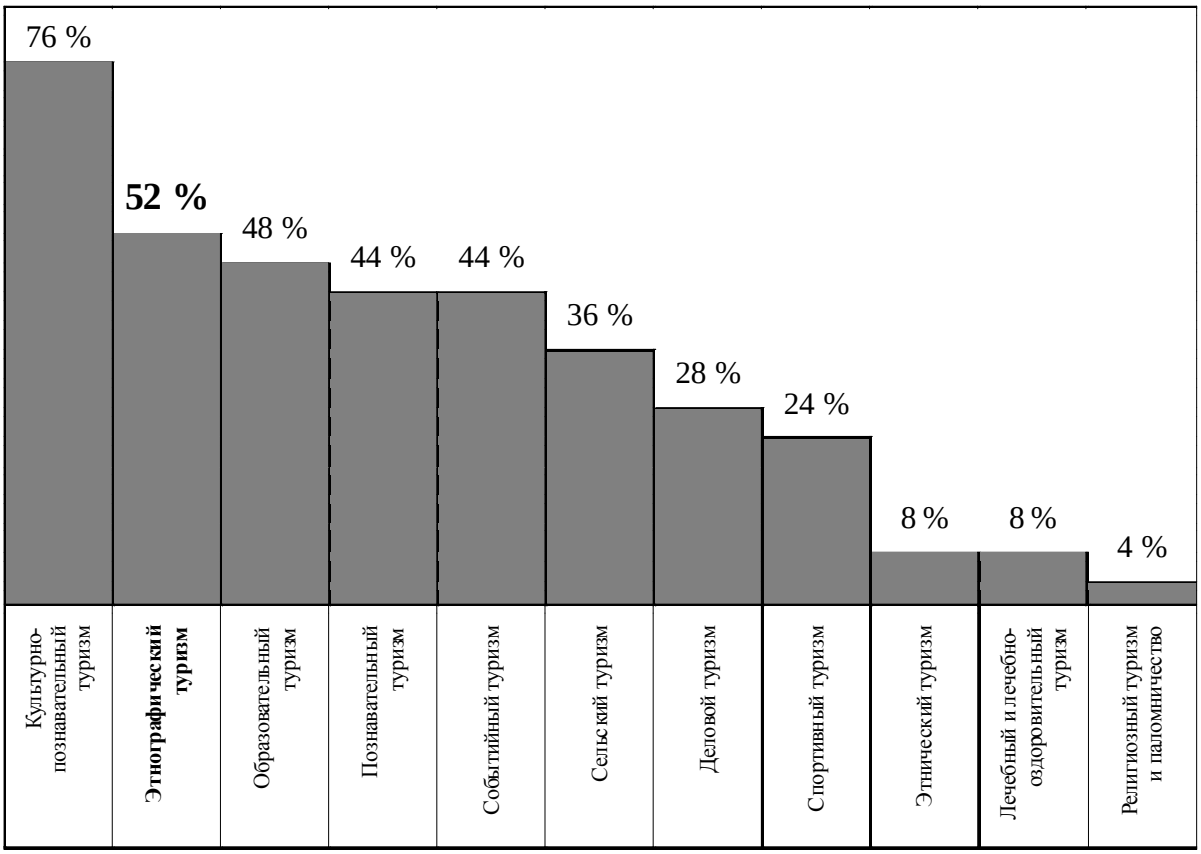


График № 3

Факторы, влияющие на выбор места и вида отдыха респондентов

График № 4

Популярность различных градостроительных условий расположения мест отдыха

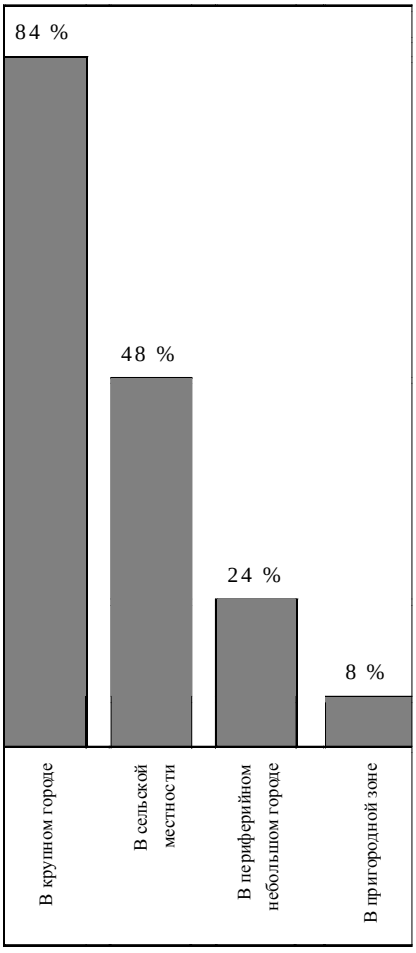
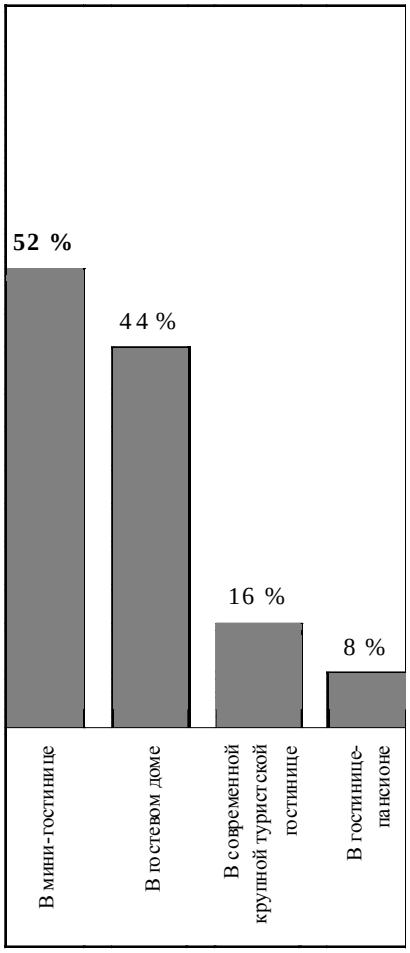


График № 5

Популярность различных средств размещения туристов



посещение интерактивных мастерских, возможность участия в процессе создания продукта народно-художественных промыслов).

С целью изучения иностранных языков или углубления знаний (образовательный туризм) предпочитают ездить отдыхать 48 % респондентов.

Событийный туризм (посещение национальных праздников, народных гуляний, выставок, фестивалей и т.д.) и экскурсионный (ознакомление с природными, историческими и культурными достопримечательностями стран) вызывает интерес у 44 % участников опроса (график № 2).

Из основных факторов, влияющих на выбор места и вида отдыха респондентов, были выделены следующие: наличие историко-архитектурных объектов (68 %), богатого культурного наследия (52 %), природно-климатические условия (32 %) и наличие народных художественных ремесел и промыслов (28 %). Возможность погружения в национальный уклад жизни, участия в карнавалах, праздниках, ярмарках, комфортные условия проживания являются определяющими для 24 % респондентов (график № 3).

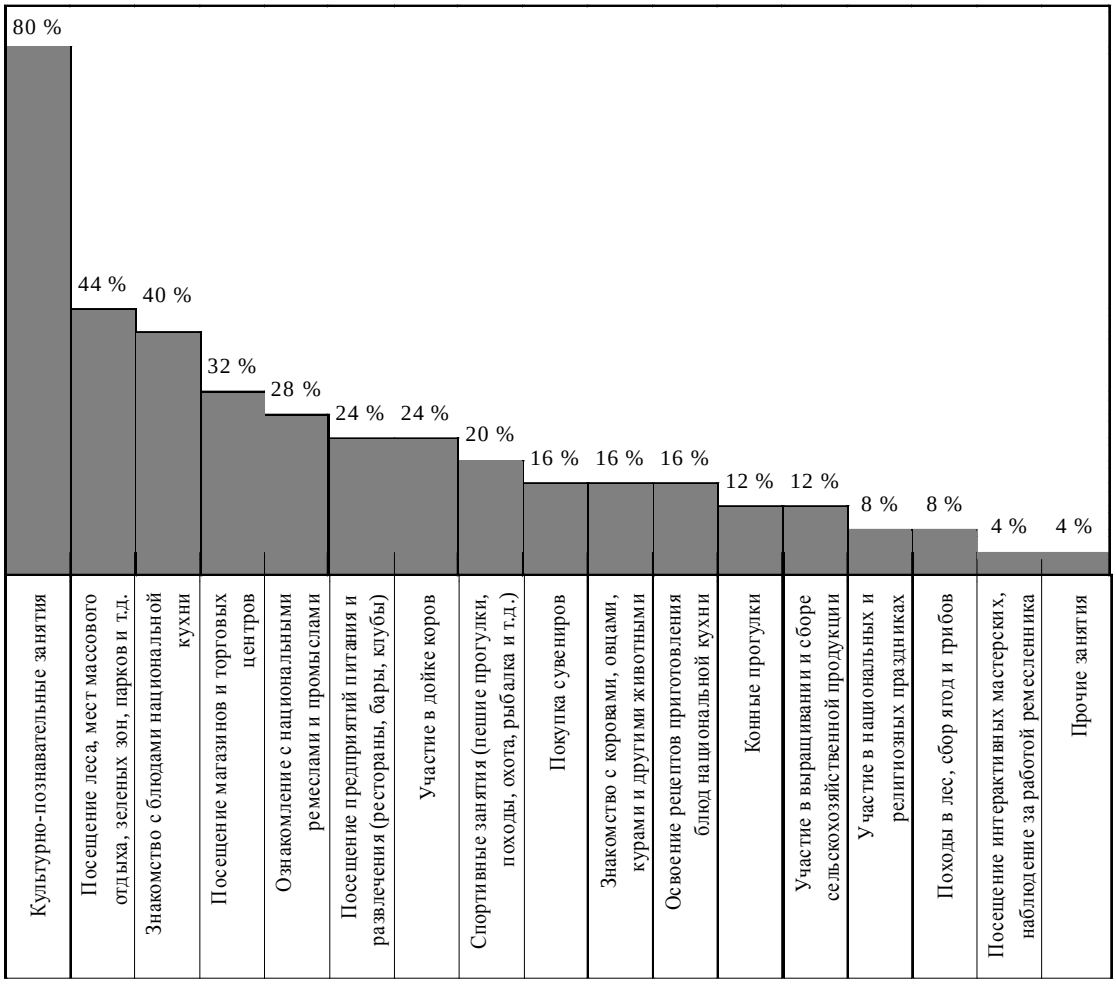
Наиболее популярные градостроительные условия расположения места отдыха. Более половины опрошенных предпочитают останавливаться во время отдыха в крупном городе (84 %), 48 % респондентов хотели бы остановиться в сельской местности, в периферийном небольшом городе – 24 %, а в пригородной зоне – 8 % (график № 4).

Наиболее востребованные средства размещения. 52 % респондентов хотели бы остановиться в мини-гостинице, 44 % – в гостевом доме, в современной крупной туристской гостинице – 16 % и 8 % предпочитают на отдыхе остановиться в гостинице-пансионе (график № 5).

Предпочтения респондентов относительно видов деятельности на отдыхе распределились следующим образом: основная часть опрошенных (80 %) предпочитает на отдыхе культурно-познавательные занятия (посещение музеев, мастерских, памятников и т. д.); примерно 44 % опрошенных интересует посещение леса, мест массового отдыха, зеленых зон, парков; почти 40 % опрошенных выразили желание ознакомиться с национальной кухней, около 32 %

График № 6

Распределение предпочтений респондентов по видам деятельности на отдыхе



опрошенных хотели бы посетить магазины и торговые центры, не менее 28 % респондентов проявили желание ознакомиться с национальными художественными ремеслами и промыслами (график № 6).

В целом, всех респондентов интересует культура своей страны и других стран. 87,5 % опрошенных проявляет интерес к народным художественным промыслам, процесс работы мастера-ремесленника хотели бы увидеть 75 % опрошенных, а желание поучаствовать в мастер-классе и изготовить что-нибудь своими руками выразили 72 % респондентов. В мини-гостинице с помещениями для ремесленной деятельности хотели бы отдохнуть 62,5 % респондентов.

Анализ интереса участников опроса к различным видам традиционной декоративно-прикладной деятельности был выполнен с использованием методов математической статистики. Фрагмент анализа представлен в табличной форме (таблица 1).

В результате анализа результатов проведенного исследования определился перечень наиболее востребованных видов НХП, которые целесообразно включать в состав мини-гостиниц с помещениями для ремесленной деятельности:

1. Художественная обработка дерева и других растительных материалов.
2. Художественная керамика.
3. Производство строчевышитых изделий НХП.
4. Художественное ручное ткачество.
5. Художественное ковроткачество и ковроделие.
6. Художественное ручное кружево.
7. Художественная ручная роспись и набойка ткани.
8. Производство ювелирных изделий.
9. Татарская национальная кухня.
10. Животноводство и пчеловодство.

На основании выбранных видов НХП сделано предложение по типологии мини-гостиниц для этнографического туризма (таблица 2).

В качестве следующего этапа научного исследования предполагается разработка составов и обоснование выбора габаритов помещений производственных, жилых и вспомогательных зон мини-гостиниц для этнографического туризма.

Таблица 1

Обоснование выбора наиболее популярных видов НХП (фрагмент)

№	Виды производств	Группы изделий НХП / процесс	Кол-во ответов	%	Диаграмма предпочтений респондентов
1	Татарская национальная кухня	приготовление блюд национальной кухни	29	64	
		приготовление кулинарных изделий	10	20	
2	Аппликация по ткани	знакомство с ушковой техникой аппликации по ткани	11	24	
		изготовление настенных панно – картин	19	40	
3	Художественное ткачество	изучение основных техник ткачества	20	44	
		Изготовление узорных, многоцветных тканей	13	28	
		изготовление декоративных полотенец, покрывал, скатертей	9	20	
		изготовление тканых дорожек, ковриков	6	12	
		изготовление тканых занавесей, пологов, подзоров	4	8	
		изготовление тканых предметов одежды	8	16	
		изготовление тканых предметов одежды	6	12	

Таблица 2

Функционально-пространственные типы мини-гостиниц с помещениями для ремесленной деятельности

№	Тип мини-гостиницы	Виды деятельности	Группы изделий НХП	Состав помещений производственной зоны
1	2	3	4	5
1	Дом столяра (плотника)	Художественная обработка дерева и других растительных материалов	Производство столярных, резных, долбленых, гнутосшивных, гнутоклееных изделий; инкрустация, обжигание, выжигание; изделия из ценной текстурной древесины; изделия из бересты, соломки, лозы, изготовленные в технике плетения и др.	Склад материалов, помещение для заточки инструментов, сушилка, станочное отделение, верстачное отделение, помещение окраски и полировки, комната рабочих, комната мастера, кладовая, торговое помещение, выставочный зал

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5
2	Дом гончара (скульптора)	Художественная керамика	Фаянсовые, фарфоровые изделия с ручной росписью, лепниной; изделия, выполненные способом ручной лепки, иные изделия ручного декорирования	Мастерская, кладовая, склад продукции, помещение для приготовления гипса, сырое помещение для глины, обитые цинком чаны, машинное отделение для приготовления глины, помещение для обжига, лаборатория
3	Дом швеи	Производство строчевышитых изделий НХП	Изделия из тканей и других материалов; золотое шитье, вышивка бисером; аппликация (ушковая техника и др.)	Магазин, склад, примерочная, раскроечная, пошивочная, гладильная
4	Дом ткача	Художественное ручное ткачество	Декоративные узорные ткани и тканые изделия	Магазин, склад, мастерская, гладильная
5	Дом ковродела	Художественное ковроткачество и ковроделие	Безворсовые гобеленные ковры в комбинированной технике исполнения	Магазин, склад, мастерская
6	Дом кружевницы	Художественное ручное кружево	Кружевные изделия ручного плетения на коклюшках (ныртинские кружева)	Магазин, склад, мастерская
7	Дом художника	Художественная ручная роспись и набойка ткани	Изделия из ткани, оформленные в технике ручной свободной росписи, горячего и холодного батика, ручной набойки с ручной росписью в традициях народного искусства	Магазин, склад, мастерская
8	Дом ювелира	Производство ювелирных изделий	Изделия из серебра, цветных металлов и сплавов, в том числе с полудрагоценными поделочными камнями	Магазин, склад, мастерская
9	Дом пекаря	Татарская национальная кухня	Выпечка хлеба, приготовление национальной выпечки и блюд национальной кухни	Магазин, склад, кухня, моечная, обеденный зал
10	Дом фермера	Животноводство, пчеловодство, мукомольное и молочно-товарное производство	Выращивание животноводческой продукции	Ферма, пасека, мельница, маслобойня

Литература

1. Федеральный закон от 6.01.1999 г. № 7-ФЗ «О народных художественных промыслах» (с изменениями от 22.08.2004 г., 5.12.2005 г., 18.12.2006 г., 26.06.2007 г., 23.07.2008 г.).
2. Перечень видов производств и групп изделий народных художественных промыслов, в соответствии с которым осуществляется отнесение изделий к изделиям народных художественных промыслов (утв. приказом Минпромнауки РФ от 8.08.2002 г. № 226).
3. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан № 957 от 31.12.2008 г. «Об утверждении Республиканской целевой программы сохранения, возрождения, изучения и развития народных художественных промыслов в Республике Татарстан на 2009-2011 годы».
4. Республиканская целевая программа сохранения, возрождения, изучения и развития народных художественных промыслов в Республике Татарстан на 2009-2011 годы. Утверждена постановлением Кабинета Министров Республики Татарстан от 31.12.2008 г. № 957.
5. Закон РТ № 3-ЗРТ от 12.01.2005 г. «О народных художественных промыслах и ремеслах».
6. Степанчук А.В., Мубаракшина Ф.Д., Моисеев М.В. Мини-гостиницы с элементами ремесел в учебном процессе на специальности «Проектирование зданий» // Материалы IV Всероссийской научно-методической конференции «Методика организации образовательного процесса на специальности 270114 – Проектирование зданий». – Казань, 2008. – С. 49-56.
7. Степанчук А.В. Участие студентов специальности «Проектирование зданий» в научно-исследовательской работе // Материалы IV Всероссийской научно-методической конференции «Методика организации образовательного процесса на специальности 270114 – Проектирование зданий». – Казань, 2008. – С. 57-62.
8. Федорова Ю.С. Типология туристских объектов на основе использования историко-архитектурного наследия (на примере Пензенской области) // Дисс. на соиск. степени канд. арх. – М., 1998.
9. Султаналиева А.Ш. Архитектурно-планировочное развитие инфраструктуры туризма в горно-озерном ландшафте Кыргызстана // Дисс. на соиск. степени канд. арх. – М., 1997.
10. Херувимова И.Ю. Принципы проектирования центров народных художественных промыслов // Дисс. на соиск. степени канд. арх. – СПб., 1995.
11. Мубаракшина Ф.Д., Степанчук А.В. О предпосылках формирования типологии мини-гостиниц для этнографического туризма // Известия КазГАСУ, 2009, № 1(11). – С. 30-35.
12. Лейбович С.Г. Сельские учреждения обслуживания с жилищем // Обзорная информация. – М.: ВНИИНТПИ, 1993.
13. Согомонян Н.М. Сельские жилые дома с местами приложения труда // Жилищное строительство, 1993, № 2.
14. Никитина Е.В. Формирование типологии зданий сферы обслуживания на основе новых форм собственности // Проблемы архитектуры села в условиях рыночной экономики. – М.: ЦНИИЭПграждансельстрой, 1992.
15. Мубаракшина Ф.Д. Принципы архитектурного формирования детских домов семейного типа с помещениями для трудовой деятельности // Дисс. на соиск. степени канд. арх. – М., 1996. – 135 с.
16. Иванов В.Н. Социология сегодня. Опыт и проблемы социологических исследований. – М., 1989.

УДК 691.33
Ф.М. Забирова – советник РААСН, старший преподаватель
Тел.: 89033409818, e-mail: zfm.2000@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫЙ ПЛАНИРОВОЧНЫЙ КАРКАС ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН И ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ АКУПУНКТУРЫ» К ЕГО УЗЛОВЫМ ЭЛЕМЕНТАМ

АННОТАЦИЯ
В статье автором делается попытка применить методы бионики и восточной медицины в градостроительной реконструкции для конкретизации механизмов применения принципа «градостроительной акупунктуры» к узловым и линейным элементам Историко-культурного каркаса Республики Татарстан и показать огромный и ещё недостаточно исследованный потенциал его как эффективного метода.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: градостроительная система расселения, историко-культурный планировочный каркас, «градостроительная акупунктура», биологическая закономерность «сила – длительность».

F.M. Zabirova – adviser of RAASN, senior lecturer
Tel.: 89033409818, e-mail: zfm.2000@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

HISTORCAL-CULTURAL PLANNING FRAMEWORK OF TERRITORY OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN AND "PLANNING ACUPUNCTURE" METHOD APPLICATION TO ITS NODE ELEMENTS

ABSTRACT
In the article author attempts to use methods of the bionics and east medicine in planning reconstruction to concrete the mechanism of "planning acupuncture" principle application to node and linear element of historical-cultural framework of the Republic of Tatarstan and to show that its potential as an efficient method is insufficiently explored.

KEYWORDS: planning settling system, historical-cultural planning framework, "planning acupuncture", and biological regularity "power – duration".

Экономический кризис отражается в градостроительстве, как и во всех сферах жизни, и вносит свои коррективы, но он же выявляет болевые точки, заставляет искать новые подходы и дает возможность взвешенно принимать решения. В проектировании и управлении градостроительными системами городов как создаваемых людьми больших искусственных систем всё чаще используется принцип «градостроительной акупунктуры», впервые сформулированный в 1972 году Джэйми Лернером. Анализ литературы по градостроительной тематике показывает, что термин используется довольно широко, в этот модный термин каждый раз вкладывается разный смысл. К сожалению, его чаще применяют в качестве красивой метафоры, а не действенного метода.

В данной статье делается попытка применить принцип «градостроительной акупунктуры» при помощи методов, заимствованных из традиционной восточной медицины и бионики применительно к **историко-культурному планировочному каркасу** Республики Татарстан. Рассматриваемый планировочный каркас выделен в разделе «Обеспечение сохранения историко-культурного наследия», разработанном автором данной публикации совместно с кандидатом исторических наук Р.М. Валеевым и М.А. Кондаковой в рамках Схемы территориального планирования Республики Татарстан. При работе над статьёй автора консультировал доктор медицинских наук, профессор Н.У. Ахмеров.

Территория Республики Татарстан рассматривается как **градостроительная система расселения,** целостность, выделенная из внешней среды с определенной целью в рамках определенного временного интервала. Градостроительная система состоит из множества элементов, находящихся в отношениях и связях между собой. Историко-культурный планировочный каркас – это представление исторической градостроительной системы расселения в виде системы **узловых и линейных компонентов**,

выявленных в результате историко-генетического анализа развития территории Республики Татарстан. На незначительной в масштабах Российской Федерации территории республики поставлено на государственную охрану 1635 объектов и выявлено 3500 объектов археологии. Исторические города, старинные сельские поселения, их природно-ландшафтное окружение, исторические сухопутные и водные пути сообщения рассматриваются как особые виды культурного наследия.

Узловыми компонентами историко-культурного каркаса предлагается считать: исторические поселения, музеи-заповедники, достопримечательные места, территории сосредоточения объектов культурного наследия, охраняемые природные территории.

В качестве **линейных компонентов историко-культурного каркаса** предлагаются: природно-культурные оси, трассы древних дорог и трактов; трассы оборонительных линий, транспортные и межселенные коммуникации.

Главными узловыми компонентами историко-культурного каркаса в Схеме территориального планирования Республики Татарстан приняты **исторические поселения.** В Список исторических населенных мест России, утвержденный в 1990 г., входят: **Казань, Бугульма, Елабуга, Чистополь, Мамадыш, Мензелинск, Куйбышев (Болгары), Тетюши, н.п. Свияжск и р.п. Лаишево.** В Список исторических населённых пунктов Республики Татарстан, утверждённый в 2000 г.. кроме этих поселений, включены **с.п. Билярск и города Буинск и Менделеевск** (всего 13 населённых пунктов).

В результате историко-градостроительного анализа предлагается включить в Список исторических поселений России следующие населенные пункты: **Агрыз, Арск, Азнакаево, Заинск, Кукмор, Новошешминск,** на уровне республики: **Пестрецы, Рыбная слобода, Черемшан, села Заказанья.**

Важными узловыми элементами историко-культурного каркаса РТ также являются государственные музеи-заповедники, созданные постановлениями правительства РТ:

Болгарский государственный историко-архитектурный заповедник в Спасском районе,

Елабужский государственный историко-архитектурный и художественный музей-заповедник,

Иске-Казанский государственный историко-культурный и природный музей-заповедник в Высокогорском районе,

Билярский государственный историко-археологический и природный музей-заповедник в Алексеевском районе,

Государственный историко-архитектурный и художественный музей-заповедник **«Казанский Кремль»**,

Государственный историко-культурный музей-заповедник «**Ленино-Кокушкино**» в Пестречинском районе.

В настоящее время разработана и проходит согласование Концепция создания и развития федерального государственного учреждения «Историко-архитектурный и художественный музей-заповедник «Остров-град Свияжск».

Самыми уязвимыми узловыми компонентами историко-культурного каркаса являются **места сосредоточения объектов культурного наследия,** в том числе выявленных объектов археологического наследия. Из-за несовершенства российского законодательства в области охраны памятников истории и культуры по оценке Российского института естествознания в России в день сносится один объект культурного наследия. Особенно большие потери памятников деревянного зодчества и объектов археологического наследия и это безвозвратно утрачиваемый материальный и духовный ресурс. Принимаемые государством меры не эффективны и недостаточны, но это тема другой публикации.

Анализ количества и размещения объектов культурного наследия, состоящих на государственной охране, и выявленных археологических объектов (всего 5026) на территории РТ показал: примерно половина всех охраняемых государством объектов культурного наследия и выявленных археологических объектов (2299 объекта) сосредоточено в 5-ти территориальных единицах (Казань, Алексеевском, Спасском, Чистопольском и Елабужском районах). На территории 22 районов количество объектов культурного наследия варьирует от 5 до 75. А на территории 4-х районов республики (Азнакаевский, Бавлинский, Дрожжановский, Ютазинский) объекты культурного наследия, находящиеся на охране у государства, отсутствуют. Это не отражает объективной картины наличия объектов, а показывает лишь степень изученности этих территорий.

По историко-культурному признаку выявлены следующие 5 зон сосредоточения объектов культурного наследия: Приказанская, Болгаро-Билярская, Закамская, Юго-восточная и зона «новых» городов.

Охраняемые природные территории также включены в историко-культурный каркас, так как природное и культурное наследие нерасторжимо.

Потенциально узловыми компонентами могут стать **достопримечательные места** как объекты культурного наследия.

Единственным официально утвержденным достопримечательным местом является остров Свияжск. Предлагается в качестве достопримечательных мест оформить ранее названные историко-культурными заповедными территории, которые остались без статуса, так как эта категория отменена Федеральным законом № 73-ФЗ. В первую очередь предлагается официально закрепить статус достопримечательных мест следующим территориям:

- «Старо-Татарская Слобода» («**Иске татар бистэсе**») в Казани;
- «**Имение Ушковых**» в Менделеевском районе;
- «**Джукетау**» в Чистопольском районе;
- «**Чаллы**» в Рыбно-Слободском районе;
- «**Долгая Поляна**» в Тетюшском районе.

Линейными компонентами историко-культурного каркаса являются:

- природно-культурные оси: реки Волга и Кама, реки Волго-Камского бассейна на территории республики, на берегах которых в течение 18 тысячелетий формировались поселения; трасса Великого Волжского пути, проходившего по реке Волге и вдоль неё на всем протяжении по территории республики; «зеленые коридоры» непрерывной зелени;

- трассы оборонительных линий: Танкеевского вала, Закамской засечной черты, Новой Закамской засечной черты и Шешминского вала;

- трассы древних дорог и трактов: Московского тракта, Зюрейского тракта, Алатской и Галицкой дорог, Сибирского тракта, Оренбургского тракта (Ногайской дороги);

- исторически сложившиеся транспортные и межселенные коммуникации: сеть современных федеральных и региональных и местных транспортных магистралей, часть которых закрепили трассы исторических дорог.

Таким образом, историко-культурный каркас Республики Татарстан – это сложная, сформировавшаяся в течение многих веков система, неразрывно связанная с уникальными природными ландшафтами. Высокий историко-культурный потенциал, включающий в себя также и нематериальное наследие, используется недостаточно и является ресурсом развития территории. В Схеме территориального планирования предлагаются мероприятия по развитию каждого из элементов историко-культурного каркаса. При этом автору настоящей статьи хотелось бы найти более эффективный механизм воздействия на компоненты историко-культурного каркаса с точки зрения реализуемости в условиях экономического кризиса.

Если принять восточное представление о Земле как организме, можно представить в качестве рабочей гипотезы территорию Республики Татарстан как живой организм, у которого выявлены аналоги биологически активных точек и путей взаимодействия этих точек друг с другом. В восточной медицине эти пути обозначаются как «меридианы» и «каналы», по которым движется энергия «Чи». Для «градостроительной акупунктуры» эти же узловые компоненты историко-культурного каркаса можно представить в виде аналогов «биологически активных точек». В свете этого определения можно смоделировать, что воздействуя на аналоги этих точек на поверхности Земли, можно получить реакции не только в местах воздействия, но и по линейным элементам каркаса в отдаленных точках. В этой парадигме историко-культурный каркас можно рассматривать также как «энергетический каркас».

Из этого следует, что, воздействуя на узловые элементы каркаса (аналоги точек акупунктуры) с помощью создания там комплексов и локальных архитектурных объектов, можно во многом исправлять негативные последствия дисгармоничной застройки подобно тому, как иглоукалывание исправляет болезненные последствия неправильной телесной конституции. При этом предлагается также руководствоваться подходами даосской традиционной медицины, в соответствии с которыми все в мире и в человеке подразделяется на общие категории ЯН и ИНЬ, с ними соотносятся все жизненные явления. Согласно канонам акупунктуры, категория ЯН обозначает активные проявления жизни, которые внешне выражаются в высокой интенсивности обменных процессов, в повышенной реактивности на внешние и внутренние стимулы, в повышенном расходе энергии и питательных веществ, в быстрой изменчивости внешних форм и т.п. Категория же ИНЬ, наоборот, обозначает проявления жизни, связанные с пониженной активностью. Это внешне проявляется низкой интенсивностью обмена веществ, пониженной реактивностью на стимулы, стремлением к сохранению и накоплению энергии и питательных веществ, в замедленной изменчивости внешних форм и т.п.

В случаях, когда в организме начинается постоянное преобладание ЯН, начинается избыточное расходование жизненных ресурсов, что приводит его к заболеваниям и гибели. В случае же, когда имеет место постоянное преобладание ИНЬ, организм заболевает и гибнет вследствие замедления его жизненных процессов, отравления не утилизируемыми продуктами обмена веществ, нарушений адекватных реакций на внешние стимулы и т.п. В норме ЯН и ИНЬ должны быть уравновешены друг с другом и, по представлениям восточной медицины, это является основным условием сохранения здоровья организма.

Рассмотрим возможность определения территорий и воздействий на них категорий ЯН и ИНЬ в градостроительной деятельности. При закладке городов ставилась стратегическая задача: города возникали как крепости или как торговые центры на торговых путях, вдоль рек и у источников воды. Главную градоформирующую роль играли храмы и крепостные сооружения, которые можно считать янским элементом, торговые площади, производства также можно отнести к янским зонам. Иньскими зонами можно считать сложившиеся жилые районы, складские территории и неосвоенные в пределах города территории (пострадавшие от пожаров или разрушений), которые превращаются в археологические объекты.

Можно сказать, что территории новостроек с их современными архитектурными формами, промышленными предприятиями, протяженными

транспортными сетями должны быть отнесены к категории ЯН (назовем их **зонами I типа**). Районы же городов с сохраняющейся старинной застройкой, с сохраняющимся традиционным укладом жизни, с меньшей насыщенностью транспортом должны быть отнесены к категории ИНЬ (назовем их **зонами II типа).**

Если рассматривать Территорию Республики Татарстан как единый организм в пределах границ территории субъекта РФ, то представляется, что зону «новых» городов в Восточном Закамье и Юго-Восточная зону с новыми городами можно отнести к зонам I типа, а Приказанскую и Булгаро-Билярскую зону – к зоне II типа.

Конечно, такое подразделение не абсолютно. И подобно тому, как это утверждается в даосской философии и медицине (о том, что в ЯН всегда присутствуют элементы ИНЬ, а в ИНЬ всегда присутствуют элементы ЯН), в зонах I типа можно встречать элементы зоны II типа, а в зоне II типа присутствуют территории зон I типа. Елабужскую подзону Закамской зоны можно считать сбалансированной территорией (исторический центр с музеем-заповедником – территория II типа, Особая экономическая зона – территория I типа).

Процессы реконструкции исторически сложившейся городской среды могут происходить либо за счет очень длительных, но незначительных по своему воздействию на окружающих изменений сложившейся городской среды, либо за счет быстрого появления в ней совершенно новых по своей стилистике городских зданий. В первом случае это могут быть длительно протекающие поэтапные реконструктивные мероприятия целых кварталов и комплексов. Во втором случае это возведение в краткие сроки новых (чаще высотных для получения большой прибыли) современных зданий в районах исторической застройки. В исторических городах с высокой инвестиционной активностью в условиях рыночных отношений происходит стремительный перевес в сторону увеличения зон I типа за счет сокращения зон II типа. Уже десятки лет в нашей стране активно разрушаются объекты культурного наследия (по данным Российского Института искусствознания со скоростью один-два памятника в день в России). На месте снесенных или сожженных объектов культурного наследия или объектов исторической среды появляются новые здания повышенной этажности, не адаптированные к сложившейся среде и нарушающие целостность сложившейся застройки. Примером может служить активная застройка исторического центра Казани, такая же картина наблюдается в Москве, Екатеринбурге, Уфе, Самаре и других российских городах. При этом коренные жители и подрастающее поколение наблюдают это варварство и болезненно реагируют на потери, а у многих молодых это создает предпосылки маргинализации сознания и представления, что историко-культурное наследие не представляет ценности. О расхождении позиций в этом вопросе можно судить по публикациям в СМИ и блогам в интернете. Возобновление работы Татарстанского отделения Общества охраны памятников истории и культуры является проявлением озабоченности и тревоги общественности, в основном интеллигенции, отражением потребности противостоять потере историко-культурного наследия и культурной идентичности.

Очевидно, что между этими двумя крайностями должен быть такой режим градостроительной реконструкции исторически сложившейся среды, который позволил бы, с одной стороны, оптимально сочетать как особенности пороговых эффектов слабых и длительных воздействий на людей, так и, с другой, особенности эффектов, достигаемых сильными и короткими по времени воздействиями.

В бионике этот режим известен, существует ряд разработок по внедрению в искусственные системы **биологической закономерности «сила – длительность».** В соответствии с этой закономерностью в отношении любых способных к начальным пороговым ответным реакциям небиологических систем можно выстраивать графики, характеризующие эти пороговые ответы. При этом ответы на внешние стимулы могут возникать либо при слабых, но длительных воздействиях, либо при сильных, но коротких по времени воздействиях. Постепенно увеличивая силу порогового стимула и укорачивая время его воздействия на систему, мы в итоге получаем график в виде гиперболической кривой, на котором с правой стороны будут отражены пороговые реакции на слабые, но длительные стимулы, а с левой стороны – пороговые реакции системы на сильные, но короткие стимулы. Наиболее оптимальные для каждой системы режимы находятся в средней точке гиперболической кривой «сила – длительность». И биологические, и искусственные системы, функционирующие в соответствии с особенностями пороговых характеристик этой точки, работают в наиболее щадящем для этих систем режиме и с наименьшими затратами энергии. В данном случае – энергии человеческих ресурсов, необходимых для градостроительной реконструкции исторических поселений.

Следовательно, используя закономерность кривой «сила – длительность», мы можем добиваться того, чтобы, с одной стороны, проводить постепенные изменения традиционных среды обитания людей в городах и не останавливать их естественного развития, а с другой – делать это наиболее оптимальным образом, сохраняя преемственность городской культуры, давая населению постепенно адаптироваться, избегая процессов культурной маргинализации подрастающих поколений. Все эти изменения вполне могут быть выражены в гибком применении режимов градостроительной

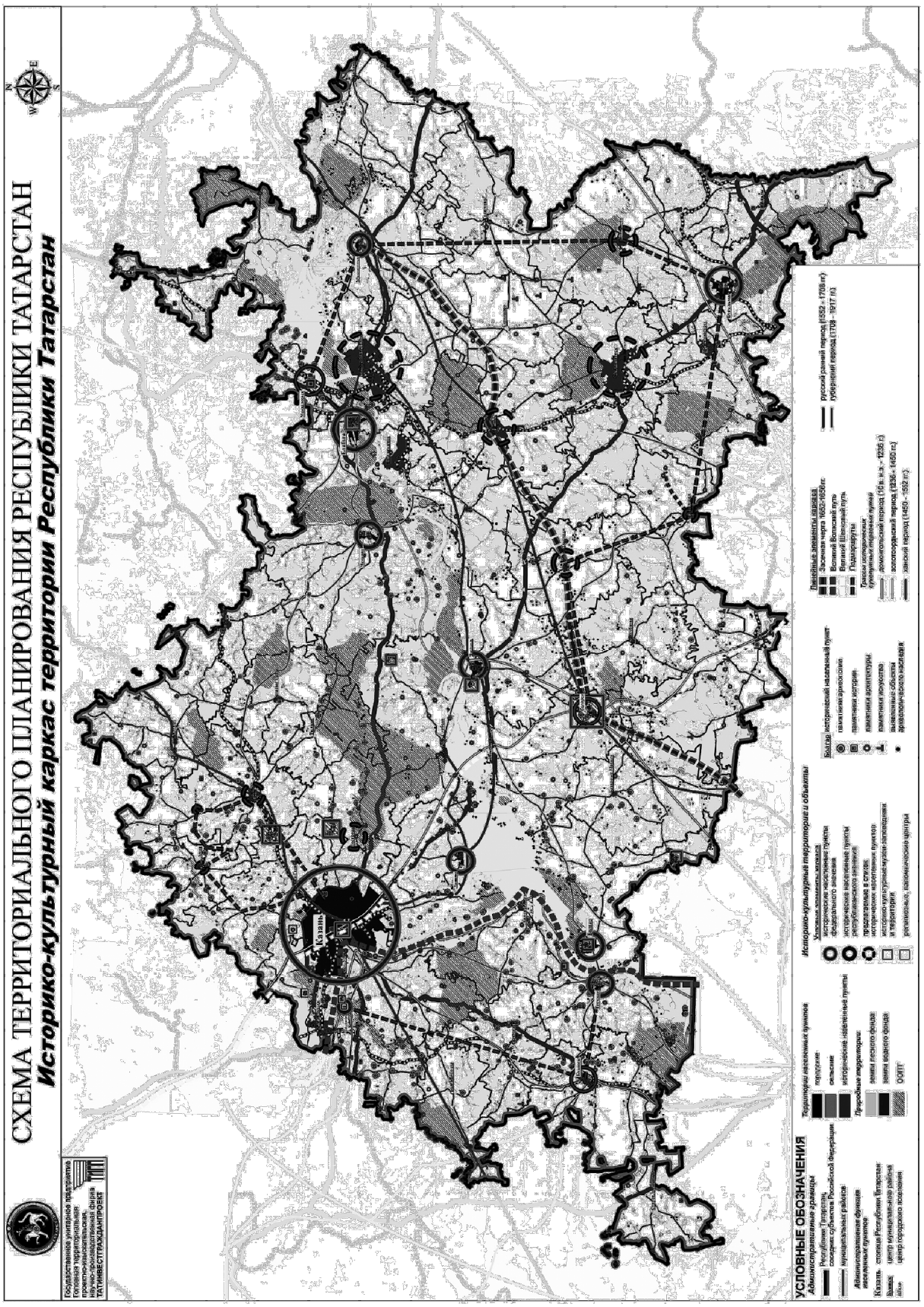


СХЕМА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
Историко-культурный каркас территории Республики Татарстан
Государственное унитарное предприятие Республики Татарстан проектно-изыскательских, научно-производственная фирма ТАТИНВЕСТГРАЖДАНПРОЕКТ
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
Территории населенных пунктов
городские
сельские
исторические населенные пункты
Природные территории:
зоны лесного фонда
зоны водного фонда
ООПТ
Историко-культурная территория и объекты
Условные элементы каркаса
исторические населенные пункты федерального значения
исторические населенные пункты республиканского значения
археологические памятники
памятники архитектуры
памятники искусства
выявленные объекты археологического наследия
Линейные элементы каркаса
Великий Волжский путь
Великий Шелковый путь
Пограничье
Границы историко-культурных регионов
русский ранний период (1552 - 1708 гг.)
губернский период (1719 - 1917 гг.)
ломоносовский период (16 в. н.э. - 1236 г.)
золотоордынский период (1236 - 1450 гг.)
ханский период (1450 - 1552 гг.)
Казань
Болгар

Рис.

реконструкции от регенерации до нового адаптивного строительства. Выбор режима I или II типа зависит в разных узловых элементах историко-культурного каркаса от ситуации и потребностей инвесторов и собственников, которых привлечет эффективное использование материальных средств. В этой ситуации возрастает роль предпроектного многоаспектного анализа для нахождения точек «акупунктуры», выбора оптимального режима и проектирования с целью нахождения «композиции интересов» с учетом интересов субъектов градостроительной деятельности, в том числе интересов коренных жителей. При подобном использовании принципов «градостроительной акупунктуры» по отношению к историческим поселениям можно оптимизировать градостроительную реконструкцию.

Формат и масштаб Схемы территориального планирования Республики Татарстан не позволяет проработку таких проектов, это уровень проектов планировки. В разделе обеспечения сохранения историко-культурного наследия предлагаются меры на международном, федеральном, региональном и местном уровнях по развитию компонентов историко-культурного каркаса для более эффективного использования историко-культурного потенциала.

В частности, предлагается развитие туризма и рекреации, что во многом обусловлено историко-культурным наследием и природными ресурсами региона. На территории Республики Татарстан возможны организация традиционных сухопутных и водных туристических маршрутов, развитие инфраструктуры туризма на основе культурно-исторических центров, а также таких видов активного отдыха, как охота и рыболовство, спортивный, экологический туризм, организация баз отдыха на водных объектах и др. В условиях кризиса толчок к развитию получил внутренний туризм.

Для дальнейшего развития историко-культурного каркаса и сферы туризма и рекреации в Республике Татарстан Схемой территориального планирования предлагается:

- организация международного туристического маршрута «Великий Волжский путь» – по «меридианам» организма Евразии развитие туристической инфраструктуры от Осло до Тегерана;

- организация федеральных туристических маршрутов «Закамская засечная черта», «Сибирский тракт – Арская дорога», «Оренбургский тракт – Ногайская дорога – Великий шелковый путь» – по линейным элементам историко-культурного каркаса пустить энергию, усилив узловые элементы развитием туристической инфраструктуры и др.

- создание Туристско-оздоровительного парка «Камские Поляны» – в иньской зоне усиление янского начала – зон активного отдыха, создание двух новых рекреационных зон регионального значения;

- организация федерального музея-заповедника «Остров-град Свияжск» – усиление иньского узла янской энергией;

- развитие полноценной инфраструктуры туризма и отдыха во всех существующих и формируемых узловых элементах историко-культурного каркаса, планомерное развитие сферы сопутствующих услуг.

Реализация этих мероприятий позволит создать рабочие места и гармонизировать социальную сферу, создать благоприятный климат для инвестиций и развития предпринимательства, в конечном итоге, максимально возможно сбалансировать энергии Ян и Инь. При этом надо активно заниматься маркетингом исторических поселений, разрабатывать и продвигать брэнды городов. Все это позволит развить историко-культурный каркас, использовать историко-культурный потенциал и увеличить въездной поток посетителей Республики Татарстан с 800 тыс. в настоящее время до 3000 тыс. человек на перспективу (2025-2030 гг.), а также среднюю продолжительность пребывания туристов на территории республики.

Таким образом, возможности применения методов «градостроительной акупунктуры» и бионики имеют широкие возможности и обогащают арсенал градостроительной деятельности. На примере мер по развитию элементов историко-культурного каркаса Республики Татарстан автором предпринята скромная попытка показать огромный и ещё недостаточно исследованный потенциал этого метода.

Литература

1. Трухачев Ю.Н. Общая теория градостроительных систем. – Ростов н/Д, 2006.
2. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М.: «Устойчивый мир», 2001. – С. 155.
4. Забирова Ф.М. О возможностях использования биологических методов в градостроительстве // Novitas-Выпуск 14. Бионический семинар-1. – Казань: «Школа», 2009.
5. Ахмеров Н.У. О перспективах развития архитектурной бионики // Novitas-Выпуск 11. Проблемы бионики. – Казань: «Школа», 2006.
6. Ахмеров У.Ш. О дальнейших перспективах бионических исследований кривой «сила-длительность» // Novitas-Выпуск 11. Проблемы бионики. – Казань: «Школа», 2006.
7. Казначеев В.П., Дмитриев А.Н., Мингазов И.Ф. Проблемы космоноосферной футурологии. – Новосибирск, 2005.

УДК 711.51; 711.581; 711.656; 728.1
Р.С. Закиров – кандидат архитектуры, доцент
Тел.: 89274124794, e-mail: ramil_altan@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)
Т.Г. Прокофьева – главный архитектор города Казани
Тел.: (843) 264-59-61

К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ ВЫСОКОПЛОТНОЙ МАЛОЭТАЖНОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ В Г. КАЗАНИ

АННОТАЦИЯ

Задача формирования среднего класса без обеспечения для него достойных жилищных и средовых условий невыполнима. Какое жилье нужно строить в Казани сегодня, чтобы оно было востребовано завтра? Во многих странах в городах актуальным считается малоэтажное жилищное строительство. Высокоплотная малоэтажная застройка не уступает многоэтажной застройке по своим технико-экономическим и социальным показателям. Нужен психологический перелом в сознании всех, кто связан с жилищным строительством. Рассматриваются типология малоэтажной жилой застройки и возможности формирования разнообразной городской среды. Исследуется его градостроительный, архитектурно-планировочный и композиционный потенциал. Использование современных технологий и материалов обеспечивает высокий уровень комфорта при относительно низкой стоимости. Цели и задачи внедрения новых типов малоэтажной жилой застройки в Казани требуют соответствующего научно-технического и проектного обеспечения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: малоэтажная высокоплотная жилая застройка, блокированные дома, малоэтажное домостроение.

R.S. Zakirov - candidate of architecture, associate professor
Тел.: 89274124794, e-mail: ramil_altan@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)
T.G. Prokofyeva – chief architect of the city of Kazan

ON THE DEVELOPMENT OF HIGH-DENSITY LOW-RISE RESIDENTIAL TYPOLOGY IN KAZAN

ABSTRACT

The task of forming a middle class without providing appropriate housing and environmental conditions is impossible. What kind of housing should be built in Kazan today for it to be successful tomorrow? Low-rise housing is considered quite relevant within urban areas in many countries. High density low-rise developments are comparable to high-rise developments in terms of its techno-economic and social indicators. We need a psychological breakthrough in the minds of all those associated with residential construction. The low-rise residential developments typology and possibilities of forming a diverse urban environment is considered, as well as its urban, architectural, planning and compositional potential. The use of modern technologies and materials ensures a high level of comfort at a relatively low cost. Introduction of new types of low-rise residential development in Kazan requires appropriate scientific, technical and project support.

KEYWORDS: low-rise high-density residential development, row housing, low-rise residential construction.

До недавнего времени жилищное строительство в городах России и, в частности, в Казани шло вразрез с мировыми тенденциями. Если в США и Европе велось активное строительство малоэтажных многоквартирных домов, таунхаусов, коттеджей, а многоэтажные здания строились в основном под офисы и гостиницы, то у нас в крупных городах большая часть населения сосредотачивалась в многоэтажных жилых домах.

В развитых странах мира ежегодно вводится до одного квадратного метра нового жилого фонда в расчете на душу населения. Причем этот жилой фонд на 60 % формируется из малоэтажных зданий. В США в последние годы вводилось до 300 млн кв. м нового жилфонда, доля малоэтажных домов составляла примерно 85 %. Эксперты отмечают, что Россия постепенно движется в этом же направлении.

С повышением качества жизни и увеличением доходов населения потребительские предпочтения в жилье сдвигаются в сторону большего комфорта, безопасности, экологичности, индивидуальности. И как бы ни были удобны квартиры в многоэтажных домах, по статистике, около 60 % наших соотечественников предпочли бы жить в малоэтажном доме, в экологически благоприятном месте, с городскими стандартами комфорта. Малоэтажное строительство может обеспечить формирование качественно новой среды обитания, связь жилища с природой. По сути, это совершенно иная философия жизни. Дом на земле формирует в человеке чувство собственности, ответственности. Жилье у большинства людей является единственным объектом недвижимости и поэтому все больше воспринимается ими как объект инвестирования. Соответственно возникают такие требования, как долговечность и надежность, а сегодня и энергоэффективность. Этим критериям в полной мере отвечают современные малоэтажные жилые дома. Если в Казани многие семьи будут жить в собственных домах, это поможет нашему городу решить, в числе прочих, и демографическую проблему, так как важнейшую роль в принятии семьей решения о третьем ребенке играет именно жилищная ситуация. Малоэтажный дом, в отличие от квартиры в многоэтажном доме, обладает большей гибкостью, имеет потенциал к трансформации, увеличению площади.

Государство сегодня провозгласило рынок городского малоэтажного строительства одним из перспективных направлений по реализации приоритетного национального проекта «Доступное и комфортное жилье – гражданам России». Развитие малоэтажного жилищного строительства – это вопрос политический, так как его реализация направлена, в том числе, и на формирование в стране «класса собственников», который имеет важнейшее значение для социально-экономического развития нашего государства, для формирования дееспособного гражданского общества и развития политической демократии.

По словам Виктора Басаргина, министра регионального развития РФ, «перед нами стоит задача в первую очередь повысить уровень малоэтажного строительства. По итогам 2008 года общие объемы малоэтажного строительства составляли 42 процента. У нас задача выйти по итогам 2012 года на уровень 60 процентов. И это немного – в Европе, например, эти показатели доходят до 70-80 процентов». Сегодня в Казани малоэтажная застройка могла бы полностью воплотить в себе идею современной комфортной городской среды.

Типология малоэтажного жилья. В основе типологического ряда малоэтажного жилья лежат две группы домов, отличающиеся объёмно-планировочным построением и, главным образом, характером связи с окружающей средой. К первой группе относятся жилые дома с прямой связью квартир с территорией. Это одноквартирные и жилые двухквартирные дома с приусадебными участками и хозяйственными вспомогательными постройками, которые принято называть усадебными домами, и многоквартирные блокированные дома, состоящие из блоков с различным числом квартир, каждая из которых имеет отдельный выход наружу.

К другой группе малоэтажных домов относятся многоквартирные жилые дома с выходами из квартиры через общие коммуникации: лестницы, галереи и коридоры. В зависимости от принятого приёма сочетания квартир и обеспечения их связи с окружающей территорией жилые дома этой группы делятся на дома секционного, галерейного и коридорного типов. Существуют примеры и комбинированного типа.

Из всех типов малоэтажных жилых домов наибольшими экономическими и бытовыми преимуществами обладает застройка блокированными домами. Этим и объясняется распространение блокированных домов (таунхаусов) в городской застройке за рубежом, иногда в сочетании с многоэтажными домами. Таунхаусы обеспечивают своим владельцам несколько больше преимуществ, чем квартиры в многоэтажных домах. Квартиры в домах блокированного типа имеют два входа. Это необходимо для связи с участком, часть которого перед домом со стороны улицы, а часть – за домом, что обеспечивает владельцам больше приватности, чем проживание в многоквартирном доме. Таунхаусы, как правило, имеют больше общей площади, чем квартира.

В отличие от многоквартирных домов, владение таунхаусом подразумевает индивидуальную собственность на землю и долевую собственность на коммуникации и общую инфраструктуру участка застройки, например, центральный внутренний двор. Прилегающая территория с главного фасада учитывает парковку 1-2 автомобилей. К плюсам можно отнести меньшие затраты на строительство и содержание в сравнении с отдельным домом, отсутствие подъездов, отсутствие соседей сверху или снизу, наличие собственного участка земли, а также возможность использования подземного пространства для создания подвального или цокольного этажа, возможность использования чердачного пространства (мансарды) или эксплуатируемой плоской кровли. К минусам можно отнести шум от соседей через смежные стены, общие сборы, взимаемые управляющей компанией, общие правила содержания территории, иные ограничения. Собственный участок земли, как правило, будет небольшим. При некоторых планировочных решениях жилье будет иметь общие с соседями входные зоны или лестницы.

Рядовая строчная застройка из блокированных домов создает плотность населения, сопоставимую с

5-этажной застройкой. Вне зависимости от способа блокировки планировки отдельных секций достаточно разнообразны и отвечают интересам как одиночных жильцов, так и пар, и небольших семей. Хорошие показатели дает внутриквартальная блокировка домов, объединенных вокруг общей территории, по кольцевым проездам. У домов блокированного типа, как правило, неограниченная ориентация по странам света. Благодаря этому обеспечиваются хорошие условия для инсоляции, освещённости, а также сквозного или углового проветривания. Кроме того, отсутствие ограничений в ориентации квартир позволяет свободно располагать дома на местности, создавать самые разнообразные планировочные решения. Простота конструктивных схем блокированных домов, многократная повторяемость и ограниченность числа элементов конструкций в них способствуют максимальной стандартизации конструктивных элементов. Если бы в черте города можно было поселиться в блокированном двух-трехэтажном доме с палисадником, нужда в дачном (садовом) участке отпала бы. Здесь есть немалая экономическая выгода: один дом всегда дешевле, чем два дома. Ценная пригородная земля, которая в больших количествах идет под садовые участки, могла бы быть использована с большей пользой для города. С другой стороны, на территориях многих садовых товариществ, вошедших в черту города Казани, при соответствующей самоорганизации и перепланировке можно было бы развить блокированную застройку. При этом половину участка в 4 сотки можно, например, продать, так как оптимальная секция блокированного дома с небольшим придомовым участком умещается на 2 сотках. В настоящее время минимальная площадь земельного участка в Казани составляет 400 кв. м. В разрабатываемых новых Правилах землепользования и застройки в г. Казани необходимо уменьшить предельные (минимальные) параметры земельного участка жилой единицы на одну семью в блокированном многосемейном доме. Так, в Нижнем Новгороде и Екатеринбурге 400 кв. м – это максимальная площадь земельного участка жилой единицы на одну семью в блокированном доме в зоне смешанной застройки индивидуальными жилыми домами, блокированными жилыми домами и многоквартирными домами (Ж–3). В Калининграде площадь приквартирного участка в застройке блокированного типа без площади застройки составляет 60-100 кв. м, а площадь приквартирного участка в застройке блокированных или многоквартирных 2-4 этажных домов (в том числе только для квартир первых этажей) без площади застройки составляет 30-60 кв. м.

На какие категории граждан рассчитано малоэтажное строительство. Развитие малоэтажного строительства должно улучшить ситуацию с жильем не только тем, кто нуждается в повышении статуса и качества жилищных условий. В Казани должен решаться вопрос о развитии малоэтажного жилья эконом-класса и социального жилья. Характер жилья будет зависеть от многих факторов: от проекта, технологии строительства, себестоимости квадратного метра и стоимости земли. Но он имеет свои неоспоримые преимущества: простота возведения, возможность применения для строительства местных материалов.

Развитие малоэтажного строительства необходимо включить в комплекс мероприятий, предусмотренных в муниципальной Программе “Жилье горожанам на 2007-2027 годы” и направленных на:

1) реализацию на территории муниципального образования города Казани целей и задач Приоритетного национального проекта “Доступное и комфортное жилье – гражданам России”;

2) обеспечение права жителей г. Казани на приобретение жилых помещений на рынке жилья за доступную плату;

3) увеличение объемов предоставления социального жилья и сокращение максимального срока ожидания улучшения жилищных условий казанцев, в установленном порядке признанных нуждающимися в улучшении жилищных условий;

4) повышение эффективности использования муниципального жилищного фонда и бюджетных средств, выделяемых на реализацию муниципальных жилищных программ.

Развитие малоэтажного жилищного фонда социального использования, обеспечение условий для малоэтажного жилищного строительства должны опираться на новые формы и механизмы улучшения жилищных условий жителей. В долгосрочной перспективе необходимо удовлетворять жилищные потребности населения без привлечения значительных объемов бюджетных средств. Но есть целый ряд проблем, без решения которых малоэтажное строительство в Казани развиваться не сможет. Главное – это инерция строительной индустрии, ориентированной в основном на многоэтажное строительство. Серьезная проблема заключается и в том, что сложилось мнение, что «малоэтажное строительство менее выгодно для инвесторов – чем больше этажей строится, тем больше прибыль», «рентабельность малоэтажных проектов ниже, чем многоэтажных». Есть, например, негативный опыт Московской области, где земельные участки, выделенные под малоэтажное строительство, активно переоформлялись под многоэтажное строительство. Отсутствие инженерных коммуникаций, дорог, школ, детских садов, больниц и других объектов инфраструктуры является также препятствием на пути развития малоэтажного строительства. Для решения этой проблемы необходимо полнее использовать возможности, принципы и приемы государственно-частного и муниципально-частного партнерства.

Тема малоэтажного строительства начинает сейчас активно рассматриваться во властных структурах республики и города. Появляются новые программы и проекты, призванные улучшить ситуацию со строительством доступного малоэтажного жилья. Сами девелоперы понимают, что сегмент малоэтажного жилья эконом-класса становится все более привлекательным. Он требует меньших вложений, строительство идет в более короткие сроки, объемы строительства больше, оборот средств происходит быстрее, что делает этот сегмент выгодным. Да и спрос на такое жилье более постоянен, тогда как спрос на элитное жилье, например, в связи с кризисом значительно сократился. В последнее время многие девелоперские компании постепенно переориентируются на малоэтажное строительство, а производители все чаще адресуют свои продукты и рекламные кампании частному застройщику. В сфере малоэтажного домостроения есть большие резервы интенсификации строительства. Развертывание производств для малоэтажного строительства требует незначительных (в сравнении с многоэтажным строительством) средств. Производства зачастую можно открывать непосредственно рядом с территорией будущего строительства. Соответственно, малоэтажные жилые районы, микрорайоны или кварталы можно одновременно строить по всему городу, развивая малый и средний бизнес, используя местные кадры, местные ресурсы.

Важным фактором, способствующим развитию малоэтажного жилья, может стать приказ Минрегионразвития России (№ 274 от 09.12.2008 г.). В нем говорится, что граждане и организации, выполняющие работы по проектированию и (или) строительству объектов, для которых не требуется получения разрешения на строительство, и объектов, проектная документация которых не подлежит государственной экспертизе, могут выполнять указанные работы, не вступая в СРО и не уплачивая вступительные, членские взносы, а также взносы в компенсационные фонды таких саморегулируемых организаций. Перечень указанных объектов установлен Градостроительным кодексом Российской Федерации и включает в себя следующие объекты:

1) отдельно стоящие жилые дома с количеством этажей не более чем три, предназначенные для проживания одной семьи (объекты индивидуального жилищного строительства);

2) жилые дома с количеством этажей не более чем три, состоящие из нескольких блоков, количество которых не превышает десять и каждый из которых предназначен для проживания одной семьи, расположен на отдельном земельном участке и имеет выход на территорию общего пользования (жилые дома блокированной застройки);

3) многоквартирные дома с количеством этажей не более чем три, состоящие из одной или нескольких блок-секций, количество которых не превышает четыре, в каждой из которых находятся несколько квартир и помещения общего пользования и каждая из которых имеет отдельный подъезд с выходом на территорию общего пользования;

4) отдельно стоящие объекты капитального строительства с количеством этажей не более чем два, общая площадь которых составляет не более чем 1500 квадратных метров и которые не предназначены для проживания граждан и осуществления производственной деятельности;

5) отдельно стоящие объекты капитального строительства с количеством этажей не более чем два, общая площадь которых составляет не более чем 1500 квадратных метров, которые предназначены для осуществления производственной деятельности и для которых не требуется установление санитарно-защитных зон.

То есть речь идет об объектах, в основном из которых и формируется малоэтажная застройка. Поэтому вполне логично ожидать, что предпринимательская деятельность в сфере малоэтажного строительства с 2010 года активизируется. В связи с этим для более полного участия малого и среднего бизнеса в малоэтажном строительстве необходимо развивать и смешанную жилую застройку разной этажности.

Зоны смешанной жилой застройки разной этажности. За рубежом смешанная застройка получила широкое распространение. Там часто встречаются жилые комплексы, в которых многоэтажные жилые дома сочетаются с блокированными двухэтажными домами или, для повышения плотности жилого фонда, с четырехэтажными домами с двухэтажными квартирами, имеющими частично приквартирные участки. Смешанная застройка разной этажности имеет определенные преимущества, позволяя регулировать плотность населения, полнее использовать рельеф местности, лучше учитывать требования инсоляции зданий, а также удовлетворять потребности различных возрастных и социальных групп населения жилой зоны. Очевидны и эстетические преимущества такой застройки: в сочетании с многоэтажными малоэтажные дома вносят разнообразие в объемно-пространственные решения, силуэт района, способствуют формированию более уютных, человечных архитектурных пространств.

В связи с этим хотелось бы отметить, что в новых Правилах землепользования и застройки, принятых в некоторых российских городах, в зонах многоэтажной жилой застройки даже в условно разрешенных видах использования не предусмотрено строительство малоэтажных жилых домов. Надо, чтобы разработчики новых Правил землепользования и застройки города Казани на это обратили особое внимание. В Екатеринбурге, в зоне Ж–5 (зона многоэтажной жилой застройки 5 и более этажей) в условно разрешенных

видах использования предусмотрены многоквартирные жилые дома до 5 этажей. В Калининграде в зоне Ж-1 (зона застройки многоэтажными жилыми домами) к условно разрешенным видам использования относятся многоквартирные жилые дома 2-6 этажей и многоквартирные жилые дома 2-4 этажа. Сегодня главным становится принцип зонирования территории города по преимущественно «разрешенному» функциональному использованию с установлением регламентов для отдельных территориальных зон в условиях конкретной градостроительной ситуации. В соответствии со статьей 35 «Виды и состав территориальных зон» Градостроительного кодекса РФ в состав жилых зон могут включаться зоны жилой застройки иных видов. К ним могут быть отнесены зоны жилой застройки смешанной этажности. В новых Правилах Казани надо предусмотреть возможность распространения таких зон на территории муниципального образования, разнообразить их по типологическому содержанию.

Территории для малоэтажной жилой застройки. Возможность активного развития малоэтажного жилищного строительства в г. Казани необходимо учесть при разработке новых проектов планировок, как в старых границах города, так и на присоединенных территориях:

- «Поселок офицеров» Советского района, площадью 586 га;
- район «Гривка» Кировского района, площадью 88 га;
- районы «Портовая набережная», «Центральная набережная» и «Южная набережная», которые расположены вдоль Волги, вместе образуют приволжские территории общей площадью 4900 га;
- жилой район «Восточный» площадью 2200 га, расположенный на перспективном Вознесенском тракте;
- на 2-х территориях района «Северо-Восточный». Первая – в районе Дербышки-Царицынский Бугор, площадью 2700 га, вторая – в районе Константиновки площадью 3800 га;
- территории в районе Кадышево площадью 750 га. Несмотря на то, что генпланом города эта территория не планировалась под жилищное строительство, проектная концепция доказывает возможность создания здесь экологически чистого, энергоэффективного малоэтажного жилого района;
- на территории «поселения-спутника», которое проектирует фирма «Брик» совместно с собственниками смежных земельных участков в районе населенного пункта Вишневка;
- на территории планируемого микрорайона «Новая Вишневка».

Малоэтажное домостроение. В мире существуют развитые технологии изготовления сборных малоэтажных домов. В России заводы по производству комплектов малоэтажных домов разной мощности запускаются постоянно. Например, по одной технологии «Экопан» их уже 40 в стране. В Санкт-Петербурге запущен самый крупный в Европе завод каркасно-панельного домостроения. Согласно проекту «Свой дом» партии «Единая Россия» планируется строительство десяти заводов OSB (Oriented Strand Board – ориентированно стружечная плита из плоской щепы хвойных пород), десяти – по производству термоструктурных пенополистирольных панелей, семи – по производству несъемной опалубки, утеплителя из пенополистирола, ста – по производству комплектов зданий по каркасно-панельной технологии. Всего будет введено 200 предприятий по производству материалов для малоэтажного домостроения и комплектов домов во всех регионах России. Хотелось бы, чтобы Казань стала флагманом в этом деле. Движение в этом направлении уже есть. Например, при поддержке муниципальных властей российская группа компаний «Металл Профиль» открыла в Казани завод по производству быстровозводимых малоэтажных домов. Завод строит амбициозные планы по строительству до 400 домов в год (а в перспективе – до 1 тыс. домов в год). Панельно-каркасное домостроение сегодня не получило пока широкой популярности в России. К слабым местам этой технологии эксперты относят то, что средний срок службы панелей 25-30 лет, по истечении которых их необходимо заменить. Несомненно, наш город обладает научным, техническим и ресурсным потенциалом для разработки и производства комплектных изделий для малоэтажных жилых домов по быстровозводимым технологиям, имеющим более долгий срок службы.

В заключение хотелось бы сказать, что в целом для города Казани назрела необходимость в разработке концепции и схемы размещения малоэтажной жилой застройки как на свободных от застройки, так и на застроенных территориях, подлежащих реконструкции. Надо также создать унифицированную номенклатуру малоэтажных жилых домов и жилых групп различного типа для массового строительсва на территории города.

Литература

1. Градостроительный кодекс РФ (от 29.12.2004 № 190-ФЗ).
2. Правила застройки и землепользования г. Казани.
3. Правила землепользования и застройки в городе Нижнем Новгороде.
4. Правила землепользования и застройки городского округа – муниципального образования “Город Екатеринбург”.
5. Правила землепользования и застройки муниципального образования «Городской округ «Город Калининград».
6. Муниципальная программа г. Казани “Жилье горожанам на 2007-2027 годы”.
7. Приказ Министра регионального развития Российской Федерации от 9 декабря 2008 г. № 274.
8. Проект «Свой дом» партии «Единая Россия».

УДК 528.2
Р.А. Кащеев – доктор физико-математических наук, профессор
Тел.: (843) 292-65-02, e-mail: rafael.kascheev@ksu.ru
Р.В. Загретдинов – кандидат физико-математических наук, доцент
Р.В. Комаров – ассистент
Тел.: (843) 292-65-02, e-mail: rkomarov@ksu.ru
Казанский государственный университет (КГУ)

ПРОЕКТ СЕТИ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ ГНСС СТАНЦИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОГО ПОЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются перспективы развития сети постоянно действующих ГНСС станций на территории Республики Татарстан. Данная наземная инфраструктура позволит решать задачи оперативного координатно-временного и навигационного обеспечения всем пользователям ГЛОНАСС/GPS систем в реальном времени. Использование сети постоянно действующих станций обеспечивает сантиметровый уровень точности определения координат, что позволит, на наш взгляд, значительно расширить число потребителей навигационной информации, заинтересованных в решении задач изысканий, геодезии, строительства, транспорта, землеустройства, сельского хозяйства, туризма, управления территориями и других отраслей экономики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГЛОНАСС, GPS, Глобальные навигационные спутниковые системы, постоянно-действующие базовые станции, геодинамика.

R.A. Kascheev – doctor of physical-mathematical sciences, professor, associate professor
Tel.: (843) 292-65-02, e-mail: rafael.kascheev@ksu.ru
R.V. Zagretdinov – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor
associate professor
R.V. Komarov – assistant
Tel..: (843) 292-65-02, e-mail: rkomarov@ksu.ru
Kazan State University (KSU)

THE PROJECT OF GNSS REFERENCE STATIONS NETWORK PROVIDING HIGH PRECISION POSITIONING AND TIMING IN TATARSTAN

ABSTRACT

The prospects of building of continuously operating reference stations (CORS) network on the territory of Republic of Tatarstan are discussed. This new ground-based infrastructure will allow to carry out in a real time many tasks of high precision positioning and timing for all users of GLONASS/GPS equipment. CORS network can provide up to centimeter level accuracy of point position in any place of Republic of Tatarstan. This unique property of CORS network will allow to expand the number of GNSS-technology users in surveying, cadastre, construction, transport, agriculture and other fields connected with high accuracy positioning.

KEYWORDS: GLONASS, GPS, global navigation satellite systems (GNSS), continuously operating reference stations (CORS), geodynamics.

Республика Татарстан принадлежит к числу наиболее экономически развитых регионов Российской Федерации, обладающих высоким научно-техническим и образовательным потенциалом. В настоящее время в республике взят курс на формирование эффективной инновационно-ориентированной системы развития региона. Важным шагом в этом направлении стала принятая Кабинетом Министров РТ в октябре 2008 года республиканская программа «Использование результатов космической деятельности в целях социально-экономического развития Республики Татарстан (2008-2010 годы)».

Одной из важнейших задач этой программы является создание на территории республики сети примерно 20-ти постоянно действующих базовых референцных станций приема спутниковой

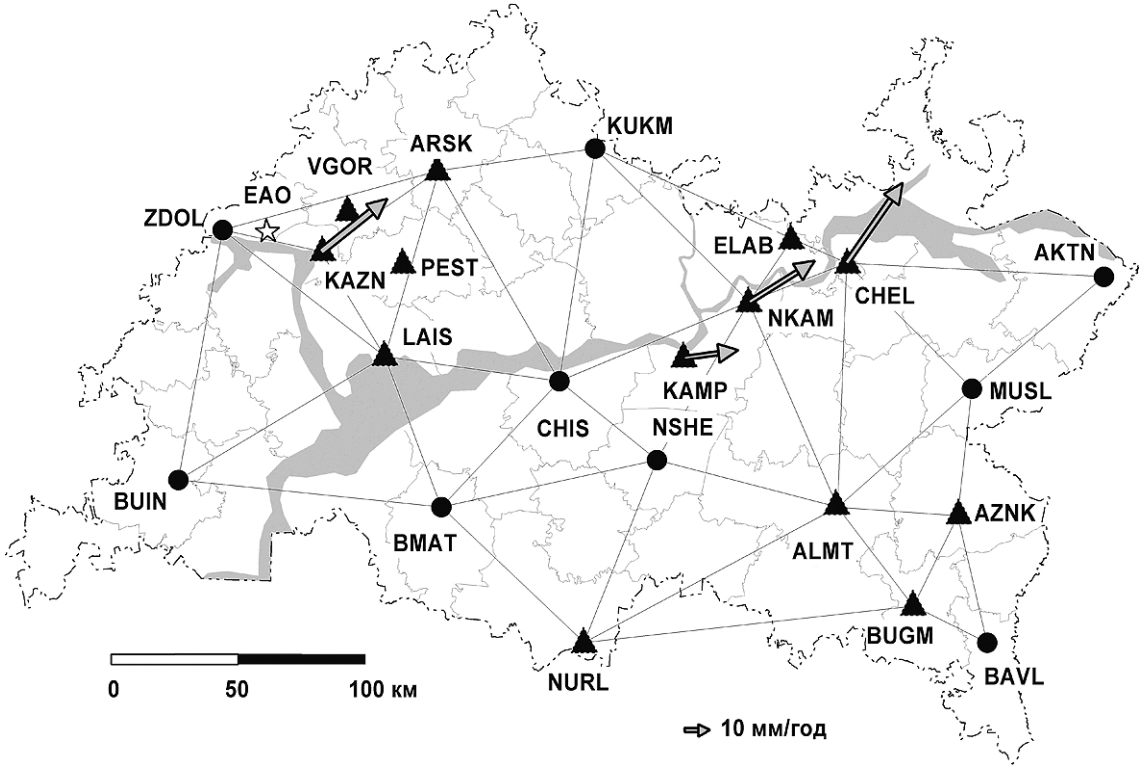


Рис. 1. Схема сети референцных станций в РТ

информации, решающей задачу оперативного координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО) всех заинтересованных в этом потребителей [1]. На рисунке 1 представлен один из вариантов размещения станций. Треугольниками отмечены существующие станции, кружками – проектируемые. Пункт астрономической обсерватории им. Энгельгардта (EAO), отмеченный на рисунке звездочкой, планируется сделать фундаментальным, т.е. отвечающим самым жестким требованиям международных и российских опорных геодезических сетей.

Необходимо отметить, что спутниковые методы позиционирования уже более десяти лет активно используются на территории Республики Татарстан для координатного обеспечения геологоразведочных, изыскательских и маркшейдерских работ, а также решения задач земельного кадастра. Однако пока применение спутниковых технологий носит преимущественно локальный характер, ограничиваясь масштабами отдельного проекта или административного района, а существующие в настоящее время базовые станции приема сигнала глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS позволяют осуществлять мероприятия КВНО лишь в режиме постобработки, что ведет к нерациональным потерям времени и ресурсов.

Проектируемая сеть референцных станций ориентируется на получение потребителями высокоточной навигационной информации в реальном времени. Обсуждаемый проект предусматривает решение этой амбициозной задачи посредством формирования на территории республики постоянного координатно-временного навигационного поля, обеспечивающего сантиметровые (а при определенных условиях – субсантиметровые) погрешности текущего позиционирования. Распространение поля дифференциальных спутниковых поправок позволит, на наш взгляд, значительно расширить число потребителей навигационной информации, заинтересованных в решении задач изысканий, геодезии, строительства, транспорта, землеустройства, сельского хозяйства, туризма, управления территориями и других отраслей экономики.

Хорошо известно, что к числу важнейших преимуществ спутниковых методов позиционирования относятся их высокая точность и оперативность, открывающие широкие возможности изучения динамики регионов, характеризуемых повышенной активностью тектонических процессов. Интерес к исследованиям геодинамических явлений во многом обусловлен тем, что безопасное ведение человеком хозяйственно-экономической деятельности возможно только при получении целостной картины о происходящих в недрах Земли и на ее поверхности процессах. Эти сложные многофакторные процессы имеют как естественную, так и антропогенную природу, причем в последнее время все большее

значение приобретает техногенный фактор, который приводит к негативным изменениям геодинамической и экологической обстановки.

Изучение современных движений и деформаций земной коры требует проведения в мониторинговом режиме высокоточных геодезических измерений смещений пунктов – реперов геодинамических полигонов. Жесткие условия подобного рода работ (обширные территории, охватываемые измерениями, максимальная точность определения величин движений и деформаций, короткие периоды между частыми сериями инструментальных измерений) требуют использования современного высокоточного и производительного геодезического оборудования.

Напомним в этой связи, что Республика Татарстан находится в одной из зон повышенной активности Русской платформы, вследствие чего изучение сейсмичности региона представляется необходимым и актуальным. Начиная с 1985 г. на территории Татарстана было зафиксировано около 100 землетрясений, силой 4-5 и даже 6 баллов. Большинство эпицентров сгруппировано вдоль Алтунино-Шунакской разломной зоны и вдоль Прикамской системы разломов. Кроме того, сейсмическая активность проявляется и по другим разломам фундаментов Южно-Татарского свода, приуроченным к Ромашкинскому и Ново-Елховскому месторождениям. Учитывая сказанное, создание опорной спутниковой сети Республики Татарстан становится необходимым условием обеспечения безопасности эксплуатации размещенных на ее территории объектов и инженерно-технических сооружений, предотвращения чрезвычайных ситуаций и экологических катастроф различной природы.

Понятно, что проектирование сети постоянно действующих ГНСС станций должно выполняться, исходя из особенностей решаемых задач, геологической структуры территории объекта, а также с учетом существующих геодезических пунктов. В настоящее время в Казанском университете начато создание пилотного проекта сети ГНСС станций для территории Республики Татарстан, отличающейся высокой урбанизированностью и значительной сейсмической активностью, что предъявляет дополнительные требования к качеству этой работы.

В 2006-2008 годах на существующих базовых станциях РТ был накоплен значительный объем измерительных данных, анализ которых позволяет впервые исследовать геодинамику региона и в плане, и по высоте [2]. Использование при обработке ГНСС-измерений специализированного программного обеспечения GAMIT/GLOBK дает возможность получить координаты пунктов в международной системе отсчета ITRF с очень высокой точностью, открывающей перспективы изучения геодинамических явлений, как в глобальном, так и региональном масштабах. В таблице представлены среднеквадратические ошибки (СКО) определения координат четырех пунктов сети по направлениям меридиана (ЮС – «Юг-Север») и первого вертикала (ЗВ – «Запад-Восток»), а также скорости смещения этих пунктов по тем же направлениям. Направления и вектора смещения пунктов на евроазиатской платформе изображены на рисунке 1.

Отметим, что ежесуточный сбор данных позволяет также изучать сезонные вариации координат референцных станций. Представленные на рисунках 2 и 3 результаты для станций KAZN и NKAM показывают, что полученные нами значения плановых координат и скоростей горизонтального смещения станций по точности удовлетворяют самым строгим требованиям, предъявляемым к высокоточным геодезическим пунктам. Так, например, легко детектируются перестановки антенн, имевшие место на пункте KAZN (рис. 2).

Продолжением геодинамических исследований станет включение в обработку данных, полученных на станциях РТ в 2008-2009 гг. Уже сейчас список такого рода станций может быть расширен до 13, поскольку эти станции могут собирать данные практически в круглосуточном режиме. Использование большего числа пунктов ГНСС измерений в РТ и доведение предъявляемых к ним требованиям до уровня ВГС (или СГС-1) позволит уже в ближайшее время получить детальные характеристики блочной структуры земной коры на территории региона и стать основой для

Таблица

Среднеквадратические ошибки определения координат и значения скорости смещения пунктов CHEL, KAMP, KAZN и NKAM

Пункт	СКО (ЮС) (мм)	СКО (ЗВ) (мм)	Скорости (СЮ) (мм/год)	Скорости (ВЗ) (мм/год)
CHEL	2.2	1.4	31.5	22.0
KAMP	1.6	1.7	0.3	21.4
KAZN	5.1	6.5	20.9	26.2
NKAM	2.5	3.8	16.2	25.8

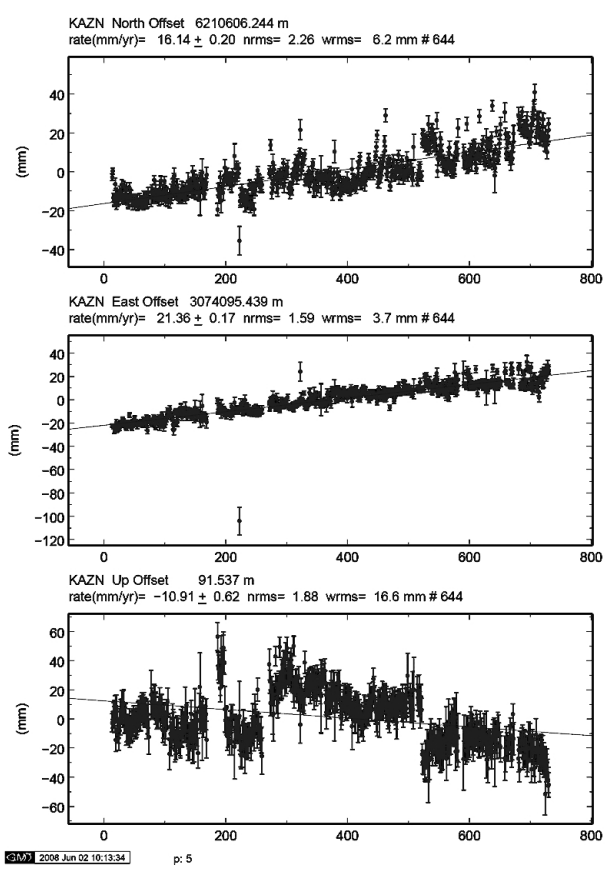


Рис. 2. KAZN (2006-2007)

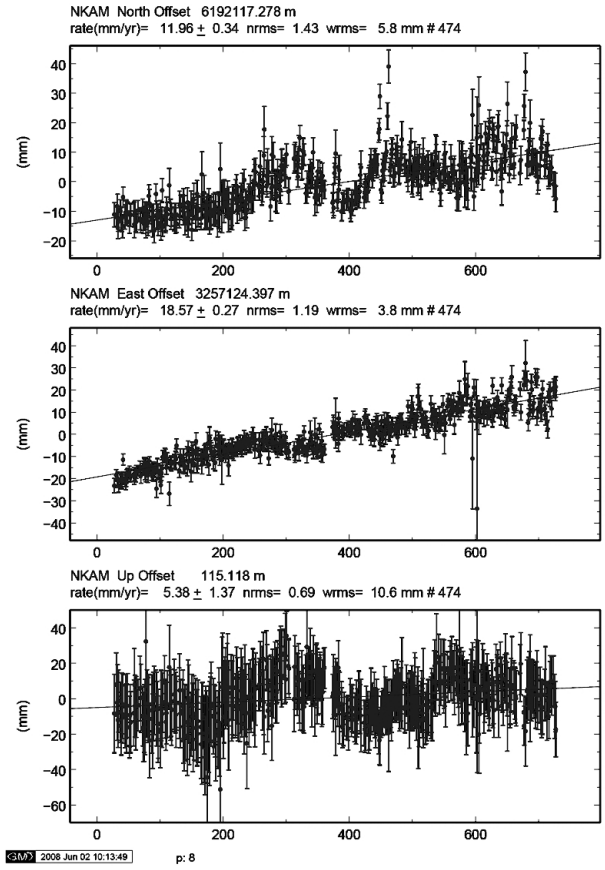


Рис. 3. NKAM (2006-2007)

формирования высокоточного координатно-временного поля РТ [3].

Полномасштабному осуществлению данного проекта должна способствовать реализация уже упоминавшейся республиканской программы, в рамках которой предусмотрен высокоточный мониторинг устойчивости и целостности отдельных инженерно-технических сооружений и коммуникаций. Сошлемся в качестве примера на разрабатываемый в настоящее время проект «Космическая ГЭС», целью которого должно стать создание системы спутникового ГНСС-мониторинга сооружений Нижнекамской ГЭС.

Другим весьма важным применением сетей референцных станций может оказаться развертывание на их основе систем автоматизации дорожно-строительной техники. Заметим, что мировой опыт свидетельствует о существенном повышении эффективности и качества дорожно-строительных работ при использовании систем высокоточной спутниковой навигации на дорожных агрегатах и механизмах. Данная технология позволяет существенно сократить сроки строительства дорог, обеспечить наивысшее качество работ при сокращении затрат на горюче-смазочные материалы и износ дорожно-строительной техники и механизмов.

Литература

1. Zagretdinov R.V., Zagretdinov R.R., Nurgaliev D.K., Shagidullin F.F. High-precision regional GLONASS/GPS navigation and geodetic network // Proceedings of the International Symposium on Global Navigation Satellite Systems, Space-Based and Ground-Based Augmentation Systems and Applications. – Berlin, 11-14 November 2008. – P. 68-69.
2. Загретдинов Р.В. Развитие сети референцных станций Глонасс/GPS в РТ для решения задач КВО и геодинамики // Материалы трудов «Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение (КВНО-2007)». – СПб.: ИПА РАН, 2007. – С. 222-223.
3. Кащеев Р.А., Нургалиев Д.К., Загретдинов Р.В., Комаров Р.В., Чернова И.Ю. Геодезический мониторинг динамики земной поверхности центральной части Республики Татарстан // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – М., 2008, № 4. – С. 9-12.

УДК 712.25
И.Г. Лежава – доктор архитектуры, профессор, академик РААСН
Тел.: (495) 762-41-79
Московский архитектурный институт (МАРХИ)

ВЫБОР XXI ВЕКА – ЛИНЕЙНАЯ СТРУКТУРА ГОРОДСКИХ СИСТЕМ

АННОТАЦИЯ
Приводится сравнительный анализ линейных и радиально-кольцевых систем. На основе ретроспективного анализа формирования планировочной структуры г. Москвы показано постоянное противоборство между концепциями ее линейного и радиально-кольцевого развития. Выдвигается и обосновывается предложение о необходимости в XXI веке в России перейти к системе линейного развития городских систем.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: линейная система расселения, радиально-кольцевая система расселения, транспортные коммуникации, генеральный план Москвы, Московская агломерация, Сибстрим.

I.G. Lezhava – doctor of architecture, professor, academic of RAABS
Tel.: (495) 762-41-79
Moscow Architectural Institute (MARKHI, Moscow)

THE CHOICE OF XXI CENTURY - LINEAR STRUCTURE OF URBAN SYSTEMS

ABSTRACT
In the article the comparative analysis of linear and radial-circular systems is represented. On the base of the retrospective analysis of the shaping of Moscow planning structure the constant confrontation between the concept of its linear and radial-circular development is shown. The suggestion about the necessity in XXI century in Russia to go over to the system of the linear development of the town systems is advanced and substantiated.

KEYWORDS: linear settle system, radial-circular settle system, transport communications, general town planning scheme of Moscow, Moscow agglomeration, Sibstream.

Более ста лет в России и во всем мире идет борьба линейных систем расселения с системами радиально-кольцевыми. Естественно, что это касалось и планировки Москвы. Я сторонник линейных систем. Участвовал в конкурсах. Даже побеждал. Однако, убежденность административного аппарата и архитекторов, принимающих решения, в «генетической» предопределенности радиально-кольцевой структуры Москвы была столь велика, что линейность планомерно отвергалась.

Линейные структуры надо было создавать заново. Надо было тратить огромные средства на реконструкцию всех видов транспорта, на дороги, на разработки новых градостроительных концепций. А радиально-кольцевая система росла как бы сама собой. В конечном итоге к концу первого десятилетия XXI века «легкость» второго решения привела Москву к чудовищному уплотнению застройки и транспортному коллапсу. Москва – наиболее яркий в мировой практике пример радиально-кольцевого города. Веер дорог, особенно на Кремлевском берегу, столетиями формировал радиальную структуру. В то же время городские укрепления превращаются в кольцевые бульвары, а пересечения с ними радиальных дорог – в площади. Улицы Замоскворечья собирались к мостам, фланкирующим Кремль, способствуя распространению радиальной планировки и в этом направлении. Постепенно образовывался баланс между конно-пешеходным размером Москвы и её радиально-кольцевым функционированием. Несмотря на появление железных дорог, индустриальных пригородов и трамвайного транспорта, большая часть людей передвигалась пешком. Еще в двадцатые годы двадцатого столетия «хождение» в гости, на работу и в зрелищные места было основой социальных контактов москвичей. Даже после Второй мировой войны, при наличии метро, у вокзалов скапливалось множество «частников» с большеколесными тележками и тяжелые вещи пешком везлись на значительные расстояния: например, от Киевского (Брянского) вокзала до Арбата или Никитских ворот. Тогда же в Нескучном саду собирались грибы, ягоды; популярные пляжи были на Фрунзенской набережной в Лужниках и на месте Новоарбатского моста; у стен Новодевичьего монастыря располагался совхоз; Фили и Сокольники были дачными местами. Пока Москва была, по преимуществу, пешеходной, радиально-кольцевая система всех устраивала.

С середины пятидесятых годов Москва стала расширяться с невероятной скоростью. К шестидесятым годам появилась кольцевая автомобильная дорога, и всего за двадцать лет гигантская территория, во много раз превышающая «старый» город, наспех заполнилась жилыми кварталами. Политика активного привлечения рабочих-мигрантов довела численность Москвы до восьми миллионов. Десятки строительных комбинатов пытались обеспечить эту массу типовым жильем. Однако, столь мощные количественные изменения не оказали практически никакого влияния на градостроительную концепцию развития города. «Свято» соблюдался принцип радиально-кольцевого роста. Институт генерального плана города наращивал кольца и хорды. Теоретики-транспортники (в частности, профессор В. Черепанов) доказывали преимущество радиально-кольцевой схемы. Административные районы формировались как сектора круга, следуя «высокой» политике, поскольку с одной стороны они стремились «прикоснуться» к Кремлю и собрать партийные взносы с сильных мира сего, а с другой стороны -периферийные районы обеспечивали их связью с рабочей массой.

Результатом всего этого явился генплан Москвы конца семидесятых годов с секторной ромашкообразной структурой. По замыслу её авторов город должен был развиваться совершенно равномерно, заполняя всю территорию в пределах МКАДа. В каждом районе был запланирован центр (размером превышающий Новый Арбат). Между районами предполагались зеленые «клинья». Промышленность активно выводилась. Прокладывались новые автомагистрали, росли протуберанцы метрополитена.

Интересно проследить участь этого «произведения». К 90-м годам, то есть к началу эры капитализма, все осталось по-прежнему. Естественно, что центры секторов не могли быть созданы, поскольку места их размещения никак не были связаны с жизнью города, а их размеры не соответствовали никаким реалиям. Промышленность так и осталась на своих местах (а иногда и расширилась), зеленые «клинья» стали «зарастать» жильем, третье кольцо «застряло» в Лефортово. К середине восьмидесятых стало ясно, что генеральный план провалился.

В небольшой статье нет возможности провести широкий анализ этого явления. Тут можно найти политические, экономические и даже социальные причины, однако мы попытаемся ограничиться разбором лишь градостроительных основ этого явления.

Теоретически радиально-кольцевая транспортная схема обладает значительными преимуществами перед всеми иными. Но это лишь в том случае, если она построена идеально, то есть: радиальные и кольцевые трассы равноценны по скоростям передвижения; системы поворотов, разворотов и съездов одинаково удобны; центральная зона представляет собой сложную транспортную развязку. Очевидно, что осуществить это в историческом городе можно только путем планомерного уничтожения прошлой его застройки. Так оно в Москве и происходило, поскольку все магистрали заканчивались тупиками в центре города. Только переход на линейную структуру мог спасти положение.

Идея линейного развития Москвы возникла во времена постройки Санкт-Петербурга, когда Россия приобрела «двойную» столицу. Строительство железной дороги стимулировало рост числа поселений вдоль этой трассы. В начале двадцатого века появляются фантастические идеи связать эти два города линейной системой, состоящей из городов-садов. После революции активно работали в этом направлении и конструктивисты. Линейные города Милютина; дезурбанистические проекты Гинзбурга; волнообразная система расселения Охитовича и, наконец, великая парабола Ладовского, демонстрирующая «энергетический» выброс Москвы в сторону Ленинграда. Все это направлялось в той или иной степени на создание новой планировочной структуры столицы. До войны проводилось несколько конкурсов на реконструкцию Москвы. Было предложено множество интереснейших схем линейного развития города. Но победил радиально-кольцевой вариант, и Генплан 1935 года узаконил это. После этого началось планомерное уничтожение городского центра в угоду транспортным требованиям. Причем транспорт предполагался в будущем. А тогда улицы были удобны только для людских масс и армии, идущей на парад. Пока в Москве было 20 машин на 1000 жителей, дорожная сеть тридцатых годов всех удовлетворяла. Кризис наступил в конце девяностых.

В шестидесятые годы (в 1968 г.) был проведен первый послевоенный конкурс на реконструкцию центра столицы. Из пятнадцати проектов только проект МАРХИ (в разработке которого я принимал активное участие) в полной степени выходил на районную планировку и в рамках этой планировки предлагал линейное развитие города.

Предлагалось пять основных направлений: Ленинград, Ярославль, Новгород, Воронеж, Минск. Направления формируются мощными двойными магистралями, между которыми располагались двухсоттысячные города-спутники. Таким образом создавалось пять линейных селитебно-производственных образований, включающих некоторые городские районы и ряд подмосковных поселений. Среди них: Кунцево, Хорошево-Мневники.

В этих условиях Москва превращалась во множество самостоятельных селитебных образований со своими производственными, деловыми, общественными и культурными центрами. Такие преобразования должны были привести к резкому

сокращению в Московской агломерации трудовых и культурно-бытовых поездок. Центр Москвы формировался из двух городских образований: «старого» города в Камер-Коллежских валах с традиционной функцией управления и «нового» города Юго-Западного района с научно-производственной и рекреационной функцией.

Предполагалось, что в этих двух «городах» расположатся центры управления Москвой, Московской областью и Россией. Деловой же центр Советского Союза формировался между этими центрами вдоль излучин Москвы-реки в направлении от северо-запада на юго-восток, по направлению окружной железной дороги.

Несмотря на некоторую фантастичность, логика этого проекта была безупречна. Он получил первую премию. Однако, в «дело» пошел радиально-кольцевой вариант, который и был узаконен в генеральном плане семидесятых годов. Это была та самая «ромашка», о которой говорилось в начале статьи. Поскольку ромашковый генеральный план не осуществился, через двадцать лет, в конце восьмидесятых (1988 г.), был проведен новый конкурс на реконструкцию центральной части столицы и опять проект, которым я руководил, предложил вариант линейного развития. Проект получил вторую премию, а первую – естественно, радиально-кольцевой. «Линейность» в проекте была более скромной, чем в предложении 68-го года. За 20 лет территории, по которым проходили наши системы, были застроены. В новом проекте центр Москвы огибался мощными транспортными магистралями, образующими своими очертаниями «рыбку». Концепция «рыбки», по мнению авторов, должна была прекратить бесконечный радиально-кольцевой рост Москвы. Город переходил на линейную систему развития по направлениям: на север – Тверь, Санкт--Петербург; на юг – Серпухов, Ростов-на-Дону. Мощные магистрали, обходящие центр, располагались в зоне железных дорог, где был значительный резерв свободных территорий. Все «боковые» радиальные потоки «упирались» в «рыбку» и тем самым транспортный удар по центру в значительной мере ослабевал. Интересно, что прошло ещё двадцать лет и сейчас, в 2006 году, по этим же трассам планируются мощные автомобильные пути, но уже в рамках развитой радиально-кольцевой системы.

С введением капитализма в России начался новый этап развития Москвы. В конце прошлого века был сформирован очередной генплан. Он, естественно, продолжал совершенствовать радиально-кольцевую структуру. Следуя ему, в Москве было проложено третье транспортное кольцо. Началось строительство четвертого. Была построена новая кольцевая дорога с гигантскими развязками. Множество улиц покрылись подземными и надземными переходами. Исчезли светофоры. Но поток машин увеличился. Все свободные городские территории, включая заводы, плотно застраиваются жильем. Пригородные зоны покрываются виллами, строятся офисы и гигантские магазины. Все это вызывает огромные утренние и вечерние автомобильные потоки, пробки, аварии, провалы земли. В ближайшее время вылетные магистрали начнут дублировать. Но любая московская дорога имеет два конца и второй ее конец (в отличие от линейной системы) упирается в Кремль. Сейчас в центре машины паркуются уже в три ряда, оставляя для проезда узкую полоску движения, а автомобилизация только набирает обороты ...

Почему же линейные системы не победили? Причин много. В небольшой статье нет возможности провести широкий анализ этого явления. Тут можно найти политические и экономические, и даже социальные причины. Но главная проблема в неразвитости в России транспорта и дорожной сети. Десятилетиями в Москве дороги были плохими, машин мало. Мог бы спасти трамвай (особенно скоростной) или монорельс (вспомним, что в начале прошлого века именно трамвай предлагался основой линейного города в Испании, предложенного Сориа-и-Мата). Но после войны трамваи стали исчезать и машины устремились в центр. Судя по всему, Москва навсегда останется гигантским радиально-кольцевым монстром.

Что же дальше? На мой взгляд, радиальные города не выйдут из кризиса. Даже если машины резко уменьшатся в размерах. Даже если выхлопные газы исчезнут и транспорт перейдет на водородное топливо. Положение могут улучшить многоуровневые подземные системы в зоне центра, но сложнейшие геологические условия, наличие метро и разветвленной сети огромных подземных сооружений вряд ли позволят это сделать. Надежда на то, что параллельно с существующими городами появятся линейные системы расселения всероссийского масштаба. Первая такая система Москва-Петербург уже начинает формироваться. Следующей может явиться гигантский линейный город от Петербурга до Владивостока*. Была предложена новая линейная система расселения вдоль гигантского транспортного коридора, связывающего Атлантический океан с акваторией Тихого океана. Термин «транспортный коридор» стал использоваться в мировой литературе с 50-х годов. На Критском конгрессе было определено несколько транспортных коридоров европейского масштаба. Коридор представляет собой линейную систему, включающую в себя основные виды транспорта, энергопроводы, водопроводы и коммуникационные связи. Но в проекте предлагается не просто транспортный коридор, а линейная система расселения, то есть вытянутый в линию город со всеми присущими ему элементами.

* Проект создавался для международного газового конгресса в Токио в 2003 году Хазановым М.Д., Лежавой И.Г., Шубенковым М.В., Мулагильдиным Р.М.

В данном случае уместна аналогия с живыми существами. Обладая одними и теми же жизненными органами, еж и змея (старый город и линейный город) имеют совершенно разные пространственные компоновки. Прогнозируется всего лишь победа «змеи» над «ежом».

Следует также отметить, что предлагаемое линейное расселение – это не просто улицы, вытянутые в линию. Это обширная зона вдоль транспортного коридора. Зона эта может занимать территорию до пяти километров в каждую сторону. Это сложный организм, включающий скоростные автомобильные трассы, места посадки всех видов летного транспорта, водный транспорт, скоростные трассы поездов, энергетические и информационные каналы, а также движение сырья и грузов и т.д. В зонах транспортного коридора расположены сады, парки, заповедники, леса, жилые районы, городки, поселки, промышленные, научные и учебные центры, супермаркеты, офисы и т.д. В этой зоне должны быть сформированы места поселений, промышленности, заповедников, научных и учебных заведений, центров торговли и культуры и т.п., так же, как в любом генеральном плане города. Используемая в этом случае многоступенчатая транспортная система не будет иметь ни случайных пересечений, ни скользких зимних дорог, ни аварийных ситуаций, ни пробок. Передвижение по коридору должно быть быстрым и удобным. 300 километров поезд будет проходить за полчаса (сейчас в часы «пик» из одного конца Москвы до другого можно потратить до двух часов)**. На скоростном поезде, учитывая остановки, человек сможет преодолеть расстояние до Владивостока меньше чем за сутки. Из Москвы или Санкт-Петербурга на воскресенье можно будет поехать на Байкал, а за пару часов оказаться на Урале.

Кроме того, это должен быть не просто транспортный коридор, а главный город России – деловая столица страны. Новая Москва. Мы назвали этот линейный город Сибстрим. Естественно, что исторические города останутся на своих местах и сохранят свое историко-культурное значение. Москва останется политической столицей. Но вся активная жизнь может уйти на скоростную магистраль.

Линейная магистраль Сибстрима (новой Москвы) будет основная, но не единственная. Ее могут пересечь семь поперечных магистралей, связывающих акватории Северного Ледовитого океана с южной границей России. Эти магистрали: Мурманск-Новороссийск, Архангельск-Астрахань, Воркута-Омск, Норильск-Красноярск, Хатанга-Иркутск, Тикси-Сковородово, Анадырь-Владивосток. Естественно, что эти пересекающие транспортные коридоры не выдуманы нами. Они уже сложились и многие из них существуют. Естественно также, что Сибстрим (новая Москва) во многих местах будет разветвляться и усложняться (например участок БАМа), но его основная часть станет к концу следующего века хребтом будущей России и будет являться таковым еще не одно столетие. Итак, да здравствует Новая Москва, Москва-Линейная. Город конца века.

Литература

1. Гутнов А.Э., Лежава И.Г. Четыре проблемы архитектуры будущего. // Современная архитектура, 1970, № 1.
2. Букин А.В., Саваренская Т.Ф. История градостроительного искусства. – Т. 1, 2. – М.: Стройиздат, 1979.
3. Владимиров В.В. Избранные труды (1990-2000). – М.: АО «Московские учебники и картолитография», 2001.
4. Перцик Е.Н. Города мира. География мировой урбанизации. – М.: Международные отношения, 1999.

** Скорость экспериментальных поездов на магнитной подушке уже сейчас достигает 600 км/час.

УДК 533

П.П. Осипов – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник
Тел.: (843) 231-91-17, e-mail: ossipov@kfti.knc.ru
Институт механики и машиностроения Казанского научного центра Российской академии наук (ИММ КНЦ РАН)

МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ЖИЛОЙ ГРУППЫ

АННОТАЦИЯ
Методами компьютерного моделирования изучаются задачи проектирования и оптимизации аэродинамики жилой группы. Демонстрируются возможности симулятора течений вязкого сжимаемого газа в произвольных двумерных областях, содержащих объекты разных масштабов. Приведены результаты расчетов аэродинамики жилых групп и дан их анализ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительная аэродинамика, симулятор течения вязкого сжимаемого газа.

P.P. Ossipov – doctor of physical-mathematical sciences, leading staff scientist
Tel.: (843) 231-91-17, e-mail: ossipov@kfti.knc.ru
Institute Mechanical engineers and Machine building of Kazan Scientific Centre of Russia Academy of Sciences (IMM KSC RAS)

MODELING OF LIVING GROUP AERODYNAMICS

ABSTRACT
Methods of computer modeling of aerodynamics are applied to projection and optimization of living group. Facilities of simulator of viscous compressible flow in arbitrary 2D regions containing buildings with various scales are demonstrated. The numerical results for wind in living group are represented and discussed.

KEYWORDS: building aerodynamics, flow simulator for viscous compressible gas.

Введение

Вопросы аэрации, вентиляции, проветриваемости, снегозаносимости современных жилых групп (ЖГ) в настоящее время имеют большое научно-практическое значение [1, 2, 3]. С одной стороны, замкнутые воздушные пространства имеют тенденцию создавать антропогенные проблемы, с другой стороны, слишком открытые места связаны с уменьшением комфортности условий жизни. При проектировании той или иной жилой группы желательно учитывать не только розу ветров, но и локальные направление и скорость ветра. Исследования характеристик ветра и их воздействия на сооружения проводятся либо экспериментально, либо с помощью численного моделирования. В первом случае макет жилой группы продувается в аэродинамической трубе и затем проводится масштабирование результатов [4]. При численном моделировании обычно используются дорогостоящие зарубежные пакеты программ, так называемые симуляторы (STAR-CD [5, 6], Fluent, Ansys и др.).

В настоящей работе исследуется вопрос о детальной картине воздушного обтекания в окрестности конкретной жилой группы при различных направлениях ветра. Промоделировано влияние дополнительных построек и сооружений на картину линий тока и скорость ветра. Результаты получены на симуляторе двумерных течений газа и жидкости в областях с подвижными границами, созданном в Институте механики и машиностроения Казанского научного центра РАН.

Математическая модель

Уравнения. В симуляторе используется модель крупно-масштабных вихрей. Уравнения, описывающие вихревое течение вязкой среды, были получены в 1822 г. французским инженером и ученым Навье и в 1845 г., независимо от него, английским физиком и математиком Стоксом (см. [7])

$$r\left(\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\partial t_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial t_{xy}}{\partial y}, \quad (1)$$

$$r\left(\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)=-\frac{\partial p}{\partial y}+\frac{\partial t_{yy}}{\partial y}+\frac{\partial t_{xy}}{\partial x},$$

$$\tau_{xx}=\mu\left(\frac{4}{3}\frac{\partial u}{\partial x}-\frac{2}{3}\frac{\partial v}{\partial y}\right)+\xi\left(\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}\right),$$

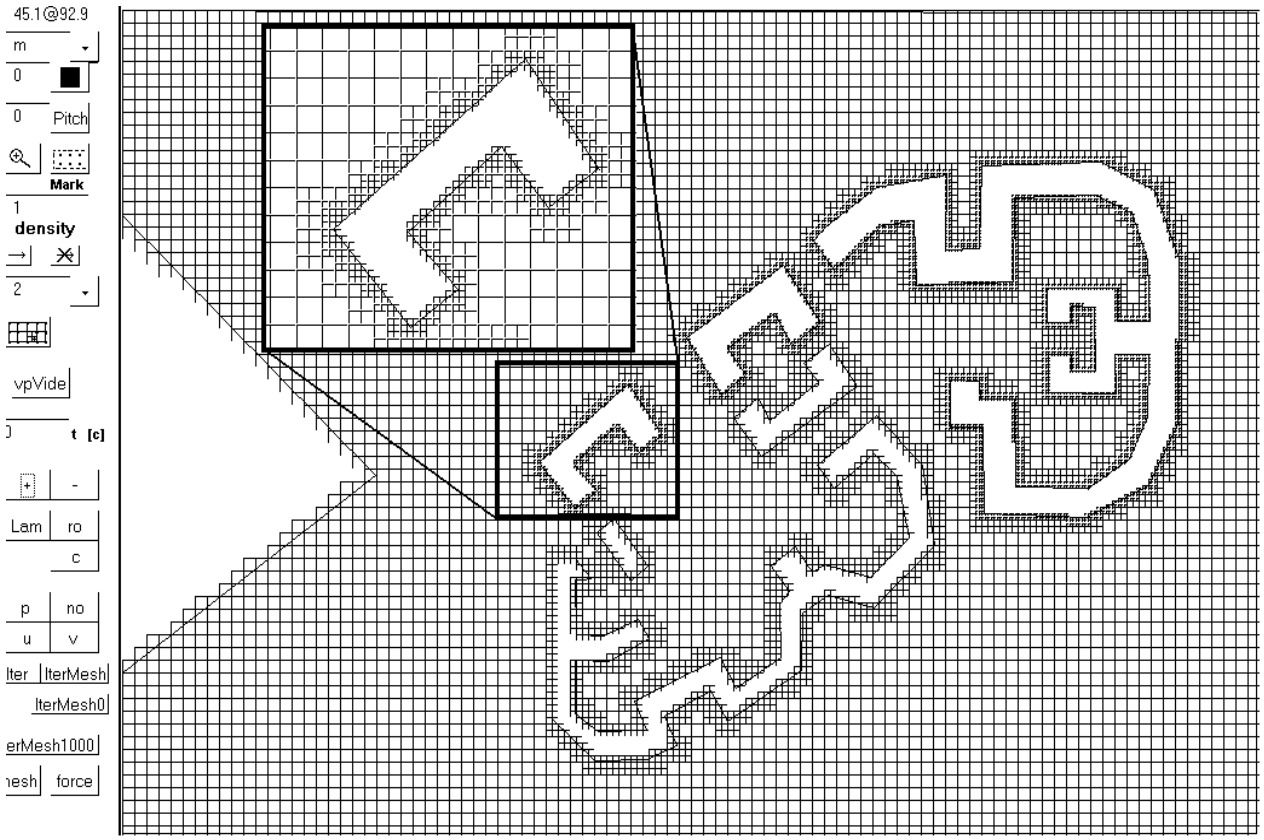


Рис. 1. Трехуровневая сетка части микрорайона

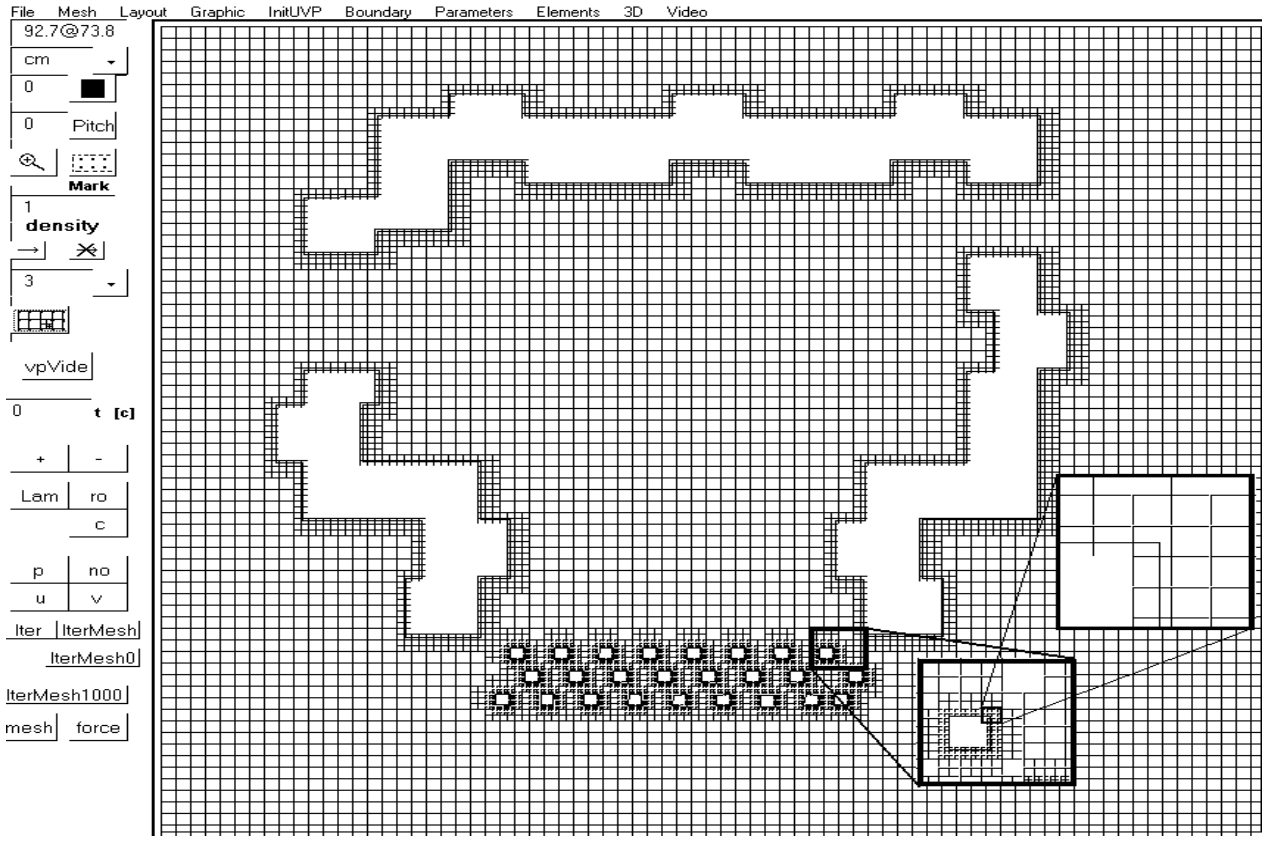


Рис. 2. Четырехуровневая сетка жилой группы

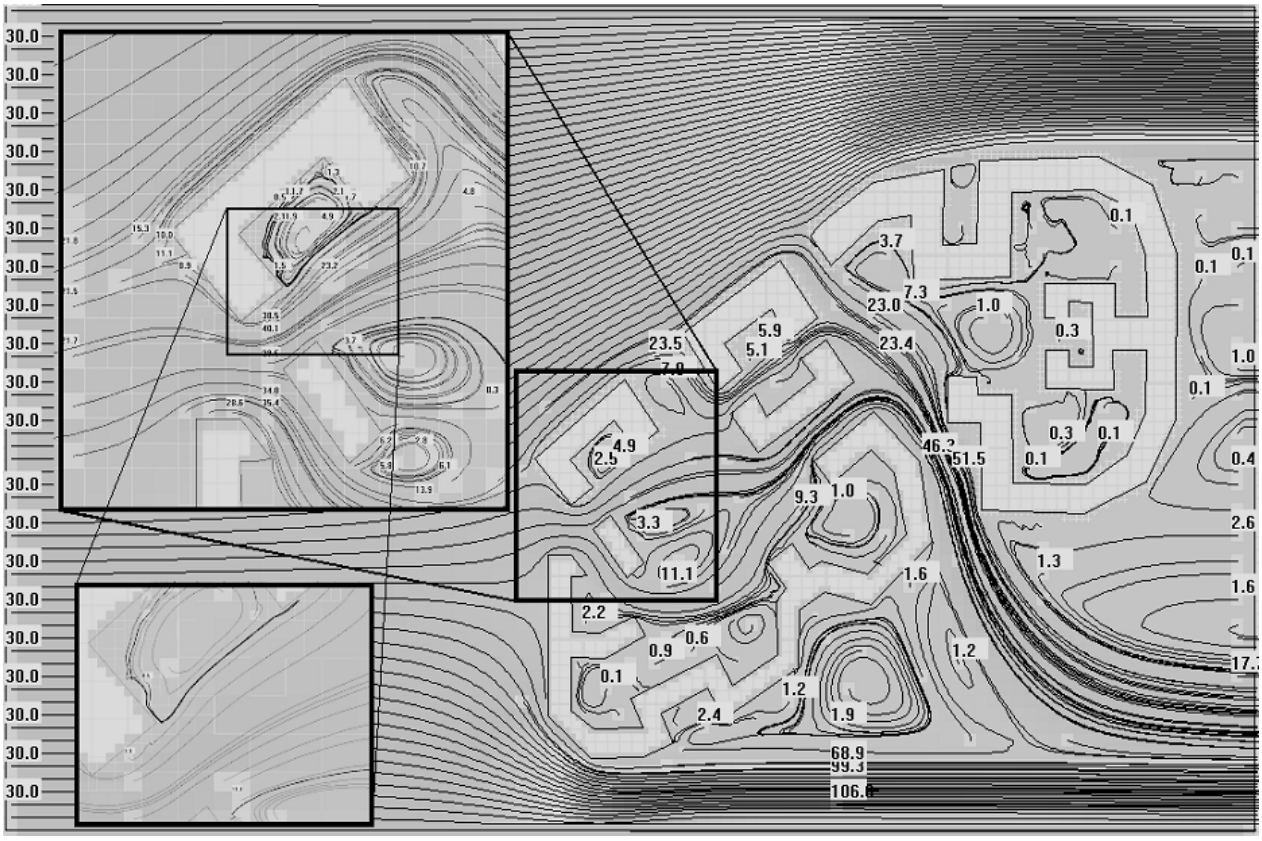


Рис. 3. Скорость и направление ветра в микрорайоне (западный ветер)

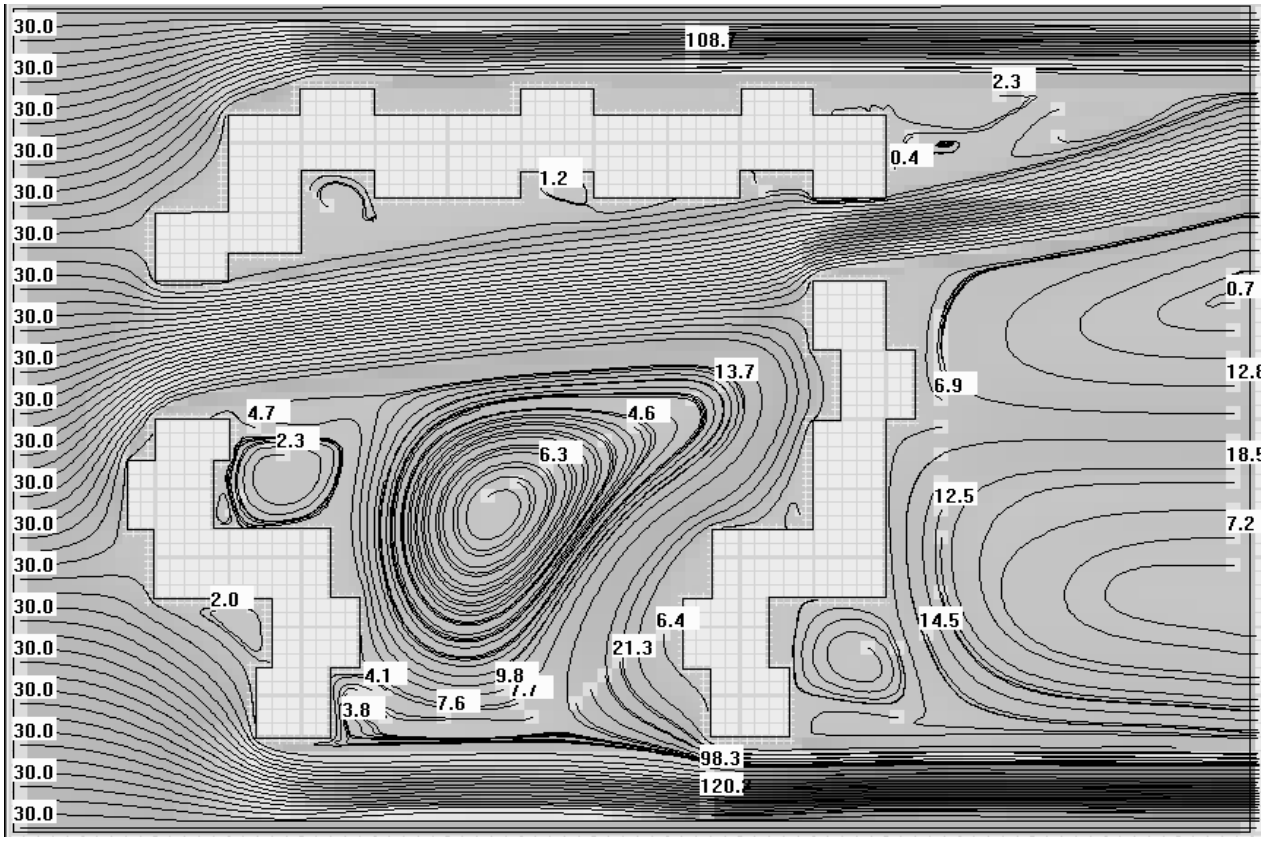


Рис. 4. Скорость и направление ветра в жилой группе (западный ветер)

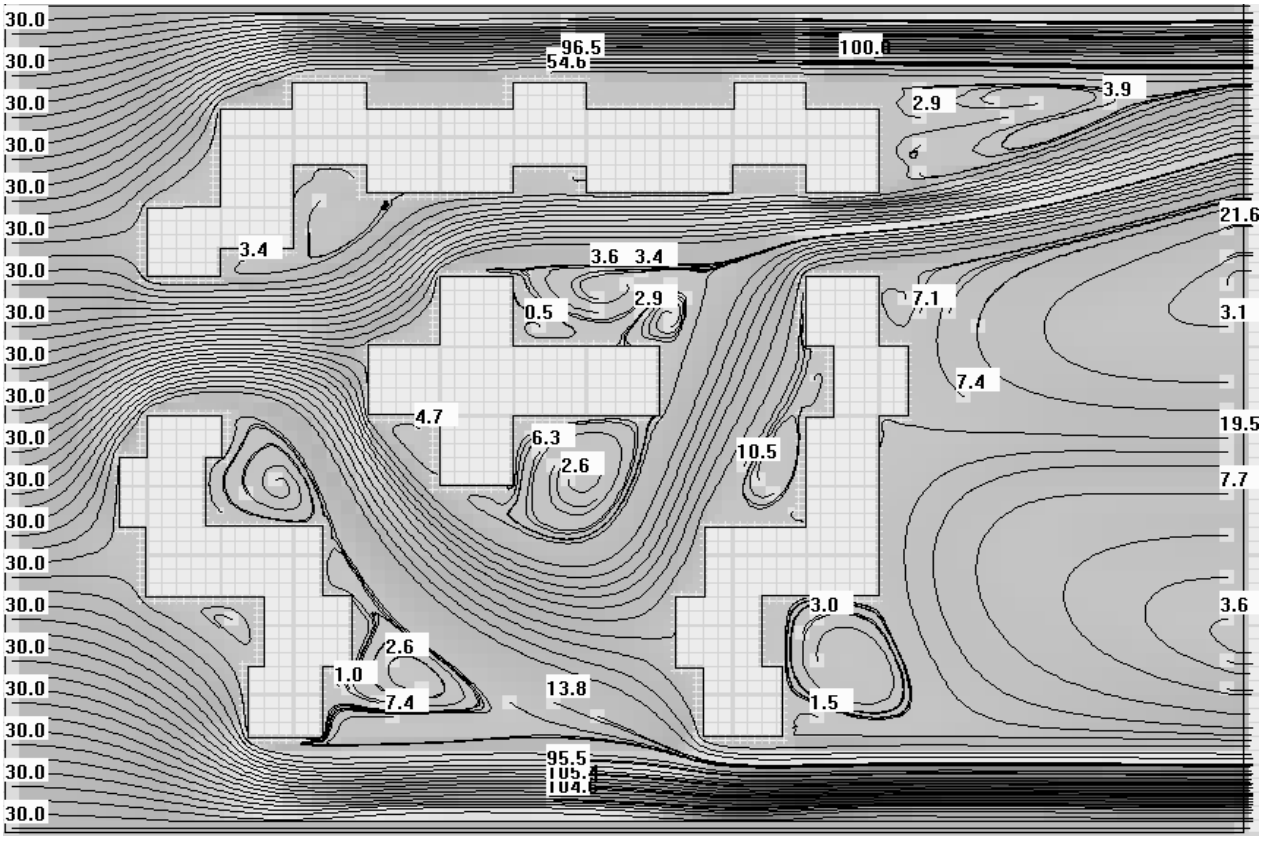


Рис. 5. Влияние дополнительной постройки в середине жилой группы

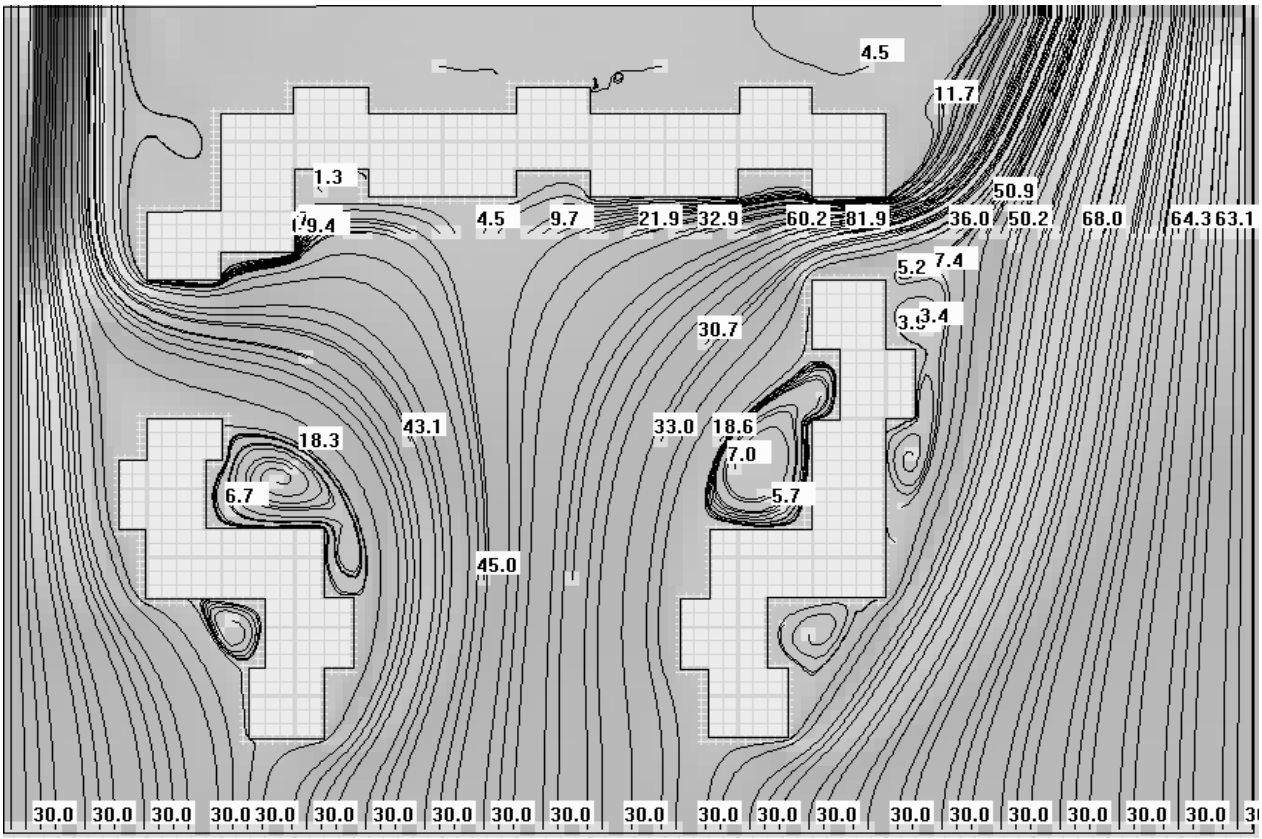


Рис. 6. Скорость и направление ветра в жилой группе (южный ветер)

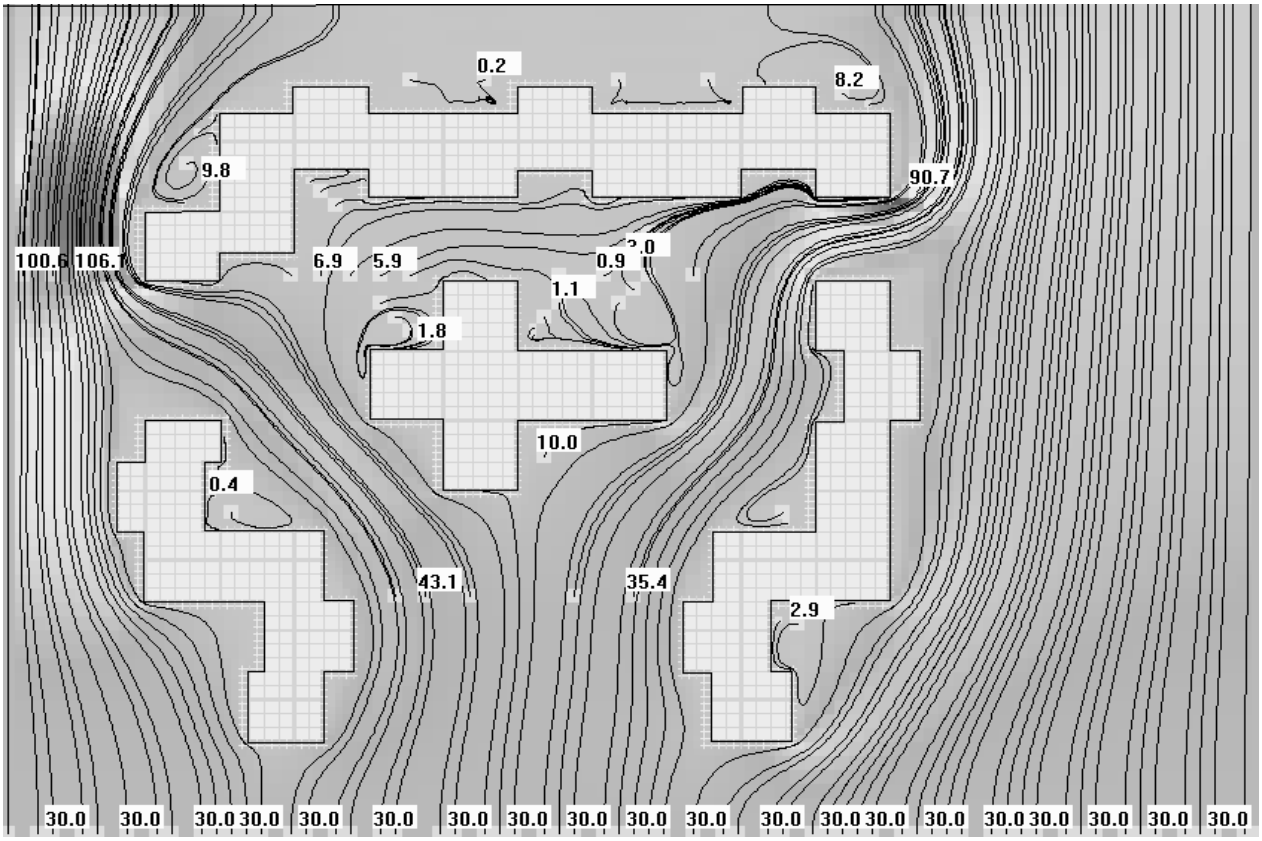


Рис. 7. Влияние дополнительной постройки в середине ЖГ

$$\tau_{yy} = \mu\left(\frac{4}{3}\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}\frac{\partial u}{\partial x}\right) + \xi\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right),$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right),$$

где u,n – компоненты скорости, p – давление, r – плотность; m – динамическая вязкость, x – вторая вязкость. Кроме этих уравнений, используется уравнение неразрывности

$$\frac{\partial r}{\partial t} + \frac{\partial r u}{\partial x} + \frac{\partial r u}{\partial y} = 0. \qquad (2)$$

Для замыкания системы (1-2) взято уравнение состояния в изэнтропическом приближении

$$r / r_0 = (p / p_0)^{1/g}, \qquad (3)$$

где r_0, p_0 – невозмущенные значения плотности и давления, g – показатель адиабаты.

Граничные условия. Основные граничные условия, применяемые в гидромеханике, приведены в [7]. В настоящей работе предполагается существование внешнего контура, охватывающего расчетную область течения, у которого можно различать вход, выход и боковые стороны. Внутренние контуры описывают границы обтекаемых сооружений. На них используется условие прилипания. Окончательно граничные условия имеют вид:

а) Внешний контур:

на входе и боковых сторонах задана скорость (u, v),

на выходе – давление $p_{вых}$.

б) Внутренние контуры: (условие прилипания)

$u = 0, v = 0$.

Для более точного учета пограничных слоев вблизи обтекаемых поверхностей могут быть использованы пристеночные функции [5].

Генератор многоуровневых сеток

При расчете обтекания жилой группы или микрорайона необходимо создавать сетки для сложных многосвязных областей (см. рис. 1). При этом различные объекты могут иметь разные масштабы, что делает необходимым построение многоуровневых сеток (см. рис. 2). К многоуровневым сеткам приводит также необходимость минимизации числа ячеек. При этом малый размер ячеек необходим только вблизи границы (для ее достаточно точного моделирования). По мере удаления от границы размеры ячеек желательно увеличивать. Отметим, что идея использования многоуровневых сеток впервые была развита в работе [8].

Сетка, как правило, содержит огромное количество ячеек (порядка 10000 и выше), что делает невозможным быстрое и нетрудоемкое построение сеток вручную и приводит к необходимости создания генератора сеток. Этот генератор полностью автоматически строит сетку для многосвязной области, очерченной границами, заданными интерактивно.

Результаты расчета

На рис. 3 приведен результат расчета обтекания ветром микрорайона. Скорость вдоль проспекта, проходящего с северо-запада на юго-восток, превосходит скорость на входе. Скорость в жилых группах существенно меньше. На рис. 4 показаны вихри и их интенсивности в ЖГ. Рис. 5 демонстрирует влияние дополнительной постройки на вихреобразование внутри ЖГ.

На рис. 6-7 приведены линии тока и скорости ветра при южном ветре соответственно без и с дополнительным сооружением посередине жилой группы.

Заключение

Разработанный симулятор позволяет оперативно проводить многовариантные расчеты аэродинамических характеристик воздушных масс в жилой группе и микрорайоне. На основе таких расчетов проектировщик может оценивать детальную картину ветра: его скорость и направление, силу воздействия на то или иное строение. Отмеченные оценки дают возможность сравнивать различные варианты и оптимизировать проект застройки. При достижении ветром критических значений проектировщик может изменить проект, добавить дополнительные сооружения.

Автор благодарит Мифтахутдинова И.Х. и Абдюшева А.А. за ценные советы и обсуждение статьи.

Литература

1. Реттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1984. – 294 с.
2. Серебровский Ф.Л. Аэрация населенных мест. – М.: Стройиздат, 1985. – 170 с.
3. Lawson T. Building aerodynamics ISBN-1-86094-187-7, Imperial College Press, 2001. – 236 p.
4. http://www.stroinauka.ru/d18dr6343m0rr4159.html.
5. Гувернюк С.В., Гагарин В.Г. Компьютерное моделирование аэродинамических воздействий на элементы ограждений высотных зданий. Часть 1 // АВОК, 2006, № 8. – С. 18-24.
6. Гувернюк С.В., Гагарин В.Г. Компьютерное моделирование аэродинамических воздействий на элементы ограждений высотных зданий. Часть 2 // АВОК, 2007, № 1. – С. 16-22.
7. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Изд-во Дрофа, 2003. – 840 с.
8. Simpson R.B. Automatic local refinement for irregular rectangular Meshes // Int. J. Num. Meth. Eng, 1979, vol. 14, P. 1665-1678.

УДК 712.25
З.Г. Тукманова – ассистент
Тел.: 89600446859, e-mail: matyrumka91@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ПРИБРЕЖНЫЕ ТЕРРИТОРИИ – РЕЗЕРВ ДЛЯ ВОСПОЛНЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННОГО ДЕФИЦИТА ГОРОДА

АННОТАЦИЯ

Качество городской жизни обуславливается наличием достаточного количества обширных рекреационных территорий, непосредственно влияющих на экологическое равновесие в городе. Рекреационное освоение прибрежных территорий Казани поможет восполнить дефицит обширных озелененных пространств и улучшить экологическое состояние города в целом. Используя общую привлекательность прибрежных ландшафтов, раскрывая рекреационный потенциал береговой зоны акваторий включением обширных озелененных участков, достигается улучшение жизни и отдыха горожан.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прибрежные территории Казани, рекреационное освоение, дефицит озелененных пространств.

Z.H. Tukmanova – assistant
Tel.: 89600446859, e-mail: matyrumka91@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

COASTAL TERRITORIES – THE RESERVE FOR COMPLETION OF RECREATIONAL DEFICIENCY OF CITY

ABSTRACT

Quality of a city life is caused by presence of enough of the extensive recreational territories directly influencing ecological equilibrium in city. Recreational development of coastal territories of Kazan will help to fill the shortage the extensive planted trees and shrubs spaces and to improve an ecological condition of city as a whole. Using the general appeal of coastal landscapes, opening recreational potential of a coastal zone of water areas inclusion of the extensive planted trees and shrubs sites, reaches improvement of a life and rest of the townspeople.

KEYWORDS: coastal areas of Kazan, recreational development, lack of green spaces.

Казань трудно назвать второй Венецией, но редкий город природа так щедро наделила водоемами. Водоемы Казани – это сложная многообразная система, включающая в себя акватории различной квалификации. Река Казанка, река Волга, система озер Кабан – главные акватории города, непосредственно повлиявшие на планировочную структуру Казани, – являются важнейшими градообразующими факторами, по планировочной конфигурации представляющими собой линейные протяженные оси, выполняющие функцию «каркаса», фиксирующие геометрию плана города.

Рассматривая ситуацию, сложившуюся в Казани, необходимо отметить ее уникальность, заключающуюся в том, что в одном мегаполисе находятся разнотипные водоемы, как внутри городской застройки, так и на пороге его. На сегодняшний день проблема сохранения водных ресурсов состоит не в их недостаточности, а в недостаточном выявлении той роли, какую они играют в функционально-планировочной структуре города.

Реки Волга и Казанка – значительный градостроительный фактор, вокруг которого сформировался центр города. Но в силу исторических причин Казань не имела красивых набережных и выхода к крупной судоходной реке. Она повернулась к ней своими неблагоустроенными окраинами, заболоченными и загрязненными поймами, территориями, занятыми промышленными объектами, складами, железнодорожными путями и множеством рабочих слобод, застроенных деревянными домиками.

В наше время Волга подошла к городу, стала основной планировочной осью. Акватория реки Казанки, также являясь композиционной осью, представляет парадный «водный» проспект. Практически не используются для озеленения и пешеходных прогулочных связей берега Волги и Казанки; уникальные озера Кабан, доставшиеся нам по наследству, давно стали «ахиллесовой пятой» города.

На проблемах озер Кабан следует заострить внимание особенно. Сильнейшее загрязнение водоемов в результате воздействия человека, которое усилилось после появления на берегах озер промышленных предприятий, привело к тому, что уже в шестидесятые годы XIX века состояние Нижнего Кабана оценивалось как неблагополучное. После строительства Куйбышевского водохранилища в шестидесятые годы XX века озера лишились освежающего действия волжского половодья и превратились в замкнутые экосистемы. Загрязнение продолжалось, в 1970 году гидробиолог В.В. Нечкина характеризовала Нижний Кабан как «отстойник нечистот». По последним данным:

- озеро Нижний Кабан находится в условиях длительного промышленного загрязнения;
- озеро Средний Кабан находится в условиях промышленного загрязнения, термофикации;
- озеро Верхний Кабан находится в условиях урбанизированных территорий, не загрязненных промышленными сточными водами.

Эксперимент по очистке и оздоровлению городского озера, в первую очередь Нижнего Кабана, начатый в 1981 году, оказался недостаточным, темпы оздоровительных мероприятий снизились, а количество аварийных сбросов сточных вод не уменьшилось. Для системы озер Кабан снова требуется разработка проекта оздоровления с обязательным обеспечением проточности воды, а также благоустройством и архитектурно-ландшафтной организацией прибрежных территорий.

Все городские водоемы находятся под сильным антропогенным воздействием, экологические последствия которого нуждаются в исследовании. Большое число водоемов Казани находятся на урбанизированных территориях, внутри городских застроек и требуют проведения оздоровительных мероприятий на прилегающих к ним прибрежных территориях.

По данным на 1 января 2006 года, территория, занимаемая Казанью, составляет 42527 га, на сегодняшний день площадь города составляет 73000 га, рост города продолжается и в настоящее время. При этом площадь прибрежных территорий главных акваторий составляет 25,3 % от общей площади города. Протяженность береговых зон в существующих границах Казани суммарно составляет около 55 километров. Суммарная площадь прибрежных территорий в границах водоохраной зоны составляет 61,38 кв.км. По существующим нормам в крупных городах на одного жителя должно приходиться не менее шести квадратных метров озелененных территорий. В Казани же на одного человека приходится всего лишь 27 % озелененных территорий от нормы, что составляет 1,62 кв. метров. Цифра вызывает серьезные опасения и угрозу экологического неблагополучия в городе, последствия которого напрямую связаны со здоровьем жителей.

В данной ситуации вопросом внушительного значения является поиск резервных территорий для восполнения в Казани рекреационного дефицита. В этом случае все внимание к себе притягивают не совсем благоустроенные, неухоженные, местами даже дикие, но обширные и протяженные берега культовых водоемов Казани – реки Волга, реки Казанка и системы озер Кабан. Соотношения открытых и застроенных пространств в настоящее время составляют:

- открытые – 65,45 %;
- застроенные – 34,55 %.

При этом открытые пространства включают как благоустроенную, так и стихийную зелень, пустыри, свалки и маргинальные ландшафты, а застроенные пространства состоят из производственных, коммунально-складских и неблагоустроенных жилых территорий с ветхой застройкой. Процедура трансформации застроенных прибрежных зон в рекреационные ландшафты позволит использовать их потенциал по назначению.

Исходя из вышесказанного, данные прибрежные территории, безусловно, можно и необходимо рассматривать как резервные территории для восполнения рекреационного дефицита города. Разветвленность прибрежных территорий, проникновение их в различные городские районы характерными радиусами является значительным преимуществом, так как этот фактор позволяет обеспечить доступность к рекреационным зонам в различных частях города. Так, северо-восточную часть города пронизывает река Казанка, юго-восточную – система озер Кабан; а западную и южную части города – река Волга. Формирование связей прибрежных зон с городской структурой, освоение и обустройство их, создание на береговых территориях привлекательных для посещения ландшафтно-рекреационных объектов, центров рекреационного притяжения, положительно повлияет на экологическое состояние города в целом, визуально улучшит внутренние и внешние речные панорамы и водные фасады города. Это, в конечном итоге, позволит обеспечить население города необходимыми нормами озеленения, что, в свою очередь, снимет остроту проблемы нехватки зелени, поднимет качество жизни горожан на более высокий уровень.

Однако, оценка современного состояния прибрежных территорий Казани выявила ряд факторов, отсутствие которых не позволяет в полной мере использовать ценнейшие прибрежные территории города для создания качественных комфортных условий жизни в нем. Так, побережье акватории Волги, входящее в границы города, изолировано от городской застройки железнодорожными путями, что очень сильно ограничивает доступ горожан к водоему и осложняет процесс освоения прибрежных ландшафтов. Берега реки Казанки также находятся в изоляции от городских кварталов, и здесь также не сформированы

полноценные пространственные пешеходные связи. Прибрежные территории системы озер Кабан, находясь в гуще городской жилой и промышленной застройки, в условиях жесткой урбанизации отсечены от доступа к ним транспортными магистралями с интенсивным движением, что тоже является препятствием для формирования связей береговых зон с городом.

Таким образом, в ходе исследования в целом по прибрежным территориям были выявлены следующие факторы:

- отсутствует целенаправленное представление о формировании прибрежных территорий города как целостной системы, объединяющей их в непрерывный водно-зеленый каркас города;

- отсутствуют взаимосвязи (планировочная, визуальная, пешеходная, транспортная) внутригородских пространств и многочисленных акваторий города;

- наблюдается оторванность прибрежных территорий от города транспортными коммуникациями, складскими и хозяйственными постройками (река Волга), сложным рельефом (река Казанка); слишком близкое к прибрежной защитной полосе расположение жилых и промышленных кварталов (Нижний Кабан, Волга), отсутствие на прибрежных территориях привлекательных объектов городского обслуживания;

- не сформированы полноценные рекреационные ландшафты, учитывающие специфику городской экологии (защита от негативных влияний, значительные антропогенные нагрузки, необходимость обеспечения саморегуляции и устойчивости экосистем).

Эстетическая оценка прибрежных ландшафтов, имеющая большое значение при рекреационном освоении территорий, выявила следующие ландшафтные особенности:

- северная и восточная части левого берега Волги имеют невыразительный рельеф и скудную растительность, в целом наблюдается недостаточный пейзажный вид побережья;

- северный берег реки Казанка также имеет невыразительный рельеф и скудную растительность;

- южное побережье Казанки отличается выразительным рельефом, обширными озелененными участками и массивами зелени, отмечается живописность прибрежного ландшафта;

- побережья озер Кабан также отличаются скудностью зелени и спокойным рельефом.

В итоге, общая картина эстетического состояния прибрежных территорий реки Волги, реки Казанки, системы озер Кабан неутешительна, напрашивается вывод, что все береговые территории водоемов нуждаются в целенаправленном и системном преобразовании, в создании цельного неделимого элемента градостроительной структуры – водно-зеленого каркаса города.

При развитии и расширении городских территорий природная составляющая осваиваемого ландшафта приходит в упадок. Это явление неизбежно при градостроительном освоении территорий, но при этом не менее важным является максимальное сохранение природных качеств местности, обеспечение города обширными озелененными рекреационными пространствами. В условиях современных крупных городов требуемое сохранение природных комплексов, их рекреационное использование – явление редкое, исключительное. Процесс сокращения и уничтожения природных составляющих города, стертость границ между городскими и рекреационными пространствами, городом и пригородной зоной в результате набирающего обороты строительства является неизбежным и носит необратимый характер.

В сложившихся условиях, при наличии рекреационного дефицита, существующем в настоящее время в Казани и продолжающемся росте территории города, альтернативным решением проблем, способствующим обеспечению экологического баланса, может быть создание водно-зеленого каркаса города. Размещение обширных озелененных ландшафтно-рекреационных объектов на прибрежных территориях позволит восполнить дефицит благоустроенной зелени в городе.

Формирование водно-зеленого каркаса города, как основного планировочного средства обеспечения экологического равновесия городской среды, предполагает сохранение и создание значительных природных территорий, выполняющих рекреационные, природоохранные, а также функции оздоровления.

Задачи формирования водно-зеленого каркаса актуальны для Казани в целом и «периферийной» зоны города и зоны на «пороге города» в частности, что связано с перемещением в данные статусные зоны центра «рекреационной нагрузки» и увеличением плотности населения.

Рекреационное освоение прибрежных территорий, создание водно-зеленого каркаса позволит преобразовать их в поистине культурные ландшафты, в которых природное составляющее должно хорошо сочетаться с инженерными сооружениями рекреационного назначения, хорошей трассировкой сети дорожек и прогулочных тропинок и другими рекреационными объектами. Коммунально-бытовые стоки и вспомогательные обслуживающие подсистемы не должны загрязнять окружающую среду и разрушать природу; характеризуются повышением биологического разнообразия, благоприятными условиями жизнедеятельности и отдыха, высокими эстетическими достоинствами.

Рекреационный потенциал прибрежных территорий очевиден, поскольку рекреационные ландшафты выполняют рекреационную функцию и зеленые зоны, лесопарки, курорты, живописные места – это те объекты, размещение которых на обширных

городских побережьях позволит в полной мере использовать рекреационный ресурс прибрежных территорий для отдыха, лечения, туризма. Благоустройство и освоение прибрежных территорий усиливает природоохранный потенциал этих земель, так как обеспечивает сбережение биологического разнообразия, устойчивость и восстановление геосистемы.

Используя общую привлекательность прибрежных ландшафтов, раскрывая рекреационный потенциал береговой зоны акваторий включением обширных озелененных участков, достигается улучшение жизни и отдыха горожан, что также позволит решить актуальные для Казани вопросы обеспечения экологической устойчивости ландшафтов прибрежных территорий; сохранения природного своеобразия города при его неизменном росте; возврата городу обширных включений природного ландшафта.

Литература

1. Из глубины столетий / Сост. вступ. статьи и комм. Б.Л. Хамидуллина. – Казань: Татар. кн. изд-во, 2000. – 271 с., с илл.
2. Халитов И.Х. Памятники архитектуры Казани XVIII-XIX в. – М.: Стройиздат, 1991. – 191 с.: ил.
3. Колбовский Е.Ю. Ландшафтоведение: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 480 с.
4. Казаков Л.К. Ландшафтоведение с основами ландшафтного планирования: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 336 с.
5. Вергунов А.П. Архитектурно-ландшафтная организация крупного города. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 134 с., ил.

УДК 711.4.01

А.В. Устинов – старший преподаватель
Тел.: 89872967445, e-mail: frak3@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ОБ ИСТОРИИ ЗЕМЕЛЬНОГО ВОПРОСА В РОССИИ И ЕГО МЕСТЕ В ТЕОРИИ И ПРАКТИКЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

АННОТАЦИЯ

Состояние земельных отношений в предреволюционной России характеризуется успехами и неудачами столыпинской реформы, начатой в 1906 году и рассчитанной на 20 лет. Реформа продвигалась весьма успешно, и к 1918 году крестьяне уже владели 77,4 % пахотной земли, 6 % принадлежало хозяйствам некрестьянского типа и лишь 16,6 % оставалось в помещичьем владении. Правда большая часть этих земель перешла в руки крестьян путём самозахвата в межреволюционный период, летом и осенью 1917 года. «Декрет о земле» закрепил реальное положение в области земельных отношений. С 1918 по 1922 годы различными правительствами был предпринят ряд попыток законодательно урегулировать земельные отношения. Однако победа большевиков в земельном вопросе увенчалась Земельным кодексом 1922 года, который зафиксировал право индивидуального пользования землёй при её государственной собственности. С разворотом внутренней политики СССР к тотальной коллективизации этот документ потерял актуальность. Незыблемость государственной собственности на землю была отмечена в Конституции СССР 1936 года и вплоть до периода расцвета застоя земельный вопрос в СССР перестал существовать.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: градостроительство, земля, земельные отношения, землеустроительство, земельный вопрос.

A.V. Ustinov – senior lecturer
Tel.: 89872967445, e-mail: frak3@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE HISTORY OF LAND QUESTION IN RUSSIA AND THE PLACE IT OCCUPIES IN THEORY AND PRACTICE OF MUNICIPAL ENGINEERING

ABSTRACT

The state of Russia before revolution can be characterized as being full of successes and failures of Stolipin's reform which took place in 1906 and was calculated to last for 20 years. The basis of this reform was constituted by the land question. The reform itself advanced rather successfully and by 1918 peasants already owned about 77,4% of arable land, 6% of it was in the arms of the non-peasant economies, and only 16,6% was in the possession of landlords. The bulk of these lands turned up to be owned by peasants illegally, by means of unauthorized acquisition during the period between February and October revolutions – in summer and autumn of 1917. "The Land Decree" consolidated the real status of land relations that had been formed in area. In the period starting from 1918 till 1922 a number of attempts was undertaken by different governments to adjust land relations legislatively.

However the victory of Bolshevik's party was crowned with Land code of 1922, which had fixed the right of individual usage of land, that in the same time was under the government property holdings. This document has lost its actuality in connection with the about-turn of the USSR's home policy to the total collectivization. The stability of the government holdings concerning the question of land was emphasized in the Constitution of USSR of 1936, and up to the period of stagnation prosperity the land question fell out of the existence.

KEYWORDS: municipal engineering, land, land question, land management, land relations.

Современная общественная жизнь России характеризуется нарастанием процесса самоидентификации человека, отдельных социумов и общества в целом, а также переосмыслением некоторых понятий, историческое содержание которых не соответствует современности. Одно из таких понятий – градостроительство. В современном толковании градостроительство должно рассматриваться шире, чем планировка городской территории. Становится очевидным, что градостроительство, как элемент ***управления территорией***, призвано предлагать комплексные решения, учитывающие экологию,

транспорт, инженерные сооружения и коммуникации, социологию, благоустройство территории, вопросы права и экономики.

Жизнь человека неотрывна от земли: планета, суша, ореол обитания, средство производства, объект недвижимости. Местоположение и рельеф, почва, недра и вода, растительный и животный мир – факторы, определяющие степень привлекательности её освоения. Развитие социально-экономических отношений в человеческих организациях формирует понятия о территориальной обособленности, наличии неизбывного окружения и неизменного местоположения. Далее, с приобретением владельца, пользователя или распорядителя земля становится **землевладением**, субъектом имущественных взаимоотношений. Появление земельных отношений сопровождается установлением системы мероприятий по учёту земель, определению правового статуса собственника, оценке стоимости земли, охране и контролю использования – одним словом, «землеустройством».

Для понимания особенностей современного состояния землеустройства в России необходимо отследить историю его преобразований в неразрывной связи с политическим устройством государств, располагавшихся на территории современной России. Наиболее важными для данного исследования являются: *допетровский период; период от Петра I и Екатерины Великой до XIX века; середина XIX века – отмена крепостного права; начало XX века – столыпинская реформа; досоветский и советский периоды; постсоветский период.*

Необходимо также отметить, что форма и устойчивость системы обладания собственностью, и в первую очередь землёй, в значительной степени предопределяют менталитет отдельного человека, общества и всей системы взаимоотношений. В этой связи историческое знание является непременным условием преемственности и поступательного развития общества. В то время как мифологизация прошлого лишает нас будущего, обрекая нас на многократное повторение уже совершённых ошибок. Вопрос соотношения «общего» и «частного», т.е. вопрос структурирования и правового регулирования имущественных отношений в современной России находится в центре идеологических, экономических и политических проблем, однако тема землеустройства остаётся слабо актуализированной и чрезвычайно запутанной.

Итак, несколько слов об истории земельного вопроса в России.

Допетровский период – от общины до царя

Русские в VIII-XIII вв. обитали в основном на Среднем и Верхнем Днепре. Занимались торговлей, чему способствовал великий торговый водный путь Северо-Восточной равнины из Балтийского моря в Черное, из Новгорода в Киев. Помимо торговли промышляли ремеслами, земледелием, скотоводством, лесными промыслами, а также железным делом.

В XIII-XV и далее до XVIII вв. русские расселяются на юг, север и восток. Формируется Русь Великая. Основу её экономики составляет сельское хозяйство с феодальными экономическими отношениями. Мелкие деревни преобладают над городами. Формой хозяйствования становится община, как добровольное объединение частников. Община же и управляет территорией.

Земли в России много, не сосчитать. Никто и не пытается считать. Через каждые 6-7 лет возделывания крестьяне бросают землю, запускают освоенный участок в перелог и переходят на другой участок. Однако б*о*льшая часть крестьянства ради реального заработка всё-таки обращается к промыслам: лыкодерству, мочальному промыслу, звероловству, бортничеству, рыболовству, солеварению, смолокурению, железному делу. Главными товарами Руси являются хлеб, лес, мед, воск и меха. Наибольшую часть населения деревни составляют “торгующие” крестьяне.

Границы княжеств, не говоря уже о территориях городов, поселений, сельскохозяйственных угодий и владений общин, размыты и неопределённы. И вместе с объединением княжеств к концу XVII века собственником всей земли Русской, при сохранении общинного уклада и других форм её эксплуатации, становится царь. К этому времени относятся первые попытки учёта и описания земель, предпринятые церковью, обращённые, впрочем, только к своим церковным землям.

От Петра I до XIX века – власть империи

XVIII век в российской истории – период сложный и противоречивый. В общественных отношениях господствует крепостничество, которое реформаторскими изменениями не только не ослаблено, но и ужесточено. Реформы Петра, отражённые в тысячах законодательных актов, опираются не на творческую инициативу общины, а на мощь государственного механизма с его институтами. Интересы страны ориентированы за её пределы, а усилия сконцентрированы на создание мощной армии, военного и торгового флота, промышленности, новой денежной системы и др.

История не сохранила четкого плана реформ Петра Великого, основным содержанием которого стала попытка скачкообразного перехода от традиционного аграрного общества к обществу индустриальному. Община утратила своё историческое самоуправление и превратилась в форму учёта налогооблагаемой базы. В области земельных отношений Петр I уничтожил поместную систему, сравнял поместья с вотчинами и

ввел подушную подать. В результате задача качественного учета земель и их оценки потеряла смысл, не успев сформироваться. Вместе с тем значительно повысилась точность полевых измерений, впервые основанная на геометрии и применении геодезических инструментов. Однако замысел Петра I о производстве сплошного межевания не был реализован ввиду появления других приоритетов, и первое генеральное межевание было начато в 1754 году.

Россия непрерывно прирастает территориями. Но в земельных отношениях вплоть до середины XIX века, включая царствование Екатерины Великой, самые тучные годы царствования Романовых, ничего не меняется. Земля не является субъектом права и рассматривается только как источник доходов.

Середина XIX века – отмена крепостного права

Отмена крепостного права 19 февраля 1861 года и связанные с отменой реформы, вызванные оформившейся критикой представлений о крепостнических отношениях, должны были стать прорывом в политическом устройстве России.

Крепостное право отменялось навсегда, а крестьянам предоставлялись права свободных сельских обывателей. Однако была сохранена помещичья собственность на землю. Хотя помещики и обязывались предоставить в пользование крестьянам “усадебную оседлость” и полевой надел, за которые крестьяне отбывали барщину или платили оброк. Одновременно крестьяне получили право выкупа земли, для чего крестьянам предоставлялось пособие в виде ссуды в специальных государственных банках. Сохранив в своих руках часть обрабатываемой ими земли, крестьяне были вынуждены выкупать её по цене, заведомо превышающей стоимость. Выкуп сопровождался «земельным кредитом», притом ссудное обеспечение не требовало волеизъявления крестьян и назначалось подневольно на выкуп земли. Такая обременённая непосильными условиями «передача» земли, которую крестьянин уже считал своей, конечно же, не казалась справедливой. Не доверяя помещикам, в массе своей подверженным либеральным теориям, монархия с помощью начатой земельной реформы вновь попыталась поставить земельный вопрос под свой контроль.

Возвращение к начатому в связи с земельной реформой межеванию имело целью определение границ земельных владений и составление соответствующих документов, устранение неудобных условий землепользования, а также определение доходности владений для исчисления налога на основе подробной съемки и оценки угодий. Теперь земельная собственность могла быть единоличной, общей для нескольких лиц с указанием доли каждого, общинной.

Начало века XX века – столыпинская реформа

Реформа, которая начинается Указом императора Николая II 6 ноября 1906 года, спровоцированная революционными событиями 1905 года, вошла в историю под именем ее автора и организатора – П.А. Столыпина, в течение пяти лет (1906-1911) занимавшего пост председателя Совета Министров. Главным её содержанием был передел земельной собственности, разрушение общины и внедрение частной собственности на землю.

Формы землевладения и землепользования в начале XX века в России отличались большим разнообразием. Землепользование сохраняло сословно-феодальный характер, а наряду с формирующейся буржуазной частной собственностью существовали: казённая (35 %), удельная, т.е. земли императорской фамилии (2 %), личные владения царя – которые были исключены из товарного оборота и купле-продаже не подлежали. 35 % составляли надельные земли крестьян и казачьих войск, находившиеся в неполной собственности общин или отдельных дворов. Общинные наделы не покупались, не продавались, но сдавались в аренду. Приусадебные земли были в потомственном пользовании. Собственность юридических лиц, включая церкви, монастыри, города, посады, учреждения, составляла менее 2 % территории государства. Частновладельческое землепользование дворян, купцов, мещан, почетных граждан, крестьян, различных обществ и компаний занимало около 29 %. Из них больше половины принадлежало дворянам. Земли Сибири, Дальнего Востока, Средней Азии и Закавказья принадлежали казне и кабинету министров. Хотя в Сибири крестьяне пользовались государственной землей и фактически присваивали ее неограниченно.

Всего с 1906 по 1915 гг. о закреплении земли в собственность заявили около 30 % крестьянских хозяйств. Закреплена земля была за 22 % хозяйств, которым отошло в собственность 16 % всей надельной земли.

Земельные отношения в России в XX веке развивались в направлении утверждения частной земельной собственности. За неполные полвека (с отмены крепостного права) активного межевания был накоплен огромный объём информации, составляющий основу земельных отношений. Начатая в 1906 году очередная земельная реформа, сильно замедлившаяся со смертью Столыпина, расколола общество на западников и патриотов. Так, расколотая земельным вопросом на непримиримые части, Россия подошла к февральским событиям 1917 года.

Досоветский и советский периоды – национализация

В феврале 1917 года прекратилась власть Царя, а вместе с ней и его собственность на землю. Началось то, что впоследствии получило название земельный передел.

Для понимания общей ситуации, сложившейся в стране после отречения монарха, необходимо отметить, что пришедшие к власти либералы и конституционные демократы не обладали ни достаточным авторитетом, ни внятной идеологией, ни административным опытом, ни революционной наглостью. Вместе взятые эти обстоятельства привели к тому, что ставший к тому времени главным в России земельный вопрос не стал предметом обсуждения и темой первых законодательных актов Временного правительства. Кажущееся благополучие в области землевладения и землепользования привело к тому, что в своей первой Декларации от 2 марта Временное правительство даже не упоминает о земельном вопросе. Лишь телеграммы с мест о беспорядках в деревне заставляют заявить 19 марта, что земельная реформа "несомненно, станет на очередь в предстоящем Учредительном собрании".

Крестьянство же требовало просто запретить земельные сделки, так как помещики в условиях хаоса и неопределённых политических перспектив начали спекуляцию землей, в том числе распродажу земли иностранцам. Уже к концу апреля крестьянские волнения охватили 42 из 49 губерний европейской части России. Попытка запрета земельных сделок была главным источником конфликтов в правительстве. На правительство давили и Совет объединенных дворянских обществ, и финансовый капитал в лице Комитета съездов представителей акционерных обществ. 12 июня правительство принимает закон об ограничении сделок, который сами сделки не запрещает, а передаёт вопрос об их разрешении стихийно сформированным земельным комитетам. Таким образом, разрешение проблем, связанных с землевладением и землепользованием, переносится на места. Правительство самоустранилось от решения земельного вопроса.

8 июля Временное правительство вновь пообещало "полную ликвидацию разрушительной и дезорганизующей деревню прежней землеустроительной политики", но реально было принято постановление только "о приостановлении землеустроительных работ", посредством которых проводилась столыпинская реформа. Затихшие с наступлением лета крестьянские восстания в августе, после окончания полевых работ, начались с новой силой. Под влиянием эсэров в крестьянских земельных комитетах были выдвинуты требования национализации земли. Пойти на это Временное правительство не могло, поскольку половина земель частных владельцев была заложена, и национализация разорила бы банки, основу, как казалось, стабильности государства. Правительство в решении главного вопроса России оказалось беспомощным.

Лишь 24 октября Временное правительство постановило полностью передать земли в ведение земельных комитетов – впредь до решения земельного вопроса Учредительным собранием. Но было уже поздно. 25 октября это правительство было смещено.

Летом 1917 года, вследствие самоустранения Временного правительства от решения земельного вопроса, в деревне началась гражданская война. В то время, когда революционеры в столице делили власть, крестьяне на селе делили землю. К осени 1917 года крестьянскими беспорядками было охвачено 91 % уездов России.

Наиболее адекватно степень важности земельного вопроса оценили эсэры. Под их влиянием был сформирован крестьянский наказ Временному правительству (на основе 242 наказов местных крестьянских земельных комитетов), ставший впоследствии неотъемлемой частью Декрета о земле. К осени 1917 года и для крестьян, и для помещиков национализация земли стала единственным средством прекращения войн на меже при переделе земли явочным порядком.

Декрет о земле, принятый 26 октября 1917 года, занимает особое место среди первых декретов Советской власти, так как этим документом был уничтожен земельный строй дореволюционной России и обозначено направление формирования нового земельного строя России. И хотя в самом Декрете термин "национализация земли" не содержится, его положения законодательно закрепили именно национализацию земли. Декрет установил, что помещичья собственность на землю отменяется немедленно и без всякого выкупа, ***все*** земли обращаются во всенародное достояние и переходят в пользование ***всех*** трудящихся, что означало передачу ***всей*** земли в собственность государства. Юридическим выражением национализации земли явилось право исключительной собственности государства на землю – запрещались любые сделки с землей: купля-продажа, аренда, залог. Одновременно устанавливалась государственная собственность не только на землю, но и на ее недра, леса и воды. Дальнейшее развитие идея государственной собственности на землю получила в работе III Всероссийского съезда Советов 18 января 1918 года, где проект Декрета о ***социализации*** земли был доработан и 9 февраля утверждён ВЦИКом.

Таким образом, в решении земельного вопроса большевики выступили как ***реставраторы Российской империи*** – хотя и в другом обличии. Формировавшийся на протяжении 10 лет столыпинской реформы класс земельных собственников был уничтожен, а материалы генерального межевания сгорели в революционном огне. Исторически сложившееся разнообразие форм владения, распоряжения и пользования землёй в России: государственная, удельная, кабинетская, монастырская, церковная, посессионная, майоратная, частновладельческая, общинная, крестьянская и их сочетания – перестало существовать.

Первые годы советской власти прошли под

знаменем гражданской войны и военного коммунизма. Естественно, когда по России катилось красное колесо, решение земельного вопроса было важной, но не первостепенной задачей. Хотя работа по совершенствованию заявленных в декрете о земле идей не прекращалась в правительстве большевиков и в эти годы. Уже в начале 1918 года Наркомземом был разработан проект Земельного кодекса РСФСР, включавшего в себя основные положения Декретов о земле и о социализации земли. В нем предусматривалось закрепление права государственной собственности на землю, указывались формы и виды землепользования. Особое внимание уделялось землепользованию совхозов и коллективных хозяйств. В декабре 1921 года Наркомзем приступил к пересмотру действующего земельного законодательства в целях превращения его в стройный, ясный, доступный пониманию каждого земледельца свод законов о земле.

Необходимо отметить, что попытки законодательного решения земельного вопроса в период гражданской войны предпринимали и правительства различных территорий (государственных и административных) России, но военные успехи республики Советов и переход от военного коммунизма к НЭПу лишили эти попытки возможности реализации, выбив почву из-под ног идеологов белого движения.

Утверждённый 4 сессией ВЦИК девятого созыва 30 октября и вступивший в действие 1 декабря 1922 года Земельный кодекс РСФСР собрал воедино и кодифицировал всё действовавшее и не противоречившее новой политике законодательство. Кодексом подробно регулировалось землепользование совхозов, сельскохозяйственных артелей, коммун и товариществ. Другая его задача заключалась в правовом регулировании землепользования единоличных крестьянских хозяйств и обеспечении их устойчивости. Фактически ЗК РСФСР 1922 года привёл решение земельного вопроса в соответствие с требованиями крестьянского наказа 1917 года. Крестьянская революция в России победила, однако эта победа обернулась поражением. Крестьянство, не являясь самостоятельной политической силой, не смогло создать отвечающую его интересам государственную власть. Демократические возможности уничтожены гражданской войной, а из столкновения насилий выросла «диктатура пролетариата».

Дальнейшее развитие земельного вопроса в советской России носит идеологический характер и связано с последовательным внедрением в сознание масс тезиса о государственной собственности как наиболее передовой идеи современности. Разворот внутренней политики СССР к коллективизации, констатация государственной собственности на землю в Конституции СССР 1936 года, начало формирования земельного, водного и лесного кадастров в 1955 году – полностью нивелировали значение земельного вопроса вплоть до 1977 года. В конституции «развитого социализма» впервые за много лет было закреплено право личной собственности гражданина, что было очевидной уступкой крестьянству, уставшему от социалистического разложения аграрного комплекса. Началась эпоха дач и картофельных наделов.

Заключение – постсоветский период

С легализацией частной собственности комплекс земельных отношений стал радикально меняться. Казалось, что регулирование земельных отношений только что созданным земельным и гражданским законодательством, их совместное применение в рыночных условиях обеспечит соблюдение интересов и собственника земли, и государства. Однако для формирования и дальнейшей проработки правовых вопросов землеустройства необходимо было хотя бы определиться с интересами заинтересованных сторон.

Интерес государства – это вопросы управления земельными ресурсами, разграничение предмета регулирования земельного и гражданского законодательства, разграничение прав между хозяйствующими субъектами, а также регулирование отношений собственности и перераспределения земель между различными сферами экономики. Это совершенно новая для новой власти проблема, т.к. административно-командной системе при отсутствии собственников решать эти вопросы было легко, т.к. земля не имела ни собственника, ни стоимости.

Если с интересами государства в его стремлении всё поставить под контроль всё более или менее ясно, то с интересами собственника пока далеко ***не всё***. В общественных дискуссиях и по сию пору превалирует мнение о необходимости государственной собственности на землю. Так, 22 апреля 2009 года в популярном ток-шоу «Открытая студия» обсуждалась тема “Земля народу”. На протяжении всей передачи зрителям предлагалось ответить на вопрос: земля должна принадлежать государству или гражданину? Из дозвонившихся зрителей 58 % оказалось за государственную собственность на землю и 42 % за право гражданина быть собственником на своей земле. Однако необходимо отметить, что предложенная телевизионщиками формулировка не исчерпывает всей сложности земельных отношений. А значит сторонники госсобственности на землю в своих ответах вряд ли имели в виду собственный дачный участок, а их противники наверняка не думали о лесах, горах, приграничных землях и проч. Формат телепередачи не предполагает углублённого освещения темы, но сам факт постановки вопроса говорит о его актуальности.

В современной России земельные отношения в основном регулируются Земельным кодексом РФ, принятым Государственной Думой 28 сентября 2001 года.

За истекшие 8 лет в этот документ внесено 38 изменений, что красноречиво свидетельствует о коренных изменениях земельных отношений. До сих пор ряд актуальных в повседневной жизни вопросов решается в ручном режиме на уровне муниципалитетов, зачастую вопреки действующему федеральному законодательству. Управление земельными ресурсами как со стороны муниципалитетов, так и со стороны собственника осложняется отсутствием реальных предпосылок для определения стоимости земли и методик её оценки, что делает реализацию требования Земельного кодекса РФ о платном характере предоставления земли проблематичной.

Даже теперь, хоть бы и в условиях рынка, эффективность возможного использования земли не является основой её цены. Стоимость земли в современной экономике не зависит от её ценности, а ценность не определяется рынком. Существующие кадастровые или аудиторские методики оценки земли носят закрытый, а часто и просто волюнтаристский характер. Федеральная власть, как в своё время власть царская, провозглашая единую землеустроительную политику, фактически не в состоянии эффективно управлять земельными ресурсами. А не имеющая реальной стоимости земля не является основой хозяйственной деятельности и не служит опорой развития промышленности, сельского хозяйства, экономики, но является предметом пристального внимания управленцев всех уровней и земельных спекулянтов.

Земельный вопрос в современной России необходимо трактовать, как определение статуса земельного участка, имеющего определённые границы, фиксированную площадь и обладающего рядом качественных характеристик, выраженных в стоимости земли. Рыночная оценка земли, в свою очередь, определяется оценкой прав и возможностей собственника извлекать из земли определенную пользу. Однако управление земельными ресурсами на федеральном уровне имеет в основе своей слабое понимание законодателем особенностей региональных земельных отношений, опирающихся на многовековые этнические традиции землепользования. Не будет ошибкой предположить, что взаимоприемлемое решение земельного вопроса лежит в направлении большей самостоятельности местного самоуправления в вопросах эффективного землеустройства, которое как часть градостроительного процесса является основой управления территорией.

Литература

1. Декрет II Всероссийского съезда Советов о земле, 26 октября (8 ноября) 1917 г. Выверено по изданию: Декреты Советской власти // Т. I. – М.: Гос. изд-во полит. литературы, 1957.
2. Конституция (Основной закон) Союза Советских Социалистических республик утверждена чрезвычайным VIII съездом советов Союза ССР 5 декабря 1936 года (с последующими изменениями и дополнениями) // Текст с сайта http://www.allpravo.ru/library/doc117p/instrum118/item2013.html.
3. Конституция (Основной Закон) Союза Советских Социалистических Республик, (утверждена резолюцией II-го Съезда Советов Союза ССР от 31 января 1924 г.) // Текст с сайта http://constitution.garant.ru/DOC_5000.htm.
4. Всероссийский Центральный Исполнительный Комитет, постановление от 30 октября 1922 года о введении в действие Земельного кодекса, принятого на 4 сессии IX созыва // Текст с сайта http://www.lawbase.ru/content/view/2935/35/.
5. Кабанов В.В. Аграрная революция в России (содержание, время действия, результаты) // В кн.: Всесоюзная научно-практическая конференция по проблеме «Великая Октябрьская социалистическая революция и освещение ее всемирно-исторического значения в преподавании общественных наук и исторических дисциплин в высшей педагогической школе». Тезисы. Вып. 2. – М., 1977. – С. 27.
6. Данилов В.П. Перераспределение земельного фонда России в результате Великой Октябрьской революции // В кн.: Ленинский декрет «О земле» в действии. – М., 1979.
7. Каландадзе А.М., Королев А.И. Декрет о земле и начало великих аграрных преобразований в деревне // Правоведение, 1967, № 5.
8. Комов Н.В. и др. Земельные отношения и землеустройство в России. – М., 1995. – С. 512.
9. Горянин А. Мифическая Община и реальная собственность (версия для печати) // Текст с сайта http://www.strana-oz.ru/?numid=30&article=1283.
10. Рынков В.М. Между Сциллой и Харибдой: аграрное законодательство антибольшевистских правительств на востоке России (лето 1918-1919 гг.) // Актуальные проблемы социально-политической истории Сибири (XVII-XX вв.): Бахрушинские чтения 1998 г.; Межвуз. сб. науч. тр. – Новосибирск: НГУ, 2001.

УДК 515.2: 624.04
А.А. Абдюшев – старший научный сотрудник
Тел.: (843) 272-42-45, e-mail: YZSRR@kfti.knc.ru
И.Х. Мифтахутдинов – кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Тел.: (843) 231-91-15, e-mail: mift1943@mail.ru
П.П. Осипов – доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник
Тел.: (843) 231-91-17, e-mail: ossipov@kfti.knc.ru
Институт механики и машиностроения Казанского научного центра Российской академии наук (ИММ КНЦ РАН)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕПОЛОГИХ ОБОЛОЧЕК МИНИМАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

АННОТАЦИЯ

Разработан программный комплекс для построения минимальных поверхностей, широко применяемых в архитектуре. Для построения оболочек со сложной конфигурацией применена технология многоуровневых адаптивных сеток. Приведено сравнение результатов построения оболочек по двум моделям, описываемым уравнениями Лапласа и Эйлера-Лагранжа. Дан анализ сходимости итерационных алгоритмов вычисления и точности представления минимальных поверхностей по различным моделям.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: непологие оболочки, минимальные поверхности, уравнения Эйлера-Лагранжа, Лапласа.

A.A. Abdiushev – senior staff scientist
Tel.: (843) 272-42-45, e-mail: YZSRR@kfti.knc.ru
I.H. Miftakhutdinov – candidate of technical sciences, senior staff scientist
Tel.: (843) 231-91-15, e-mail: mift1943@mail.ru
P.P. Osipov – doctor of physical-mathematical sciences, leading staff scientist
Tel.: (843) 231-91-17, e-mail: ossipov@kfti.knc.ru
Institute Mechanical engineers and Machine building of Kazan Scientific Centre of Russia Academy of Sciences (IMM KSC RAS)

DESIGN OF STEEP SHELLS WITH MINIMAL SURFACE

ABSTRACT

The simulator generating widely used in architecture minimal surfaces is developed. The technology of multylevel adaptive grids for generation of shells having complex shape is applied. The comparison of numerical results for two models corresponding to Laplace and Euler-Lagrange equations is presented. The analysis of convergation of iteration algorithms and quality of minimal surface representation for two models is given.

KEYWORDS: steep shells, minimal surfaces, Euler-Lagrange, Laplace equations.

Введение

Формы минимальных поверхностей (МП) и уравнения, их описывающие, известны из работ Л. Эйлера (1755) и Ж.Л. Лагранжа (1760). В 1861 году бельгийский физик Ж. Плато показал всему миру эти поверхности в виде мыльной пленки, натянутой на проволочный каркас. В настоящее время широко известен ряд минимальных поверхностей [1, 2, 3, 4]. В экспериментальной работе [2] показано, что при описании МП можно приближенно пользоваться уравнением Лапласа. Условно назовем получаемые при этом поверхности поверхностями Лапласа (ПЛ). Широкому применению МП в архитектуре и строительстве способствует их привлекательный архитектурно-выразительный внешний вид, поскольку они созданы самой природой. Их оптимальность заключается в минимальном расходе материалов, а также в уменьшении теплообмена с внешней средой. Начало применению МП в архитектуре и строительстве положил известный немецкий архитектор и инженер Ф. Отто. В лаборатории Штутгартского университета (ФРГ) под его руководством проведено большое количество экспериментов с мыльными пленками, тонкими резиновыми шнурами, тканевыми и металлическими сетями для нахождения МП. Эти

эксперименты нашли воплощение во многих тентовых и сетчатых (вантовых) конструкциях, запроектированных и построенных под руководством Ф.Отто. Среди них павильон ФРГ в Монреале (1967) из тентовой конструкции, светопрозрачное сетчатое покрытие трибун Олимпийского стадиона в Мюнхене (1972), прозрачная конструкция выставочного павильона в Мангейме (1978) и др.

Отечественными учеными также внесен определенный вклад в разработку теории МП и внедрению их в практику строительства: тентовое покрытие под куполом в молодежном лагере близ Казани (1967), тентовые и полимерные покрытия над рыночными павильонами Казани и Татарстана (Блинов Ю.И., Сладков В.А., Удлер Е.М., Мифтахутдинов И.Х. и др.).

В настоящее время появились дорогостоящие программные комплексы (NASTRAN, ANSYS, CosmosWorks), позволяющие, в частности, рассчитывать геометрию оболочек, заданных на сложных в плане областях. В настоящей работе представлены результаты вычислений геометрии МП с использованием авторских программных разработок.

Математическая модель

Уравнение поверхности. МП характеризуются тем, что при заданных граничных условиях их средняя кривизна в любой точке равна нулю [2, 4]. Аппликаты этих поверхностей в декартовой системе координат удовлетворяют уравнению Эйлера-Лагранжа

$$\left\{1+\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2\right\}\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}-2\,\frac{\partial z}{\partial x}\frac{\partial z}{\partial y}\,\frac{\partial^2 z}{\partial x\partial y}+$$

$$+\left\{1+\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2\right\}\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}=0,$$

или в дивергентной форме

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(m\,\frac{\partial z}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(m\,\frac{\partial z}{\partial y}\right)=0,$$

$$m=\left\{1+\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2\right\}^{-0.5}. \qquad (1)$$

Для пологих оболочек подъемистости вдоль осей малы, т.е. $\partial z/\partial x << 1$ и $\partial z/\partial y << 1$, и поэтому $m \approx 1$. Для них хорошим приближением служит решение уравнения Лапласа, которое получается из (1) при $m=1$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}=0. \qquad (2)$$

Для подъемистых оболочек величина m может значительно отличаться от единицы, и уравнение Лапласа неадекватно описывает МП.

Граничные условия. Основные граничные условия, применяемые в архитектуре и строительстве, сводятся к условиям Дирихле. На границе G области задается проектная высота поверхности (аппликата)

$$z\big|_G = w(x(t), y(t)), \text{ или } z\big|_G = w(t), \qquad (3)$$

где $x(t)$, $y(t)$ – параметрические уравнения участков границ.

Алгоритм определения поверхности

Записав уравнение (1) в конечных разностях на девятиточечном шаблоне равномерной сетки (рис. 1) и обозначив $T_{i,j} = z(x_i, y_j)$, получим:

$$T_{i,j} = g_1 T_{i+1,j} + g_2 T_{i,j+1} +$$

$$+ g_3 T_{i-1,j} + g_4 T_{i,j-1}, \qquad (4)$$

где $g_k = \dfrac{m_k}{m_1+m_2+m_3+m_4}$, $(k=1,2,3,4)$,

$$m_1 = \left\{1+\left((T_{i+1,j}-T_{i,j})/h\right)^2+\left((T_{i,j+1}+\right.\right.$$
$$\left.\left.+T_{i+1,j+1}-T_{i+1,j-1}-T_{i,j-1})/(4h)\right)^2\right\}^{-0.5},$$
$$m_2 = \left\{1+\left((T_{i+1,j+1}+T_{i+1,j}-T_{i-1,j+1}-\right.\right.$$
$$\left.\left.-T_{i-1,j})/(4h)\right)^2+\left((T_{i,j+1}-T_{i,j})/h\right)^2\right\}^{-0.5},$$
$$m_3 = \left\{1+\left((T_{i,j}-T_{i-1,j})/h\right)^2+\left((T_{i-1,j+1}+\right.\right. \qquad (5)$$
$$\left.\left.+T_{i,j+1}-T_{i,j-1}-T_{i-1,j-1})/(4h)\right)^2\right\}^{-0.5},$$
$$m_4 = \left\{1+\left((T_{i+1,j}+T_{i+1,j-1}-T_{i-1,j1}-\right.\right.$$
$$\left.\left.-T_{i-1,j-1})/(4h)\right)^2+\left((T_{i,j}-T_{i,j-1})/h\right)^2\right\}^{-0.5}.$$

Уравнение (4) решается с помощью метода последовательных приближений, т.е. итераций $(n=0,1,2,...)$

$$T_{i,j}^{n+1} = g_1^n T_{i+1,j}^n + g_2^n T_{i,j+1}^n +,$$

$$+ g_3^n T_{i-1,j}^n + g_4^n T_{i,j-1}^n \qquad (6)$$

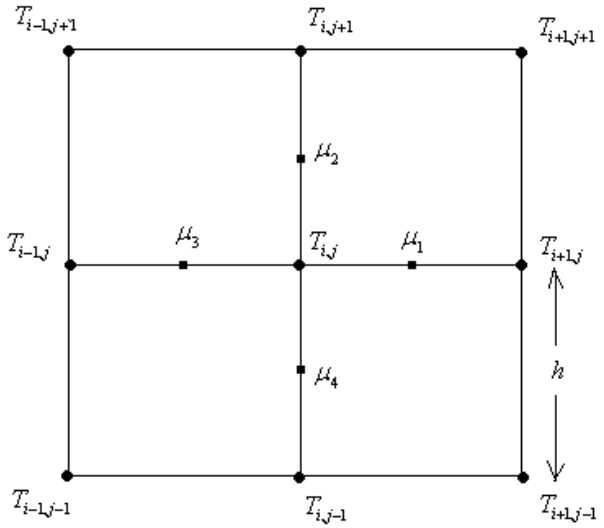


Рис. 1. Девятиточечный шаблон

где индексы i, j пробегают по внутренним узлам сетки.

Процесс устойчив, поскольку все $g_k^n > 0$ и $g_1^n + g_2^n + g_3^n + g_4^n = 1$. Устойчивость гарантирует то, что итерация не расходится, но не гарантирует ее сходимости. Наши численные эксперименты неизменно показывали сходимость метода (6).

Для пологих оболочек все $m_k^n \approx 1$ и $g_k^n \approx 1/4$. Заметим, что при численном решении уравнения Лапласа можно использовать итерацию (6), положив все $g_k^n = 1/4$. В этом случае достаточно пятиточечного шаблона «крест».

Расчет МП на равномерных сетках

В качестве тестового примера была выбрана поверхность Шерка [1, 3]

$$z = \frac{1}{a}\log\left(\cos(ay)/\cos(ax)\right). \qquad (7)$$

Был рассмотрен случай $a = 1$ для диапазона $x, y \in \left[-arctg(k), arctg(k)\right]$; $k > 0$. Здесь k – модуль градиента функции $z(x, y)$ на границе рассматриваемой области. Можно убедиться, что эта поверхность точно удовлетворяет уравнению (1). На рис. 2 показаны соответствующие участки поверхности Шерка при разных значениях подъемистости k.

В таблице 1 приведены максимальные относительные погрешности расчета узловых аппликат поверхности Шерка (7) по уравнениям Лапласа (2) и Эйлера-Лагранжа (1). Погрешности отнесены к максимальному диапазону аппликат. Была использована равномерная квадратная сетка при трех вариантах числа разбиения N.

Расчет проводился до тех пор, пока модуль средней разности значений аппликат для двух последовательных итераций не становился меньше $5 \cdot 10^{-7}$. Расчеты проводились с привлечением программных средств АРС ЭРА ПК2000 [5]. Анализ результатов показывает, что для построения МП применение уравнения Лапласа является приемлемым с практической точки при подъемистости $k \le 1$. При $k > 1$ построение МП необходимо проводить с применением уравнения Эйлера-Лагранжа [4]. При этом следует отметить, что сходимость итерационного процесса к ПЛ, организованного по пятиточечному шаблону, происходила в среднем в два раза быстрее процесса итерирования к МП по девятиточечному шаблону.

Расчет МП на нерегулярных сетках

При построении сеток для произвольных областей использована технология многоуровневых сеток [6]. Такие сетки состоят из квадратных ячеек, получаемых многократной бисекцией крупной декартовой сетки.

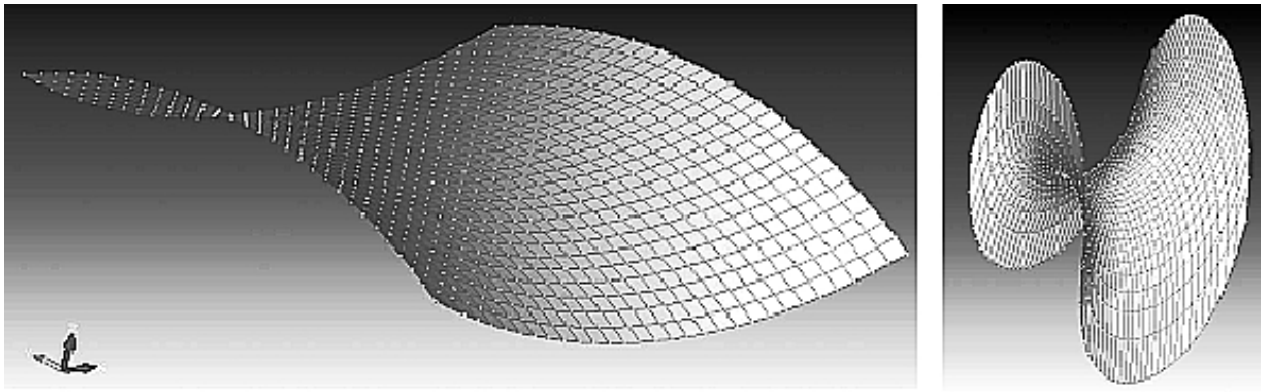


Рис. 2. Участки поверхности Шерка. Слева: *k* = 0.5; справа: *k* = 10

Таблица 1

N	Лаплас	Эйлер-Лагранж
	$k = 0.2$	
10	0.000833	0
30	0.000904	0
50	0.000908	0
	$k = 0.5$	
10	0.004820	0.000011
30	0.005203	0.000001
50	0.005219	0.000000
	$k = 1.0$	
10	0.015577	0.000139
30	0.016607	0.000016
50	0.016621	0.000006
	$k = 5.0$	
10	0.083611	0.006885
30	0.084412	0.001285
50	0.084476	0.000509
	$k = 10.0$	
10	0.119564	0.014674
30	0.120620	0.004707
50	0.120703	0.001925

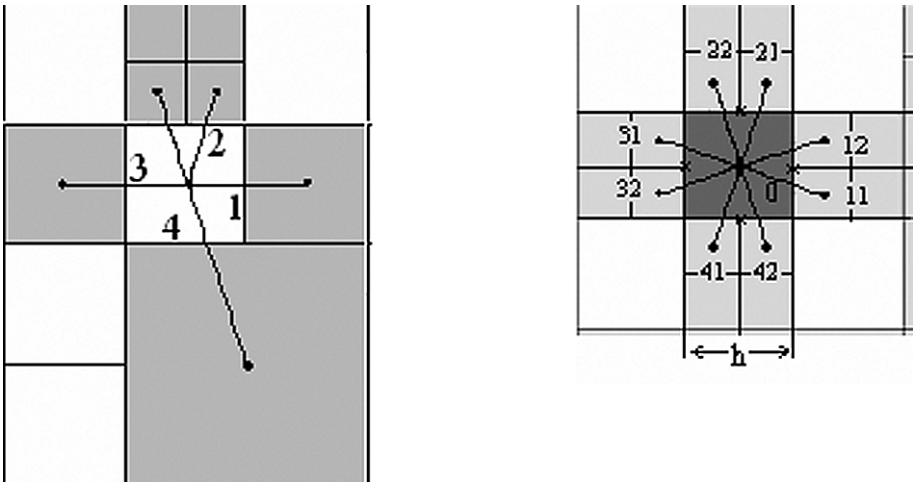


Рис. 3. Нумерация сторон ячейки и смежных ячеек

Типичный пример ячейки и смежных ячеек изображен на рис. 3. Ранг ячейки характеризует число бисекций (размер ячейки). Чем выше ранг, тем больше ячейка. При этом правило рангов требует, чтобы ранг ячейки отличался не более чем на единицу от рангов смежных ячеек. В центре ячейки задана аппликата. Для получения девятиточечного шаблона определяются аппликаты на серединах сторон и в углах ячейки (жирные точки на рис. 4 и 5). Для этого используется линейная интерполяция. В таблице 2 приведены формулы вычисления аппликаты Λ_1 для середины первой стороны в зависимости от рангов и положения смежных ячеек. Для других сторон формулы вычисления аппликат Λ_2, Λ_3, Λ_4 получаются аналогично.

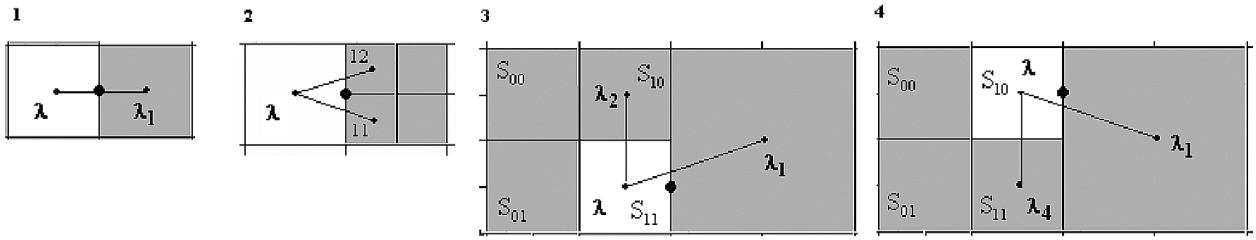


Рис. 4. Варианты вычисления аппликаты в середине первой стороны

Таблица 2

1 – ячейка справа имеет тот же ранг	2 – две ячейки справа имеют меньший ранг	3 – ячейка справа имеет больший ранг, чем S_{11}	4 – ячейка справа имеет больший ранг, чем S_{10}
$\Lambda_1 = \frac{\lambda_1 + \lambda}{2}$	$\Lambda_1 = \frac{\lambda + \lambda_{11} + \lambda_{12}}{3}$	$\Lambda_1 = \frac{5}{6}\lambda + \frac{1}{3}\lambda_1 - \frac{1}{6}\lambda_2$	$\Lambda_1 = \frac{5}{6}\lambda + \frac{1}{3}\lambda_1 - \frac{1}{6}\lambda_4$

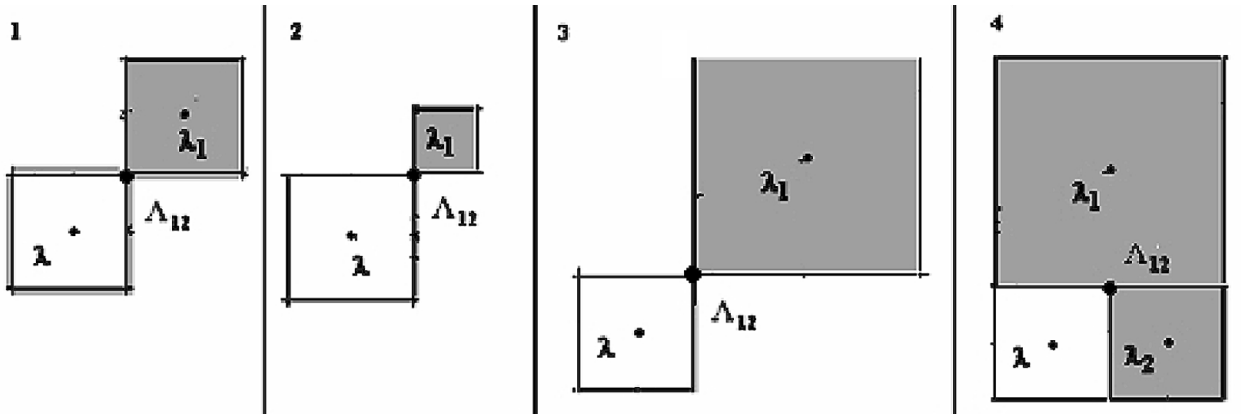


Рис. 5. Варианты вычисления аппликаты для угла **12**

Таблица 3

1 – угловая ячейка имеет тот же ранг	2 – угловая ячейка имеет меньший ранг	3 – угловая ячейка имеет больший ранг	4 – угловая ячейка имеет больший ранг и является одновременно верхней ячейкой
$\Lambda_{12} = \frac{1}{2}\lambda + \frac{1}{2}\lambda_1$	$\Lambda_{12} = \frac{1}{3}\lambda + \frac{3}{3}\lambda_1$	$\Lambda_{12} = \frac{2}{3}\lambda + \frac{1}{3}\lambda_1$	$\Lambda_{12} = \frac{1}{3}\lambda + \frac{1}{3}\lambda_1 + \frac{1}{3}\lambda_2$

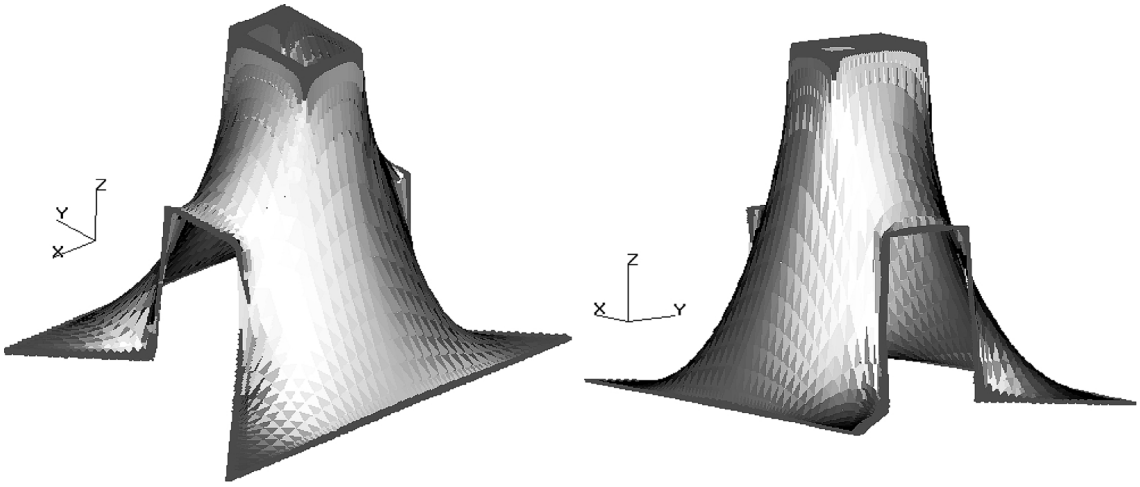


Рис. 6. Минимальная поверхность сложной конфигурации

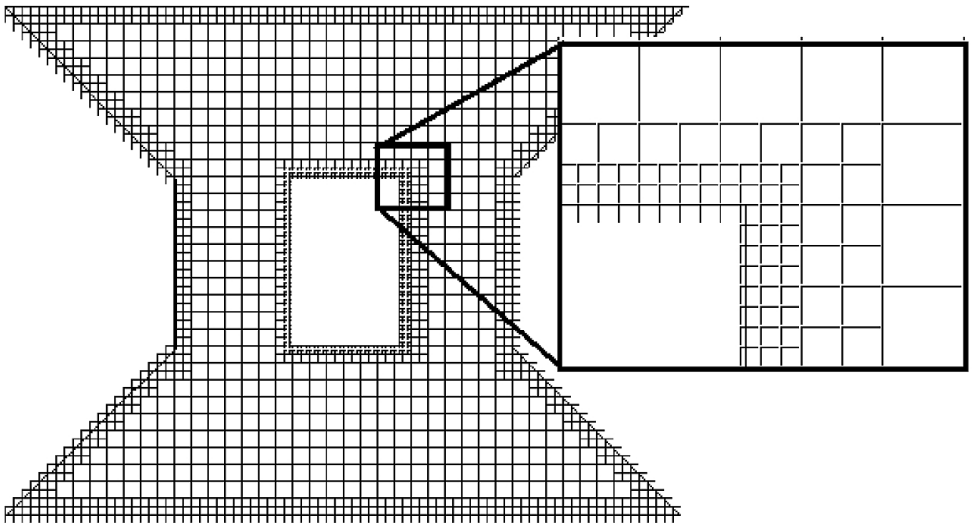
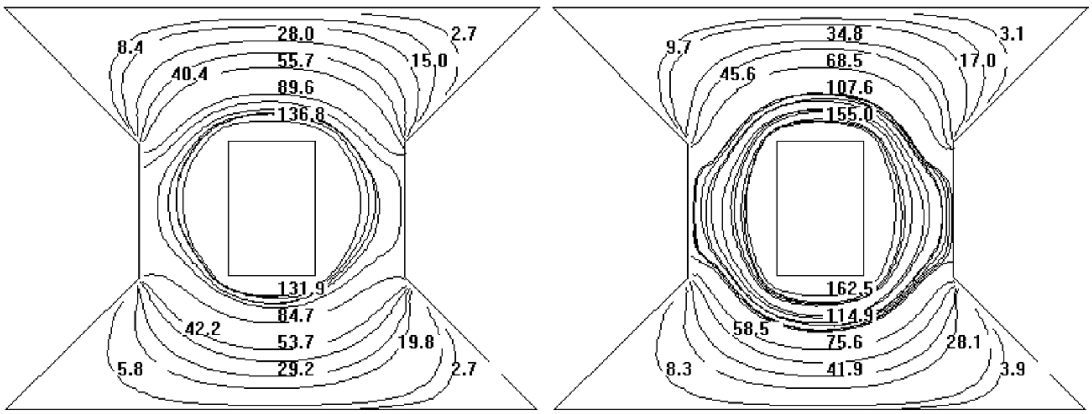


Рис. 7. Многоуровневая сетка в двусвязной области на плоскости (x, y)



а) б)

Рис. 8. Сравнение линий уровня
а – МП, б – ПЛ

В таблице 3 приведены формулы вычисления аппликаты для угла **12** в зависимости от рангов и положения смежных ячеек (рис. 5). Для других углов формулы получаются аналогично.

Результаты расчета

На рис. 6 показана МП, заданная на многосвязной области, имеющей в плане сложную конфигурацию (рис. 7).

На рис. 8 приведены линии уровня минимальной поверхности и поверхности Лапласа при средней подъемистости поверхности порядка 10. Разница высот в характерных точках достигает 30 %.

Заключение

Разработанный авторами программный комплекс позволяет оперативно проводить многовариантные расчеты геометрии оболочек МП. На основе проведенных вычислений авторы пришли к выводу, что для оболочек МП с подъемистостью более чем 1 необходимо применять уравнение Эйлера-Лагранжа. Для построения пологих МП с подъемистостью меньшей, чем 1, допускается использование уравнения Лапласа. Технология многоуровневых сеток, предложенная в статье для построения сложных в плане МП, позволяет получать сетки для конечно-элементного или конечно-разностного анализа напряженного состояния оболочек. Перспективными задачами для авторов является расширение разработанного программного комплекса для расчета напряженного состояния оболочек МП.

Литература

1. Бляшке В. Введение в дифференциальную геометрию. – М.: Изд-во технико-теоретической литературы, 1957. – 223 с.
2. Мифтахутдинов И.Х. Оболочки минимальной поверхности в природе и архитектуре. – Казань: ЗАО «Новое знание», 2007. – 144 с.
3. Мифтахутдинов. И.Х. Наглядная геометрия оболочек минимальной поверхности. – Казань: ЗАО «Новое знание», 2009. – 40 с.
4. Михайленко В.Е., Ковалев С.Н. Конструирование форм современных архитектурных сооружений. – Киев: Будивельник, 1978. – 112 с.
5. Лукашенко В.И., Абдюшев А.А., Доронин М.М., Нуриева Д.М., Сладков А.В. Экспертиза, расчет, анализ пространственных конструкций (АРС ЭРА-ПК2000). – Казань: КазГАСУ, 2006. – 320 с.
6. Simpson R.B. Automatic local refinement for irregular rectangular meshes. // Int. J. Num.Meth. Eng, 1979, vol.14. – P. 1665-1678.

УДК 68.047
А.Б. Антаков – кандидат технических наук, доцент
А.А. Ладнушкин – соискатель
Тел.: (843) 292-00-41, e-mail: info@expertiza.info
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ТАКЕЛАЖНАЯ СИСТЕМА «ЛАКРА»

АННОТАЦИЯ
В статье приводятся результаты разработки новой технологии демонтажа или замены ограждающих строительных конструкций главных корпусов предприятий теплоэнергетики без остановки производства. Проведена апробация технологии с подтверждением значительного экономического эффекта и получен патент на изобретение.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: технология, монтаж, демонтаж, такелаж, дымовая труба, стеновые панели, метод.

A.B. Antakov – candidate of technical science, associate professor
A.A. Ladnushkin – researcher
Tel.: (843) 292-00-41, e-mail: info@expertiza.info
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

LIFTING SYSTEM «LAKRA»

ABSTRACT
In article results of new technology of dismantle or replasement of protecting building designs of the main cases of the enterprises of power system without manufacture stop are resulted. Approbation of tecnology with acknowlegment of considerable economic benefit is spent and the patent for the invention is taken out.

KEYWORDS: technology, installation, dismantle, rigging, a chimney, panels, method.

Выполненная работа направлена на решение проблемы демонтажа труднодоступных ограждающих конструкций производственных зданий объектов энергетики без остановки технологических процессов.

В России около 70 % электроэнергии вырабатывается тепловыми станциями, что свидетельствует об их широком распространении. Положительными качествами тепловых электростанций является возможность их размещения в непосредственной близости от объектов-потребителей – промышленных предприятий и городов. Массовое строительство тепловых станций велось в период послевоенного развития промышленности и роста городов с 1950-х по 1970-е годы XX века. Тепловые станции в различных регионах страны имеют схожие принципиальные схемы организации технологического процесса и, как следствие, конструктивные решения производственных зданий и сооружений. Наиболее сложными объектами с точки зрения технологической и строительной частей являются главные корпуса станций, в которых протекает завершающая часть технологических процессов. Как правило, это трехпролетные протяженные здания, включающие котельное, деаэраторное и турбинное отделения. Параметры конструктивных систем зданий варьируются в зависимости от периода строительства и мощности станции. Габаритные размеры корпусов могут достигать 800 метров в длину, 84 – в ширину и 60 – в высоту (рис. 1). При этом прилегающие территории по продольным сторонам зданий насыщены электроотводящими – со стороны турбинного и дымоотводящими коммуникациями – со стороны котельного отделений.

Учитывая перечисленное, следует отметить, что нормативные сроки службы элементов ограждающих конструкций, в зависимости от вида и типа, либо подходят к концу, либо давно закончились. При этом необходимо учитывать снижение продолжительности эксплуатации конструкций под влиянием агрессивных факторов. Проведение регламентированных текущих, плановых и капитальных ремонтов не позволяет в полной мере восстанавливать эксплуатационные характеристики и обеспечивать необходимую степень надежности конструкций. Кроме того, с течением времени объем затрат на ремонтные работы значительно возрастает. В связи с этим возникает необходимость рассмотрения существующих методов демонтажа ограждающих конструкций зданий и степени их применимости в условиях проводимой реконструкции производственных корпусов.

Рис. 1. Главный корпус Заинской ГРЭС: длина 522 м, ширина 81 м, максимальная высота 54 м

Особенностью, в данном случае, является необходимость проведения реконструкции без остановки технологических процессов, что не учитывалось при проектировании и строительстве зданий. При проведении реконструкции возникает ряд проблем, связанных с необходимостью замены поврежденных ограждающих конструкций корпусов и невозможностью эффективной организации работ с применением существующих монтажных механизмов.

Таким образом, необходима разработка новых технологий ведения демонтажных работ с учетом особенностей, возникающих при реконструкции производственных зданий.

Целью работы является разработка нового метода организации демонтажных работ и методическое обеспечение их проектирования.

Для реализации поставленной цели предполагается решить следующие задачи:

- на основе сбора и систематизации данных по существующим технологическим решениям демонтажа конструкций необходимо определить возможность применения этих способов в ходе замены ограждающих конструкций производственных зданий;
- на основе проведенных исследований определить перечень значимых факторов и основные критерии выбора технологических решений для разработки методики проектирования демонтажного процесса;
- разработать технологию демонтажа заменяемых конструкций, обеспечивающую безопасность производства работ;
- выбрать и при необходимости разработать новое технологическое оборудование для производства демонтажных работ;
- дать комплексную оценку напряженно-деформированного состояния опорных и демонтируемых конструкций и влияния различных факторов при оценке их прочности;
- провести экспериментальные исследования работоспособности системы в реальных условиях;
- разработать рекомендации по проектированию демонтажного процесса, выбору технологического оборудования и поверочному расчету демонтируемых конструкций.

В ходе выполнения перечисленных этапов работы произведена систематизация данных по инженерному обследованию около 5000 стеновых панелей и плит покрытия. Установлено, что доли конструкций, находящихся в аварийном состоянии и требующих немедленного вмешательства, составляют 10 % и 5 % для стеновых панелей и плит покрытия соответственно (рис. 2). Проведение восстановительных мероприятий, связанных с санацией и усилением, не обеспечивает долговременного эффекта, эквивалентного замене конструкции при сопоставимых материальных затратах.

Очевидным является факт невозможности применения традиционных организационных методов демонтажа поврежденных конструкций рассматриваемых зданий без остановки производства и значительного объема подготовительных работ. Поэтому в перечень рассматриваемых факторов,

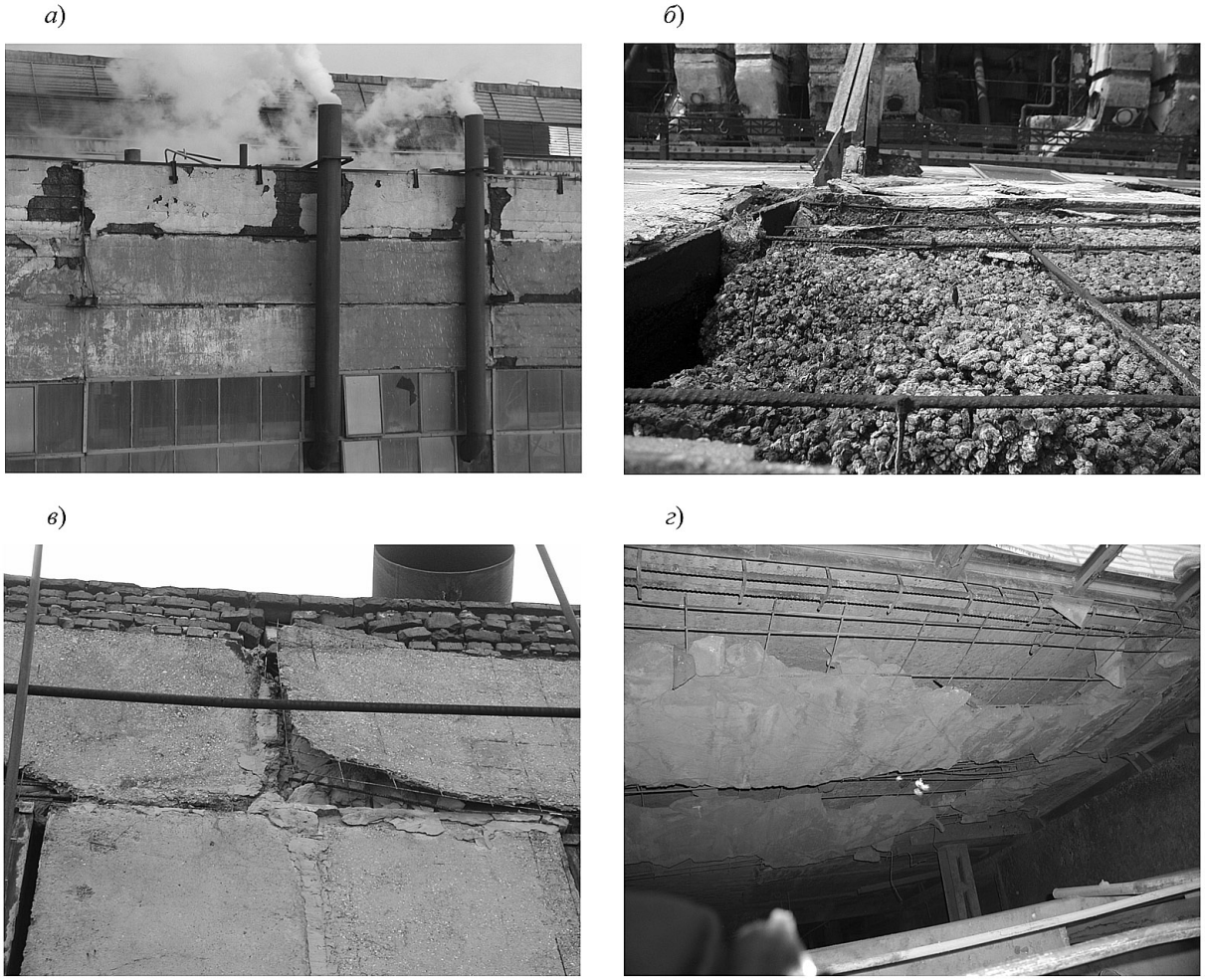


Рис. 2. Повреждения стеновых панелей, связанные с разрушением наружных и внутреннего слоев

характеризующих способы и методы организации монтажно-демонтажных работ, вошли следующие параметры:

- стоимость и время проведения подготовительных работ;
- стоимость и время выполнения собственно монтажа-демонтажа конструкций;
- стоимость и время проведения демонтажа временных конструкций и грузоподъемных механизмов;
- степень безопасности мероприятий на всех этапах.

Рассмотрение теоретически возможных и когда-либо внедренных способов показало, что универсального метода не существует. Все известные способы связаны либо со значительными затратами времени и средств, либо имеют существенные ограничения (рис. 3).

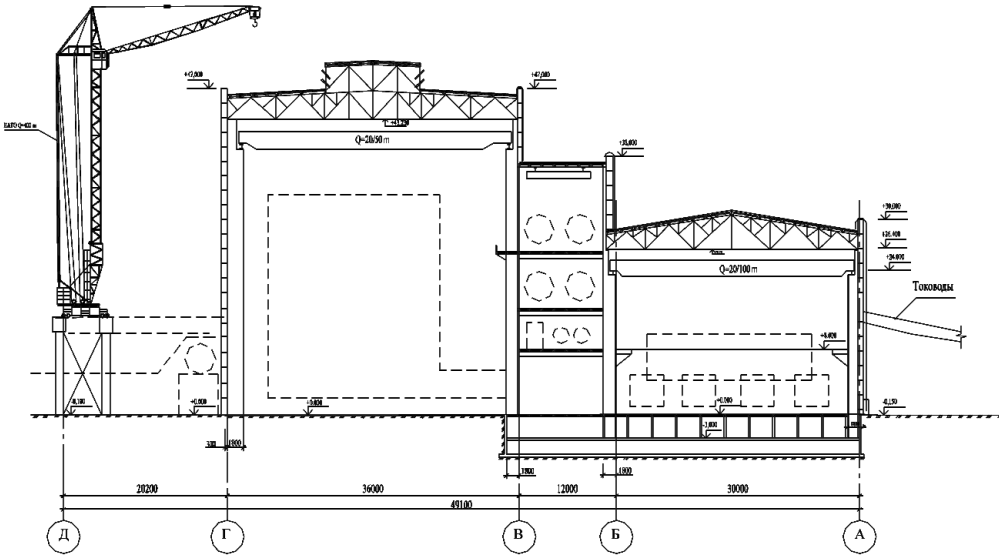
В результате анализа типовых компоновочных решений технологических систем «главный корпус – дымовая (-ые) труба (-ы)» разработан метод на основе известных решений кабельных кранов. Отличительными особенностями данного метода от известных аналогов являются использование дымовых труб в качестве опор и величина пролета системы (рис. 4).

Для обоснования возможности предлагаемого решения был выполнен комплекс работ по исходным данным Казанской ТЭЦ-3, включающий следующие этапы:

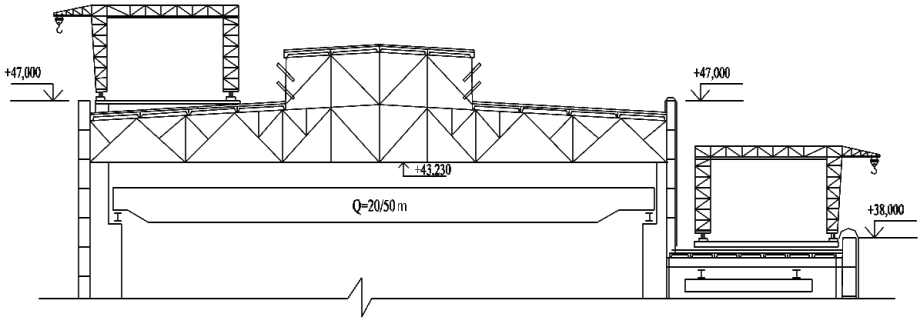
- выполнен расчет такелажной системы с использованием программного комплекса «Сумрак» [2], в результате которого определены усилия в элементах во всем диапазоне положений рабочего полиспаста – «крюка»;
- произведены поверочные расчеты дымовой 240-метровой трубы на полученные величины реактивных усилий в элементах такелажной системы в сочетании с ветровыми воздействиями. Результаты согласованы с генеральным проектировщиком – ОАО «Теплопроект», г. Москва;
- выполнен подбор оснастки и механизмов;
- произведены испытания системы.

С использованием описанной системы произведен демонтаж парапетных стеновых панелей котельного отделения Казанской ТЭЦ-2.

а)



б)



в)

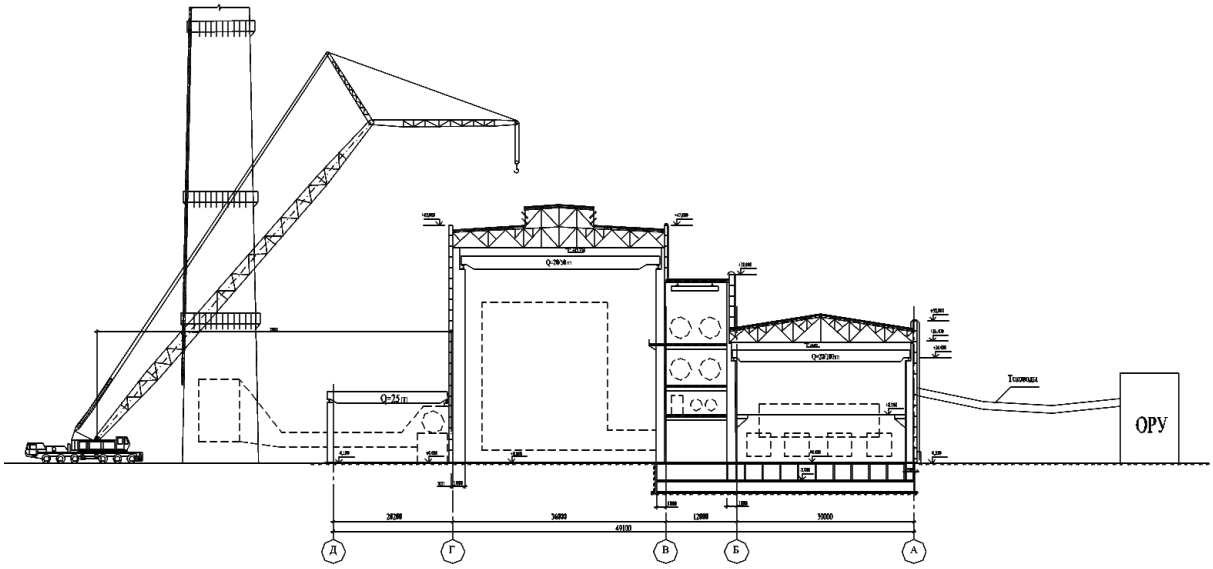
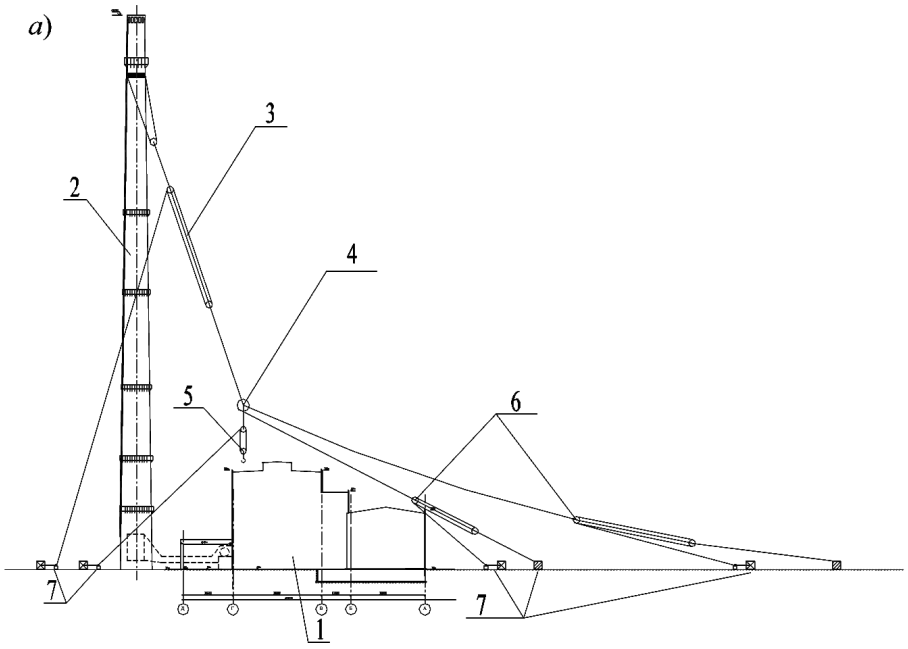


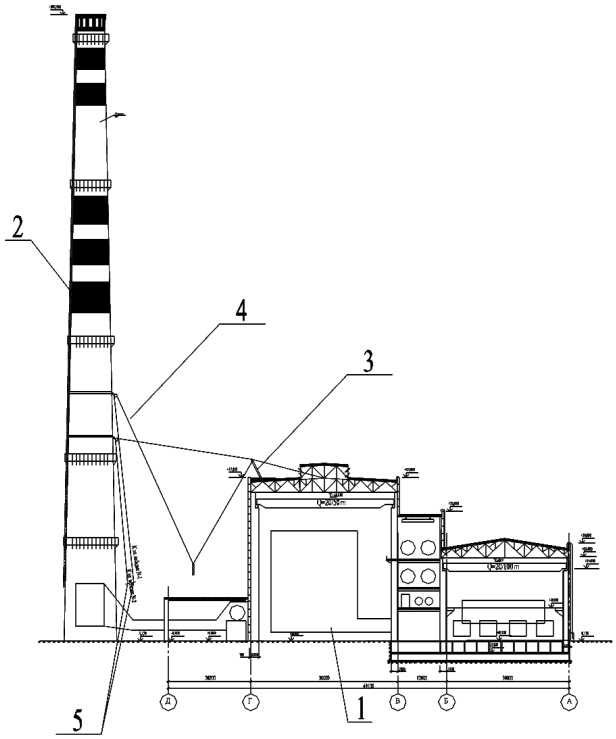
Рис. 3. Внедренные способы организации замены поврежденных конструкций: установка башенного крана на путях мостового, обслуживающего дымососы (а), монтаж козловых кранов на покрытии (б), применение автомобильных кранов (в)

а)



1 – производственный корпус; 2 – дымовая труба; 3 – полиспаст несущего каната;
4 – грузовая тележка; 5 – грузовой полиспаст; 6 – полиспасты оттяжек;
7 – блок «лебедка-анкер»

б)



1 – производственный корпус; 2 – дымовая труба; 3 – портал;
4 – основной канат; 5 – оттяжки к лебедкам

Рис. 4. Компоновочные схемы кабельного крана:
общая (а) и усеченная для работы на фасаде котельного отделения (б)

По результатам перечисленных работ получен патент на изобретение [1]. Таким образом, впервые разработана и внедрена такелажная система, использующая в качестве опоры дымовую трубу. Апробирована методика оценки возможности использования новой технологии, включающая определение геометрических параметров системы, усилий в элементах и реакций опор, последовательность согласования основных положений ППР и обеспечение безопасности работ. Экономическая оценка эффективности разработанного метода показала многократное снижение материальных и временных затрат по отношению к известным способам.

Литература

1. Патент на изобретение №2190065. Способ монтажа и демонтажа строительных конструкций. – М., 2002.
2. Ладнушкин А.А. Расчет такелажной системы по методу «Лакра» // Сборник трудов НТК 2003 КГАСА. – Казань, 2003.

УДК 624.046.5
Ф.Х. Ахметзянов – кандидат технических наук, доцент
Тел.: (843) 510-47-05
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ БЕТОНА, ПРЕДПОСЫЛКИ ОЦЕНКИ ЕГО ОСТАТОЧНОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ В СТРОИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ БЕТОНА ПРИ ОТСУТСТВИИ И НАЛИЧИИ АРМИРОВАНИЯ С ПРОСТЫМ МЕХАНИЧЕСКИМ НАГРУЖЕНИЕМ

АННОТАЦИЯ

В статье приведены понятие «повреждаемости», классификация 39 причин повреждаемости бетона в строительных элементах без армирования и с армированием при статических нагрузках и воздействиях. Для характерных повреждений в бетоне в виде трещин при растяжении, сжатии, изгибе общие относительные деформации предлагается суммировать в виде составляющих: упругих, ползучести и псевдодеформаций от нарушений сплошности структуры бетона. Модуль деформаций повреждаемого бетона оценивается с учетом ползучести и повреждаемости, а полные относительные деформации – в соответствии с упруго-вязкой аналогией, с использованием меры ползучести и повреждаемости $C_{\Pi}(t, t)$.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: классификация повреждений бетона, остаточная несущая способность.

F.H. Ahmetzjanov – candidate of technical science, associate professor
Tel.: (843) 510-47-05
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

CLASSIFICATION OF DAMAGES OF CONCRETE, THE PRECONDITION OF AN ESTIMATION OF ITS RESIDUAL BEARING ABILITY IN BUILDING ELEMENTS OF CONCRETE AT ABSENCE AND PRESENCE OF REINFORCING WITH SIMPLE MECHANICAL LOADING

ABSTRACT

The article contains the notion of "Damage", classification of 39 reasons of concrete damage in building elements under steady load and influence. Module of concrete deformation is valued with provision for creep and damage, full unit strains according to visco-elastic analogy, with the use of measure of creep and damage $C_{\Pi}(t, t)$.

KEYWORDS: classification of damages of concrete, residual bearing ability.

Введение

Под повреждениями понимаем нарушение сплошности структуры материала, неисправное состояние малого или большого объема материала, сопровождающееся признаками снижения эксплуатационных качеств (несущей способности): сопротивления, деформирование под нагрузкой или воздействием, уменьшения срока службы, герметичности, проницаемости, сопротивления теплоотдаче и др.

Ниже рассматриваем только первый признак.

В толковом словаре омонимов русского языка Т.В. Ефремовой (100 тыс. семантических единиц; М.: Мир энциклопедий, 2007) приведен омоним слова «повреждение» – дефект. В технической литературе слово «дефект» имеет иногда более узкое содержание (например, «отклонение от требований проектно-сметной документации»). Поэтому будем использовать первое слово, шире отражающее результаты процесса нагружения и воздействия. Итоговой целью работы является разработка методики оценки остаточной несущей способности в соответствии с этапами следующей схемы:

Формулировка понятия → факторы, влияющие на процесс → ранжирование факторов → единицы измерения → предпосылки и гипотезы для моделирования процесса → модели процесса → разработка методики прогнозирования процесса повреждаемости бетона без армирования и с армированием в строительных элементах (СЭ).

Приведенная в таблице классификация повреждений (частично опубликованная в [1]) содержит 39 факторов, определяющих процесс возникновения и развития повреждаемости при эксплуатации (СЭ).

В настоящее время недостаток исследований не позволяет с требуемой точностью ранжировать эту совокупность факторов по силе влияния (чтобы иметь

в итоге убывающую по экспоненте кривую над осью факторов), поэтому перейдем к предлагаемым предпосылкам оценки остаточной несущей способности указанных выше элементов.

В последних нормах проектирования бетонных и железобетонных конструкций [2] отсутствуют указания по определению несущей способности бетонных элементов с повреждениями при растяжении. Отсутствуют также данные по оценке объема трещин, их заглубления в материал, распределению деформаций вокруг трещин и др., что не позволяет с достаточной точностью производить расчеты прочности, жесткости, перемещений бетонных и частично железобетонных элементов с повреждениями. Поэтому данная работа в определенной мере стремится к увеличению сведений о повреждаемых строительных элементах.

В общем случае прочностных расчетов повреждаемых элементов приходится отказываться от используемых в теориях упругости, пластичности и ползучести предпосылок о сплошности строения, однородности материала.

Однако, при определенных условиях (при малости элементов структуры и его неоднородности относительно рассматриваемых в задаче масштабов структуры, когда нарушения также относительно малы) приведенные выше предпосылки применимы.

Отметим, что неоднородность материала обуславливается многочисленными факторами незначительного индивидуального влияния каждого фактора (статистический разброс физико-механических характеристик), учитывается законами распределения в теории надежности твердых тел (механических систем) при рассмотрении вероятности их отказов от нагрузок и воздействий [3]. В большой совокупности элементов микроструктуры бетона условия кристаллизации обуславливают различие в размерах субмикрокристаллов геля и разницу в прочности (обратно пропорциональной размеру в степени минус одна вторая [4]).

В физике утверждается, что нет в природе идеальных кристаллов: даже по термодинамическим соображениям в них должно быть определенное число вакансий (точечных повреждений) [4].

Поэтому повреждения материалов можно считать «квазиоднородными» при размерах повреждений, сравнимых с масштабами того уровня структуры, который может считаться малым относительно рассматриваемого в задаче (например, в теории упругости пренебрегают зазорами (несплошностями) между молекулами при рассмотрении напряженно-деформированного состояния при нагружении строительных элементов).

Анализ данных экспериментов [6], полученных с использованием фотоупругих покрытий на участке чистого изгиба железобетонной балки, позволяет сделать вывод о том, что напряженные зоны всплеска относительных деформаций вокруг трещин (с раскрытием до 0,1 мм), ограниченная величина, не превышающая в среднем 3,3 ÷ 5 мм, перпендикулярна берегу трещин и 20 мм в вершине трещины. При измерении ширины зоны измерялось расстояние от берега трещин до значения средней относительной деформации на оптическом покрытии балки по выделенному участку с несколькими трещинами (40 мм). Расстояние между трещинами 8,5; 14; 14 мм. При этом отношение величин максимальной деформации около образуемой трещины к минимальной на участке между трещинами колебалось от 3,7 до 17,5 раз. Гистограмма распределения плотности вероятностей относительных деформаций была близка к экспоненциальной. Наблюдается корреляция между раскрытием будущей трещины и максимумом деформации бетона около трещин. Осреднение величин деформаций на расстояние, превышающее раскрытие трещин на несколько порядков, приводит к сглаживанию колебаний деформаций на участках между трещинами и вне зоны влияния трещин (до двукратного отношения и менее). Следовательно, использование осреднения величин относительных деформаций в зонах вокруг трещин (при отсутствии взаимодействия последних) позволяет при раскрытии трещин до 0,1 мм предложить для оценивания напряженно-деформированного состояния нагруженного бетона метод «размазывания» неоднородностей в виде трещин по определенным участкам при растяжении, сжатии и изгибе.

При этом использование корреляции между параметрами трещин (длиной, раскрытием и заглублением поверхностных трещин) с оценкой зоны всплеска (повышенной величины) деформаций вокруг трещин дает возможность выделять эти зоны (при необходимости) для индивидуального анализа напряженно-деформированного состояния.

В общем случае, полные деформации бетона состоят из упругих – ε^e, вязких ε^{cr} и псевдопластических ε^{crc} (от трещин и нарушений сплошности структуры).

$$e_в = e^e + e^{cr} + e^{crc}, \qquad (1)$$

При разгрузках исчезают упругие деформации, частично изменяется величина вязких и псевдопластических. Параметры трещин могут фиксироваться перед разгрузкой элементов, измерение параметров после разгрузки позволяет детализировать напряженно-деформированное состояние (например, степень влияния напряжений сдвига в зоне трещины, остаточные деформации ползучести, изменение модуля деформаций и др.).

Локальное или глобальное изменение модуля деформаций с учетом ползучести и повреждаемости бетона предлагается оценивать по формуле:

$$E(t) = E_0 /(1 + j_{c2} + j_n), \qquad (2)$$

где E_0 – начальный модуль упругости бетона;

Таблица

Классификация повреждений в бетоне и армированном бетоне

по группе событий	№№ п/п	
1	2	
I геометрическая	1	точечная
	2	линейная
	3	объемная
Iа – расположение по краевому признаку	4	поверхностная
	5	в объемах элемента
II структурная	6	в кристаллах
	7	блоках мозаики
	8	зернах материала (цементного камня) и др.
	9	по границам (поверхностям) элементов структуры (кристаллов, блоков зерен)
III физическая	10	кристаллизационное давление
	11	перекристаллизация
	12	усадка
	13	осмотическое давление
	14	капиллярные события
	15	различие в размерах элементов структуры
	16	замерзание и оттаивание влаги в нарушениях сплошности структуры
	17	термообработка при изготовлении
	18	фазовые переходы
IV физико-механическая	19	ползучесть
	20	старение материала
V химическая	21	растворение
	22	электро-химическая коррозия
	23	изменение начального химического состава (с течением времени)
VI технологическая	24	неточности дозировки состава
	25	низкое качество составляющих материалов
	26	нарушения требования процесса изготовления
	27	нарушение требований качества при хранении
	28	нарушение требований качества при транспортировке
	29	нарушение требований качества монтажа
	30	нарушение требований качества при эксплуатации строительных элементов и систем
Дополнительные факторы повреждаемости в армированном бетоне		
При наличии армирования	31	нарушения сцепления с бетоном
	32	анкеровки арматуры
	33	повреждения защитного слоя бетона, способствующие возникновению коррозии арматуры
	34	коррозия арматуры
	35	ошибки проектирования (недостаточная величина защитного слоя бетона, недостаточный учет условий работы материалов, отсутствие защитных мероприятий и др.)
	36	перегрузки материалов
	37	следствие повреждения в системе элементов (например, трещинообразование при неравномерной осадке основания фундаментов и др.)
	38	неравномерность процессов стабилизации деформаций (например, в небоскребе при восприятии эксплутационной нагрузки, продолжающаяся ползучесть в элементах верхних этажей при затухании в нижних, вызывает появления трещин в элементах верхних этажей и др.)
	39	малоцикловые нагружения (например, увеличение нагрузки от снеговых мешков при многочисленных оттепелях с намерзанием льда на покрытиях пристроев к многоэтажным зданиям и др.)

$j_n = \frac{e^{cr}}{e^e}$ – коэффициент (характеристика) ползучести; $j_n = \frac{e^{crc}}{e^e}$ – коэффициент повреждаемости (отношение величины псевдодеформаций – условных относительных деформаций из-за образования трещин (повреждений) к величине упругих деформаций.

– Вследствие наличия распределения вероятностей значений физико-механических характеристик бетона и изменчивости нагрузок, условий пребывания материала в определенных состояниях, как показали наблюдения за ограждающими конструкциями зданий и сооружений, параметры как начальных, так и позже возникающих повреждений со временем возрастают.

– При этом повреждения реализуются по траектории минимальных прочностных характеристик. То есть для повреждаемости справедлив экстремальный принцип минимума энергии образования повреждений, что позволяет использовать вариационные методы механики твердого деформируемого тела, при определении напряженно-деформированного состояния [7].

– Считаем, что деформации и псевдодеформации при повреждаемости малы (относительно характерных размеров элементов).

– К моменту разрушения магистральная трещина достигает критических параметров.

– Однако параметры повреждения в виде трещин в эксплуатационной стадии элементов не превосходят нормируемых величин (например, раскрытие при продолжительном нагружении не должно превосходить в железобетоне 0,3 мм), на поверхности бетона элемента.

– Принимается упруго-вязкая аналогия для повреждений рассеянных по объемам и площади бетонных и железобетонных элементов, при отсутствии взаимодействия между повреждениями. (Например, для модуля деформаций моделируемая выражением (2), а для деформаций с учетом ползучести и повреждаемости для проектных эксплуатационных напряжений $\sigma(t, \tau)$ и приращение напряжений в момент τ_1:

$$e(t) = \frac{s(t)}{E(t)} + s(t) \cdot C(t,t) + \int_{t1} \frac{ds}{dt_1} \left[\frac{1}{E(t_1)} + C_n(t,t) \right] dt_1 \quad (3)$$

$$C_n(t,t) = C(t,t) + e^{crc}(t,t_1) \quad (4)$$

Здесь τ, t – моменты нагружения и оценки деформаций;

τ_1 – момент приращения напряжения;

$C(t,\tau)$ – мера ползучести бетона;

$C_{II}(t,\tau)$ – мера ползучести и псевдодеформаций от повреждений бетона.

$$e^{crc}(t,t_1) = \sum_1^n a_i^{max} / l \quad (5)$$

– для этапа до появления магистральных трещин;

$$e^{crc}(t,t_1) = \sum_1^k \left(a_{ik}^{max} / m_i \right) \quad (6)$$

– для этапа при появлении магистральных трещин.

Здесь a_i^{max} *и* a_{ik}^{max} – максимальное раскрытие рассеянных и магистральных трещин соответственно;

l, m_i – длина элемента, осредненное расстояние от магистральной трещины до ближайших трещин.

Заключение

В статье основными результатами являются: запись составляющей относительных деформаций бетона от повреждений (выражение (1)); предложение коэффициента повреждаемости $G_{II} = e^{crc} / e^e$, используемого для оценок модуля деформаций повреждаемого бетона (по выражению (2)); введение меры неупругих и псевдодеформаций $C_{II}(t,\tau)$ по выражению (4); предложение интегрального уравнения по выражению (3) для оценок деформаций упруго-вязко повреждаемого бетона на стадии рассеянной повреждаемости до появления магистральных трещин (до стадии локализации деформаций) и приближенных оценок по этому выражению при появлении магистральных трещин. Эти результаты, представляется, обладают научной новизной.

Литература

1. Ахметзянов Ф.Х. К оценке прочности и долговечности повреждаемых бетонных и железобетонных элементов. – Казань: Изд-во «Новое знание», 1997.
2. СП52-101-2003.
3. Ржаницин А.Р. Надежность железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Стройиздат, 1984.
5. Орлов А.Н. Введение в теорию дефектов кристаллов. – М., 1984.
6. Зайцев Ю.Н. Механика разрушения для строителей. – М., 1991.
7. Васидзу К. Вариационные методы в механике твердого тела. – М.: Стройиздат, 1978.

УДК 539.3
Ю.И. Бутенко – доктор физико-математических наук, профессор
Тел.: (843) 510-47-23
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

КРАЕВЫЕ ЭФФЕКТЫ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПОЛОСАХ

АННОТАЦИЯ

Использование в технике различных многослойных конструкций, обладающих рядом необходимых свойств, поставило на повестку дня вопрос о совершенствовании расчетной практики по определению глубины проникновения и напряженно-деформированного состояния (НДС) краевого эффекта (эффекта типа Сен-Венана). Для однослойных полос, пластин и оболочек эта задача решена в монографии Л.А. Агаловяна [1]. Для трехслойных конструкций задача решается в [2-4]. В данной работе для решения задачи по определению глубины проникновения краевого эффекта многослойной полосы и построения асимптотически точного определения НДС используется расчетный комплекс «Математика-5».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: плоская задача теории упругости, многослойная полоса, краевой эффект, быстро убывающее решение.

Yu.I. Butenko – doctor of physical-mathematical sciences, professor
Tel.: (843) 510-47-23
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

BOUNDARY EFFECTS IN A MULTILAYERED STRIP

ABSTRACT

The use of the various multilayered constructions, possessing of necessary properties in technique, raised the question of improvement of accounts on determination of the depth of penetration and tense-deformed conditions (VAT) of the boundary effect (effect of Sen-Venan type) For the single-layered strips, plates and shells this problem is solved in L.A. Agalovjan's monograph [1]. For three-layer designs the problem dares in [2-4]. In the given work for the decision of the problem of definition of penetration of boundary effect in a multilayered strip and asymptotical definition of the stress-strain condition the settlement complex «Mathematics-5» is used.

KEYWORDS: a flat problem of the theory of elasticity, a multilayered strip, the boundary effect, quickly decreasing decision.

В работах [1-4] авторы развивают точные аналитические методы решения плоских и пространственных задач теории упругости по определению напряженно-деформированного состояния (НДС) быстроубывающих краевых эффектов (эффект Сен-Венана): в работе [1] – для однослойных, а в [2-4] – для двух- и трехслойных полос и пластин из различных изотропных и ортотропных материалов. Эти эффекты имеют место при самоуравновешенной краевой нагрузке (главные вектор и момент внешних сил, приложенных к рассматриваемому краю, равны нулю).

При этом основное внимание в работах [2-4] было направлено на получение точного векового уравнения для параметра λ, входящего в точное решение плоской задачи. Для трехслойных полос эти уравнения имеют сложную структуру, поэтому автору удалось получить обозримые уравнения лишь в некоторых частных случаях. Наличие точного уравнения бесценно тем, что позволяет оценить влияние различных факторов, входящих в решение задач. Но в перспективном плане предложенный подход к изучению краевых эффектов является тупиковым, так как даже для двухслойных и трехслойных полос эти уравнения имеют громоздкий вид.

В данной работе на основе системы “Математика-5” [5] предлагается численный метод решения указанных задач. Данный метод позволяет охватить значительно больший круг задач в зависимости от возможностей ЭВМ.

1. Постановка задачи краевого эффекта. Рассмотрим плоскую задачу для многослойных полос размерами $2H \times l$ в физически и геометрически линейной постановке. Будем считать, что среда состоит из n изотропных и ортотропных слоев, отсчет которых ведется от нижнего слоя.

Каждый k-слой имеет толщину $2h_k$ $\left(H = \sum_{k=1}^{n} h_k\right)$ и описывается индивидуальной системой

координат x_k, y_k, в которой ось x_k связана со средней линией полосы, а ось y_k нормальна к ней. Оси ортотропии всех слоев совпадают между собой и с осями координат.

Для *k*-слоя задача погранслоя описывается однородными уравнениями равновесия

$$\frac{\partial s_x^{(k)}}{\partial x_k}+\frac{\partial t_{xy}^{(k)}}{\partial y_k}=0, \quad \frac{\partial t_{xy}^{(k)}}{\partial x_k}+\frac{\partial s_y^{(k)}}{\partial y_k}=0 \tag{1.1}$$

и физическими соотношениями ортотропного тела

$$\begin{gathered} s_x^{(k)}=B_{11}^{(k)}\frac{\partial U^{(k)}}{\partial x_k}+B_{12}^{(k)}\frac{\partial V^{(k)}}{\partial y_k}, \quad s_y^{(k)}=B_{21}^{(k)}\frac{\partial U^{(k)}}{\partial x_k}+B_{22}^{(k)}\frac{\partial V^{(k)}}{\partial y_k} \\ t_{xy}^{(k)}=G_{12}^{(k)}\left(\frac{\partial U^{(k)}}{\partial y_k}+\frac{\partial V^{(k)}}{\partial x_k}\right) \end{gathered} \tag{1.2}$$

Здесь $s_{ab}^{(k)}$ – компоненты тензора напряжений плоской задачи *k*-ого слоя, $\bar{u}^{(k)}(U^{(k)},V^{(k)})$ – вектор перемещения, $G_{12}^{(k)}$ – модули сдвига, а $B_{ab}^{(k)}$ – некоторые постоянные, которые выражаются через модули упругости $E_a^{(k)}$ и коэффициенты Пуассона $n_{ab}^{(k)}(a,b=1,2)$ следующим образом

$$B_{11}^{(k)}=\frac{E_1^{(k)}}{1-n_{12}^{(k)}n_{21}^{(k)}}, B_{12}^{(k)}=\frac{E_1^{(k)}n_{12}^{(k)}}{1-n_{12}^{(k)}n_{21}^{(k)}}, B_{21}=\frac{E_2^{(k)}n_{21}^{(k)}}{1-n_{12}^{(k)}n_{21}^{(k)}}, \quad B_{22}=\frac{E_2^{(k)}}{1-n_{12}^{(k)}n_{21}^{(k)}} \tag{1.3}$$

В соотношениях (1.1)-(1.2) переходим к безразмерным координатам и перемещениям

$$x_k=\frac{x_k}{l}, \; z_k=\frac{y_k}{H}, \; u^{(k)}=\frac{U^{(k)}}{l}, \; \mathrm{v}^{(k)}=\frac{V^{(k)}}{l},$$

где l – длина полосы, $H=\sum_{k=1}^{3}h_k$ – полутолщина стержня. При этом появляются: $e=\frac{H}{l}$ – малый геометрический параметр и $a_k=\frac{h_k}{H}$ – безразмерная полутолщина слоя $(\sum_{k=1}^{n}a_k=1)$. Рассмотрим краевой эффект у кромки $x_k=const$, для чего проводим растяжение координаты $x_k=te$.

Решение задачи (1.1)-(1.2) с учетом указанных преобразований ищем в виде асимптотического представления [3]

$$\begin{gathered} (s_x^{(k)},s_y^{(k)},t_{xy}^{(k)})=\sum_{s=0}e^q(s_x^{(k)s},s_y^{(k)s},t_{xy}^{(k)s}), \\ (u^{(k)},\mathrm{v}^{(k)})=\sum_{s=0}e^{q+1}(u^{(k)s},\mathrm{v}^{(k)s}). \end{gathered} \tag{1.4}$$

Здесь $q=s+k_1$, где *s* – показатель порядка асимптотического разложения, а k_1 – параметр, который выбирается из условия согласования краевых условий внутренней задачи и задачи краевых эффектов.

Решение задачи проводим в перемещениях $u^{(k)s}, \mathrm{v}^{(k)s}$, для определения которых имеем уравнения

$$\begin{aligned}&\frac{\partial^2 u^{(k)s}}{\partial t_k^2}+n_1^{(k)}\frac{\partial^2 u^{(k)s}}{\partial z_k^2}+n_2^{(k)}\frac{\partial^2 \mathrm{v}^{(k)s}}{\partial t_k \partial z_k}=0\\&n_3^{(k)}\frac{\partial^2 \mathrm{v}^{(k)s}}{\partial t_k^2}+\frac{\partial^2 \mathrm{v}^{(k)s}}{\partial z_k^2}+n_4^{(k)}\frac{\partial^2 u^{(k)s}}{\partial t_k \partial z_k}=0\end{aligned} \qquad (1.5)$$

Здесь $n_1^{(k)}=\frac{G_{12}^{(k)}}{B_{11}^{(k)}}, n_2^{(k)}=\frac{(G_{12}^{(k)}+B_{12}^{(k)})}{B_{11}^{(k)}}, n_3^{(k)}=\frac{G_{12}^{(k)}}{B_{22}^{(k)}}, n_4^{(k)}=\frac{(G_{12}^{(k)}+B_{21}^{(k)})}{B_{22}^{(k)}}$

Решение однородной системы уравнений (1.5) ищем в виде затухающего решения

$$u^{(k)s}(t_k,z_k)=u_1^{(k)s}(z_k)e^{-\lambda t_k},\ \mathrm{v}^{(k)s}(t_k,z_k)=u_2^{(k)s}(z_k)e^{-\lambda t_k}, \qquad (1.6)$$

где $\lambda > 0$ – показатель скорости изменяемости (убывания) краевого эффекта. Решение $u_1^{k(s)}, u_2^{k(s)}$ ищем в виде:

$$u_1^{k(s)}=C_1^{(k)s}e^{\gamma z_k}, u_2^{k(s)}=C_2^{(k)s}e^{\gamma z_k}, \qquad (1.7)$$

где $C_1^{(k)s}, C_2^{(k)s}$ – постоянные интегрирования k-го слоя, которые находятся из однородной алгебраической системы уравнений. Наличие ненулевого решения этой системы требует, чтобы определитель из коэффициентов системы был равен нулю. Из этого условия следует алгебраическое уравнение относительно параметра γ

$$n_1^{(k)}\gamma^4+\lambda^2(1+n_1^{(k)}n_3^{(k)}-n_2^{(k)}n_4^{(k)})\gamma^2+n_3^{(k)}\lambda^4=0 \qquad (1.8)$$

Это уравнение хорошо изучено [1] и его корни имеют вид

$$\gamma_{1,2}^{(k)2}=-\lambda^2\frac{1+n_1^{(k)}n_3^{(k)}-n_2^{(k)}n_4^{(k)}}{2n_1^{(k)}}\pm\lambda^2\frac{1}{2n_1^{(k)}}\sqrt{D^{(k)}}, \qquad (1.9)$$

где $D^{(k)}=(1+n_1^{(k)}n_3^{(k)}-n_2^{(k)}n_4^{(k)})^2-4n_1^{(k)}n_3^{(k)}$.

В зависимости от значений упругих постоянных характеристическое уравнение имеет корни следующих вариантов:

Задача А (при $D^{(k)}=0$)

$$\gamma_{1,2}^{(k)}=i\lambda b^{(k)}, \gamma_{3,4}^{(k)}=-i\lambda b^{(k)},\ b^{(k)}=\sqrt[4]{n_3^{(k)}/n_1^{(k)}}=\sqrt[4]{E_1^{(k)}/E_2^{(k)}} \qquad (1.10)$$

Задача В (при $D^{(k)}>0$)

$$\begin{aligned}&\gamma_{1,2}^{(k)}=\pm i\lambda b_1^{(k)}, \gamma_{3,4}^{(k)}=\pm i\lambda b_2^{(k)}\\&b_1^{(k)}=\sqrt{\frac{1}{2n_1^{(k)}}\left[1+n_1^{(k)}n_3^{(k)}-n_2^{(k)}n_4^{(k)}-\sqrt{D^{(k)}}\right]}\\&b_2^{(k)}=\sqrt{\frac{1}{2n_1^{(k)}}\left[1+n_1^{(k)}n_3^{(k)}-n_2^{(k)}n_4^{(k)}+\sqrt{D^{(k)}}\right]}\end{aligned} \qquad (1.11)$$

Задача С (при $D^{(k)}<0$)

$$g_{1-4}^{(k)} = \pm a^{(k)} \pm ib^{(k)},\ a^{(k)} = \sqrt{\frac{1}{2n_1^{(k)}}\left[\sqrt{n_1^{(k)}n_3^{(k)}} - \frac{1}{2}(1+n_1^{(k)}n_3^{(k)} - n_2^{(k)}n_4^{(k)})\right]}$$
$$b^{(k)} = \sqrt{\frac{1}{2n_1^{(k)}}\left[\sqrt{n_1^{(k)}n_3^{(k)}} + \frac{1}{2}(1+n_1^{(k)}n_3^{(k)} - n_2^{(k)}n_4^{(k)})\right]} \qquad (1.12)$$

В соотношениях (1.10)-(1.12) $a^{(k)}, b^{(k)}, b_1^{(k)}, b_2^{(k)} > 0$.

Решение **задачи А** при корнях γ (1.10) записывается в виде

$$u_1^{(k)s} = \left[q_1^{(k)}A_1^{(k)s} - \frac{1}{l}q_2^{(k)}A_2^{(k)s}\right]\cos l\,b^{(k)}z_k + \left[q_1^{(k)}A_3^{(k)s} + \frac{1}{l}q_2^{(k)}A_4^{(k)s}\right]\sin l\,b^{(k)}z_k +$$
$$+ q_1^{(k)}z_k(A_2^{(k)s}\sin l\,b^{(k)}z_k + A_4^{(k)s}\cos l\,b^{(k)}z_k)$$
$$u_2^{(k)s} = A_1^{(k)s}\sin l\,b^{(k)}z_k - A_2^{(k)s}z_k\cos l\,b^{(k)}z_k - A_3^{(k)s}\cos l\,b^{(k)}z_k + A_4^{(k)s}z_k\sin l\,b^{(k)}z_k$$

$$s_x^{(k)s} = -B_{11}^{(k)}\left[(b_1^{(k)}l\,A_1^{(k)s} - b_2^{(k)}A_2^{(k)s})\cos l\,b^{(k)}z_k + (b_1^{(k)}l\,A_3^{(k)s} + \right.$$
$$+ b_2^{(k)}A_4^{(k)s})\sin l\,b^{(k)}z_k + b_1^{(k)}l\,z_k(A_2^{(k)s}\sin l\,b^{(k)}z_k +$$
$$\left. + A_4^{(k)s}\cos l\,b^{(k)}z_k)\right]\mathrm{e}^{-lt}$$
$$s_y^{(k)s} = -B_{22}^{(k)}\left[(b_3^{(k)}l\,A_1^{(k)s} - b_4^{(k)}A_2^{(k)s})\cos l\,b^{(k)}z_k + (b_3^{(k)}l\,A_3^{(k)s} + \right.$$
$$+ b_4^{(k)}A_4^{(k)s})\sin l\,b^{(k)}z_k + b_3^{(k)}l\,z_k(A_2^{(k)s}\sin l\,b^{(k)}z_k +$$
$$\left. + A_4^{(k)s}\cos l\,b^{(k)}z_k)\right]\mathrm{e}^{-lt}$$
$$t_{xy}^{(k)s} = G_{12}^{(k)}\left[-(b_5^{(k)}l\,A_1^{(k)s} - b_6^{(k)}A_2^{(k)s})\sin l\,b^{(k)}z_k + (b_5^{(k)}l\,A_3^{(k)s} + \right. \qquad (1.13)$$
$$+ b_6^{(k)}A_4^{(k)s})\cos l\,b^{(k)}z_k + b_5^{(k)}l\,z_k(A_2^{(k)s}\cos l\,b^{(k)}z_k -$$
$$\left. - A_4^{(k)s}\sin l\,b^{(k)}z_k)\right]\mathrm{e}^{-lt},$$

где $b^{(k)} = 1,\ n_1^{(k)} = (1-n^{(k)})/2,\ n_2^{(k)} = (1+n^{(k)})/2,\ n_1^{(k)} + n_2^{(k)} = 1$

$n_{12}^{(k)} = n_{21}^{(k)} = n^{(k)}$ – коэффициент Пуассона. И тогда

$$q_1^{(k)} = 1,\quad q_2^{(k)} = (1+n_1^{(k)})/n_2^{(k)},\quad b_1^{(k)} = 1-n^{(k)},\quad b_2^{(k)} = (1+n_1^{(k)})/n_2^{(k)} - n^{(k)},$$
$$b_3^{(k)} = n^{(k)} - 1,\quad b_4^{(k)} = n^{(k)}(1+n_1^{(k)})/n_2^{(k)} - 1,\quad b_5^{(k)} = 2,\quad b_6^{(k)} = 2/n_2^{(k)}.$$

Задача В имеет место для ортотропного материала при $\sqrt{E_1^{(k)}E_2^{(k)}} > 2G_{12}^{(k)}$ (сдвиговая жесткость $2G_{12}^{(k)}$ меньше, чем средняя жесткость на растяжение-сжатие $\sqrt{E_1^{(k)}E_2^{(k)}}$).

Решение задачи **В** записывается

$$u_1^{(k)s} = -q_1^{(k)} A_1^{(k)s} \sin l b_1^{(k)} z_k + q_1^{(k)} A_2^{(k)s} \cos l b_1^{(k)} z_k - $$
$$- q_2^{(k)} A_3^{(k)s} \sin l b_2^{(k)} z_k + q_2^{(k)} A_4^{(k)s} \cos l b_2^{(k)} z_k$$
$$u_2^{(k)s} = A_1^{(k)s} \cos l b_1^{(k)} z_k + A_2^{(k)s} \sin l b_1^{(k)} z_k + A_3^{(k)s} \cos l b_2^{(k)} z_k +$$
$$+ A_4^{(k)s} \sin l b_2^{(k)} z_k$$

$$s_x^{(k)s} = B_{11}^{(k)} l (b_1^{(k)} A_1^{(k)s} \sin l b_1^{(k)} z_k - b_1^{(k)} A_2^{(k)s} \cos l b_1^{(k)} z_k +$$
$$+ b_2^{(k)} A_3^{(k)s} \sin l b_2^{(k)} z_k - b_2^{(k)} A_4^{(k)s} \cos l b_2^{(k)} z_k) e^{-l t} \qquad (1.14)$$

$$s_y^{(k)s} = -B_{22}^{(k)} l (b_3^{(k)} A_1^{(k)s} \sin l b_1^{(k)} z_k - b_3^{(k)} A_2^{(k)s} \cos l b_1^{(k)} z_k +$$
$$+ b_4^{(k)} A_3^{(k)s} \sin l b_2^{(k)} z_k - b_4^{(k)} A_4^{(k)s} \cos l b_2^{(k)} z_k) e^{-l t}$$
$$t_{xy}^{(k)s} = -G_{12}^{(k)} l (b_5^{(k)} A_1^{(k)s} \cos l b_1^{(k)} z_k + b_5^{(k)} A_2^{(k)s} \sin l b_1^{(k)} z_k +$$
$$+ b_6^{(k)} A_3^{(k)s} \cos l b_2^{(k)} z_k + b_6^{(k)} A_4^{(k)s} \sin l b_2^{(k)} z_k) e^{-l t},$$

где

$$q_1^{(k)} = \frac{n_2^{(k)} b_1^{(k)}}{1 - n_1^{(k)} b_1^{(k)2}}, \quad q_2^{(k)} = \frac{n_2^{(k)} b_2^{(k)}}{1 - n_1^{(k)} b_2^{(k)2}}$$

$$b_1^{(k)} = q_1^{(k)} - n_{12}^{(k)} b_1^{(k)}, \; b_2^{(k)} = q_2^{(k)} - n_{12}^{(k)} b_2^{(k)}$$
$$b_3^{(k)} = b_1^{(k)} - n_{21}^{(k)} q_1^{(k)}, \; b_4^{(k)} = b_2^{(k)} - n_{21}^{(k)} q_2^{(k)}$$
$$b_5^{(k)} = 1 + q_1^{(k)} b_1^{(k)}, \; b_6^{(k)} = 1 + q_2^{(k)} b_2^{(k)}.$$

Задача С, имеющая место для ортотропного материала при $\sqrt{E_1^{(k)} E_2^{(k)}} < 2G_{12}^{(k)}$, в данной статье не рассматривается.

В различных вариантах решений задач **А** (1.13), **В** (1.14) и **С** содержится неизвестный параметр λ, который определяется из условия существования ненулевого решения относительно постоянных $A_1^{(k)s}, \ldots A_4^{(k)s}$. Для получения этого условия необходимо использовать статические краевые условия на лицевых поверхностях полосы $t_{xy}^{(1)s} = s_y^{(1)s} = 0$ при $z_1 = -a_1$, $t_{xy}^{(n)s} = s_y^{(n)s} = 0$ при $z_n = a_n$ и условия непрерывности функций $u^{(k)s}, v^{(k)s}, t_{xy}^{(k)s}, s_y^{(k)s}$ при переходе от слоя k к k+1. Для n – слойной полосы задача сводится к решению однородной алгебраической системы уравнений порядка 4n, которая имеет ненулевое решение только в том случае, когда определитель, составленный из коэффициентов этой системы уравнений, будет равен нулю. Задача сводится к собственной проблеме для определителя, элементами которого являются степенные и тригонометрические функции.

2. Численное решение задачи краевого эффекта. Используется численный подход с помощью системы “Математика-5”, которая обладает набором операторов, упрощающих решение собственной проблемы.

Программа состоит из следующих операторов:

$\overline{U} = Array[u,\{n,n\}]$ – образование квадратной матрицы размером n.

Как отмечалось, тело матрицы состоит из статических условий на лицевых поверхностях полосы при $z_1 = -a_1$, $t_{xy}^{(1)s} = s_y^{(1)s} = 0$, при $z_n = a_n$, $t_{xy}^{(n)s} = s_y^{(n)s} = 0$ и условий непрерывности функций $u^{(k)s}$, $v^{(k)s}$, $t_{xy}^{(k)s}$, $s_y^{(k)s}$ при переходе от слоя k к k+1.

$f = Det[u]$ – получение определителя матрицы в символическом виде.

$p = Chop[f]$ – данный оператор упрощает полученное выражение определителя, заменяя приближенные вещественные числа, близкие к нулю, точным нулем. Принят оператор, который за нуль принимает число, значения которого меньше 10^{-10}.

$Plot[p]$ – оператор, который строит график функции p в заданном интервале для визуального приближенного определения корней уравнения.

$FindRoot\left[p == 0, \{l, l_0, l_1\}\right]$ – данный оператор определяет комплексный корень с заданной точностью в интервале λ_0,λ_1.

На основе данного подхода рассмотрен целый ряд двухслойных, трехслойных и пятислойных полос со слоями из различных материалов. Эти задачи сводятся к квадратным матрицам 6-ого, 8-ого, 10-ого и 12-ого порядков, которые решаются практически мгновенно.

Для получения достаточно точного решения необходимо определить некоторое число первых значений λ. Остановимся на первых десяти корнях. Наибольшее внимание уделено первому корню λ_1, который характеризует глубину проникновения краевого эффекта вглубь полосы [1].

Задача A_1A_2. Рассматривается двухслойная полоса из двух разных изотропных материалов: в программу вводится $E^{(k)}, n^{(k)}, a_k$ (k=1,2). Вычисляются

$$B_{11}^{(k)} = B_{22}^{(k)} = E^{(k)}/(1-n^{(k)2}),\quad G_{12}^{(k)} = E^{(k)}/\left(2(1+n^{(k)})\right),\quad g_2^{(k)},\qquad b_i^{(k)}\ (i=1,\ldots,6).$$

По программе проследим влияние различных параметров на решение.

Влияние модулей упругости $E = E^{(2)}/E^{(1)}$ (1, 5, 10, 100) при одинаковых коэффициентах Пуассона $n^{(1)} = n^{(2)} = 0.3$ и одинаковых толщинах слоев $a_1 = a_2 = 0.5$ приведено в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что при E=1 имеем однослойную полосу, и корни этой задачи совпали полностью с известными результатами [1]. С увеличением параметра E до 5 видно, что первый корень практически не меняется,

Таблица 1

$l_n = X_n + iY_n$				
E / λ_n	1		5	
	X_n	Y_n	X_n	Y_n
λ_1	2.10620	1.12536	2.05577	0
λ_2	3.74884	1.38434	2.51661	1.08063
λ_3	5.35627	1.55157	4.25374	1.92259
λ_4	6.94998	1.67610	5.93686	1.97222
λ_5	8.53668	1.77554	7.52867	2.46605
λ_6	10.1193	1.85838	9.15950	2.40336
λ_7	11.6992	1.92940	10.7361	2.80825
λ_8	13.2773	1.99157	12.3472	2.69824
λ_9	14.8541	2.04685	13.9189	3.06074
λ_{10}	16.4299	2.09663	15.5195	2.92403

Таблица 1 (продолжение)

$l_n = X_n + iY_n$				
E / λ_n	10		100	
	X_n	Y_n	X_n	Y_n
λ_1	1.52781	0	1.03885	0
λ_2	2.57468	1.23577	2.58566	1.34856
λ_3	4.23642	2.08502	4.21506	2.23369
λ_4	5.93072	2.06899	5.92381	2.14754
λ_5	7.51424	2.61385	7.49944	2.75264
λ_6	9.15319	2.49166	9.14733	2.56499
λ_7	10.7249	2.95173	10.7138	3.08743
λ_8	12.3418	2.78362	12.3370	2.85507
λ_9	13.9098	3.20233	13.9010	3.33663
λ_{10}	15.5149	3.00802	15.5110	3.07858

но становится вещественным числом. В дальнейшем первый корень уменьшается и при E=1000 λ_1 =0.98003, что свидетельствует о более чем двукратном увеличении глубины проникновения краевого эффекта по координате *t* (до четырех толщин полосы).

Различие в коэффициентах Пуассона в слоях ($n^{(1)} = 0.2, n^{(2)} = 0.4$) практически не сказывается на глубине проникновения погранслоя (таблица 2 при $a_1 = a_2 = 0.5$).

Таблица 2

$l_n = X_n + iY_n$				
E / λ_n	1		100	
	X_n	Y_n	X_n	Y_n
λ_1	2.11179	1.12733	1.10134	0
λ_2	3.75200	1.37602	2.59495	1.26499
λ_3	5.37564	1.53941	4.21524	2.23222
λ_4	6.95927	1.64514	5.93157	2.08260
λ_5	8.57374	1.73387	7.49957	2.75128
λ_6	10.1385	1.78680	9.15296	2.50316
λ_7	11.7613	1.83743	10.7139	3.08610
λ_8	13.3147	1.85162	12.3414	2.79432
λ_9	14.9619	1.87028	13.9011	2.33532
λ_{10}	16.5132	1.83373	15.5145	3.01835

Таблица 3

$l_n = X_n + iY_n$				
E / λ_n	$a_1 = 0.7,\ a_2 = 0.3$		$a_1 = 0.9,\ a_2 = 0.1$	
	X_n	Y_n	X_n	Y_n
λ_1	0.984903	0	1.63093	1.20692
λ_2	1.82134	0.968542	2.17666	0
λ_3	4.23056	1.53307	3.20671	1.21035
λ_4	6.53358	1.83146	5.06505	1.41901
λ_5	8.81199	2.03903	6.84907	1.58184
λ_6	11.0792	2.19878	8.61576	1.70774
λ_7	13.3400	2.32892	10.3752	1.81004
λ_8	15.5968	2.43886	12.1308	1.89615
λ_9	17.8510	2.53401	13.8841	1.97049
λ_{10}	20.1033	2.61794	15.6358	2.03591

Влияние толщин α_n слоев при E=100 и $n^{(1)} = n^{(2)} = 0.3$ представлено в таблице 3.

Задача АВ имеет место для двухслойной полосы, где первый слой из изотропного материала, а второй – из ортотропного материала. В качестве изотропного материала выбрана сталь ($E^{(1)}=2\cdot10^5$МПа, $n^{(1)}=0.3$), а в качестве ортотропного материала – стеклопластик намоточный однонаправленный [1] ($E_1^{(2)}=5.59\cdot10^4$МПа, $E_2^{(2)}=1.37\cdot10^4$МПа, $G_{12}^{(2)}=0.559\cdot10^4$МПа, $n_{12}^{(2)}=0.277$). Необходимо отметить, что в [1] при перечисленных характеристиках материала второго слоя неверно вычислены корни решения b_1, b_2, которые в действительности имеют значения $b_1 = 0.7537,\ b_2 = 2.6785$, а не $b_1 = 0.671,\ b_2 = 3.0$, что сильно влияет на определение l_i.

В таблице 4 приведены только первые корни (λ_1) при различных толщинах слоев, что дает возможность показать влияние соотношения толщин слоев на глубину проникновения краевых эффектов. Наибольшее проникновение имеет место при $\alpha_1=0.6$ и $\alpha_2=0.4$ ($\lambda_1=0.982905$).

Из таблицы 4 видно, что при $\alpha_1=1$, $\alpha_2=0$ имеем полосу из изотропного материала и ее первый корень решения совпадает с известным [1] и приведенным в таблице 1 данной статьи. Действительная часть этого корня указывает на глубину распространения краевого эффекта порядка двух толщин полосы. При $\alpha_1=0$ и $\alpha_2=1$ имеем полосу из стеклопластика намоточного однонаправленного с $\lambda_1=1.32721$ и, следовательно, краевой эффект распространяется в глубь полосы на три толщины. Еще большую глубину проникновения краевого эффекта для двухслойной полосы имеем при $\alpha_1=0.6$, $\alpha_2=0.4$ ($\lambda_1=0.982905$), что соответствует проникновению краевого эффекта на глубину порядка четырех толщин. Очевидно, можно найти такие материалы, для которых λ_1 будет еще меньше. Такой краевой эффект нельзя считать быстроубывающим. Для таких полос напряженно-деформированное состояние нельзя разбивать на основное и краевой эффект, а необходимо точно решать плоскую задачу теории упругости с учетом всех факторов совместно.

При вычислении корней этой задачи были отмечены факты постепенного перехода от комплексного значения корней к действительным и сильного влияния отношения механических характеристик слоев и отношения толщин слоев на значения корня.

Задача $\mathbf{B_1B_2}$ соответствует двухслойной полосе из двух разных ортотропных материалов. Рассмотрен вариант, когда первым слоем является стеклопластик намоточный однонаправленный, а вторым – фанера марки БС-1[1] ($E_1^{(2)}=1.08\cdot10^4$МПа, $E_2^{(2)}=0.834\cdot10^4$МПа, $G_{12}^{(2)}=0.0883\cdot10^4$МПа, $n_{12}^{(2)}=0.076,\ b_1^{(2)} = 0.33,\ b_2^{(2)} = 3.4523$). Корни $b_1^{(2)},\ b_2^{(2)}$ также отличаются от приведенных в [1] ($b_1^{(2)} = 0.231,\ b_2^{(2)} = 4.923$). Для этих материалов в таблице 5 приведены решения для однослойных полос из каждого отдельного материала, которые, как и следовало ожидать, несколько отличаются от известных [1].

Согласно [1] для стеклопластика намоточного однонаправленного $\lambda_1=1.1158$, а для фанеры $\lambda_1=0.6897$, что значительно завышает глубину проникновения краевого эффекта. Для двухслойной полосы из этих материалов при $\alpha_1=\alpha_2=0.5$ имеем $\lambda_1=0.765115$, что меньше каждого отдельного корня.

Таблица 4

α_1	α_2	Первый корень
1	0	2.1062+1.12536i
0.9	0.1	2.2973+1.15310i
0.8	0.2	1.38810
0.7	0.3	1.05998
0.6	0.4	0.982905
0.5	0.5	1.04602
0.4	0.6	1.28022
0.3	0.7	1.33419
0.2	0.8	1.32871
0.1	0.9	1.19880
0	1	1.32721

Задача $A_1A_2A_3$ описывает полосу из трех различных изотропных материалов (матрица двенадцатого порядка). Из этой программы легко получить программу для полос регулярного строения: **задача $A_1A_2A_1$**(с) – симметричная задача (задача растяжения-сжатия полосы), **задача $A_1A_2A_1$**(к) – кососимметричная задача (задача изгиба). В этом случае матрица уменьшается до шестого порядка. Аналогично построены матрицы для трехслойных полос A_1BA_2 и $B_1B_2B_3$, в которых выделены симметричные (**ABA**(с), $B_1B_2B_1$(с)) и кососимметричные (**ABA**(к), $B_1B_2B_1$(к)) задачи. Для пятислойных полос регулярного строения, для симметричных и кососимметричных задач имеем матрицы десятого порядка: $A_1A_2A_3A_2A_1$ ($A_1A_2A_1A_2A_1$), $A_1BA_2BA_1$ ($A_1BA_1BA_1$), $AB_1B_2B_1A$, $A_1A_2BA_2A_1$, $B_1B_2B_3B_2B_1$ ($B_1B_2B_1B_2B_1$).

Для задачи $A_1A_2A_1$ получены решения симметричной и кососимметричной задач, решения которых приведены в таблице 6 для $E^{(1)}=E^{(3)}=1$, $E^{(2)}=0.1$, $n^{(1)}=n^{(2)}=n^{(3)}=0.3$ и $\alpha_1=0.1$, $\alpha_2=0.8$ ($2\alpha_1+\alpha_3=1$) при $\lambda_к=X_к+iY_к$.

Таблица 5

λ_i	Стеклопластик намоточный однонаправленный	Фанера марки БС-1
λ_1	1.32721	0.918516
λ_2	1.73068	1.30659
λ_3	2.16307+0.425169i	1.83888
λ_4	3.01995	2.24533
λ_5	3.45669	2.76505
λ_6	4.14926+0.45846i	3.16924
λ_7	4.73945	3.71410
λ_8	5.16917	4.08887
λ_9	6.14545+0.37389i	4.69783+0.31551i
λ_{10}	6.46799	5.00723

Таблица 6

Корни λ_i	Симметричная задача		Кососимметричная задача	
	X_n	Y_n	X_n	Y_n
λ_1	1.75531	0.821598	3.37711	1.67744
λ_2	5.47628	0	4.90763	0
λ_3	8.67734	1.44674	6.45065	1.16000
λ_4	12.6742	1.74418	10.6926	1.61876
λ_5	16.6142	1.92455	14.6457	1.84298
λ_6	20.5505	2.05705	18.5822	1.99460
λ_7	24.4874	2.16790	22.5191	2.11441
λ_8	28.4210	2.26413	26.4547	2.21782
λ_9	32.3517	2.34638	30.3866	2.30688
λ_{10}	36.2822	2.41766	34.3169	2.38311

Таблица 7

λ_i	Симметричная задача	Кососимметричная задача
λ_1	1.32721	1.743073
λ_2	2. 16269+0.424865i	3.02005
λ_3	3.45681	4.14849+0.458391i
λ_4	4.73957	5.16944
λ_5	6.14405+0.374618i	6.46814
λ_6	6.83623	7.8668
λ_7	8.19935	8.45449+0.327658i
λ_8	9.50599	9.92893
λ_9	10.4626+0.451268i	11.2131
λ_{10}	11.6513	12.4466+0.442347i

Сравнение X_1 симметричной и кососимметричной задач показывает, что краевой эффект в симметричной задаче распространяется на глубину, в два с половиной раза большую, чем в задаче изгиба. Это совпадает с однослойными полосами из изотропного материала, но глубина проникновения краевого эффекта в задаче $\mathbf{A_1A_2A_1}$ несколько выше, чем для однослойных полос.

Если задачу $\mathbf{B_1B_2B_1}$ использовать для однослойной полосы из стеклопластика намоточного однонаправленного (α_1=0.25, α_2=0.5), то для симметричного и кососимметричного вариантов имеем корни, которые приведены в таблице 7.

При использовании задачи $\mathbf{B_1B_2B_1}$ для однослойной полосы (таблица 7), как и при использовании задачи $\mathbf{B_1B_2}$ для однослойных полос (таблица 5), отмечается несоответствие с данными Л.А. Агаловяна [1], что связано с неверным вычислением в [1] корней решения $b_1^{(2)}$, $b_2^{(2)}$.

Для однослойных полос задачи **В** характеристические уравнения легко получить аналитически. Так, в [1] для однослойной полосы получены уравнения:

для симметричной задачи

$$b_2 \sin l b_2 \cdot \cos l b_1 - b_1 \sin l b_1 \cdot \cos l b_2 = 0, \tag{2.1}$$

для кососимметричной задачи

$$b_2 \sin l b_1 \cdot \cos l b_2 - b_1 \sin l b_2 \cdot \cos l b_1 = 0. \tag{2.2}$$

В работе автора [3] аналогичные уравнения имеют вид:

для симметричной задачи

$$b_3 b_6 \sin l b_2 \cdot \cos l b_1 - b_4 b_5 \sin l b_1 \cdot \cos l b_2 = 0, \tag{2.3}$$

для задачи изгиба

$$b_3 b_6 \sin l b_1 \cdot \cos l b_2 - b_4 b_5 \sin l b_2 \cdot \cos l b_1 = 0. \tag{2.4}$$

Из уравнений (2.1-2.4) следует соотношение

$$b_3 b_6 / b_4 b_5 = b_2 / b_1 \tag{2.5}$$

Автору не удалось доказать соотношение (2.5) в общем виде, но численные проверки для каждого частного варианта задачи показывают правильность этого соотношения.

Определение НДС полосы происходит по соотношениям (1.13) для изотропного слоя (материал класса **А**) и по (1.14) для ортотропного материала класса **В.** В эти соотношения входят неопределенные пока коэффициенты A_i (i=1,...4) асимптотического разложения. Они должны быть найдены из краевых условий при *t=0.* Для удовлетворения краевых условий и вычисления постоянных A_i необходимо использовать метод граничной коллокации [1].

В работе рассмотрены только задачи многослойных полос (плоский краевой эффект) для матриц не выше двенадцатого порядка для материалов класса **А** и **В.** Объем матриц ограничен скоростью решения задачи по определению корней уравнения на ПЭВМ. Для матрицы выше двенадцатого порядка для подбора одного комплексного корня требуется на один вариант решения несколько минут времени. Если приходится долго искать первый корень, то на весь диапазон корней уходит достаточно много времени.

Автор не рассматривает в работе материалы класса **С**, ввиду незначительного числа таких ортотропных материалов.

Литература

1. Агаловян Л.А. Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. – М.: Наука, 1997. – 414 с.
2. Бутенко Ю.И. Определение погранслоев в плоской задаче для трехслойных полос. Ч. 1 // Изв. РАН МТТ, 2008, № 4. – С. 58-76.
3. Бутенко Ю.И. Краевые эффекты в двухслойных и трехслойных полосах и пластинах. – Казань: Изд-во Казан. гос. ун-та, 2008. – 152 с.
4. Бутенко Ю.И. Определение погранслоев в плоской задаче для трехслойных полос. Ч. 2 // Изв.РАН МТТ, 2009, № 1. – С. 136-146.
5. Артюхин Ю.П., Гурьянов Н.Г., Котляр Л.М. Система Математика 4.0 и ее приложения в механике. – Казань – Набережные Челны: Изд-во КамПИ, 2002. – 415 с.

УДК 692.45
Д.Г. Карелова – аспирант
Тел.: 89053120423
Татарский государственный гуманитарно-педагогический университет (ТГГПУ)
Р.В. Шипилов – аспирант, ассистент
Тел.: 89172795436, e-mail: ultromarin@inbox.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ТЕРМИН В ТЕРМИНОСИСТЕМЕ ГИБКИХ МОБИЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

АННОТАЦИЯ

В представленной статье рассматриваются вопросы, связанные с терминами гибких мобильных сооружений (г.м.с.), используемыми специалистами в профессиональном общении. Доказывается необходимость упорядочения, выявления законов формирования и особенностей терминов, что дало бы возможность беспрепятственно обмениваться информацией в рамках международной стандартизации и межъязыковой унификации научно-технических терминов (г.м.с.).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: архитектура, строительство, конструкции, мембраны, термин, терминосистема, подъязык, профессионализмы.

Karelova D.G. – post-graduate student
Tel.: 89053120423
Tatar State University of Humanities and Education (TSUHE)
Shipilov R.V. – post-graduate student, assistant
Tel.: 89172795436, e-mail: ultromarin@inbox.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

TERM IN THE TERM SYSTEM OF LIGHTWEIGHT STRUCTURES

ABSTRACT

In the present article the questions connecting with terms of lightweight structures, used at professional communication by specialists are regarded. The necessity of normalization, the detection of laws of the formation and terms' features are proved. It could be made the opportunity in connecting with the increasing of profitable economic, scientific and technical cooperating relations among the specialists to intercommunicate without hindrance within the scope of international standardizations and interlanguage unification of scientific and technical terms of lightweight structures.

KEYWORDS: architecture, construction, structure, membrane, term, term system, professional words.

Введение

Важнейшей практической задачей терминологии как науки является упорядочение специальной лексики. Однако не следует абсолютизировать цели упорядочения лексики той или иной области знания: хотя в отличие от словаря общелитературного языка специальная лексика в большей степени допускает сознательное регулирование, она также находится в сфере действия общих законов развития и функционирования языка, согласно которым не может существовать взаимнооднозначного соответствия «понятие – слово» или «предмет –денотат». В развитии науки важным моментом является переосмысление того или иного понятия, а, следовательно, и термина, его обозначающего. Поэтому главная проблема упорядочения специальной лексики заключается в том, чтобы выявить законы формирования и особенности терминов различных областей науки и техники, их связей, т.е. становление и функционирование терминосистемы. Это, безусловно, и самая трудная проблема, но без её решения невозможно создать действительно полезные и «жизнеспособные» словари терминов [1, с. 9-12].

Предметом нашего исследования является терминологическая система гибких мобильных сооружений, составляющая подъязык строительства.

В предложенном исследовании мы ставим перед собой следующие задачи:

1. Выявление классификации референтов и понятий.
2. Осуществление фиксации терминов, покрывающих область гибких мобильных сооружений.
3. Осуществление лексикографической фиксации терминов гибких мобильных сооружений (в дальнейшем г.м.с.) на основе их понятийной соотнесенности.

Термин гибких мобильных сооружений и подъязык строительства

Современное направление в архитектуре и строительстве привлекает внимание все большего числа специалистов. Уменьшение веса конструкций и сооружений является одной из основных тенденций во всех отраслях современной техники. Ускорение темпов жизни, а также развитие науки требуют создания сооружений, которые можно быстро и экономно возводить, демонтировать, перемещать, реконструировать [2].

Применение современных строительных материалов из синтетических пленок и волокон открывает большие возможности создания новых высокоэффективных инженерных конструкций, методов строительного производства и видов сооружений, важных для развития гражданского, промышленного, сельскохозяйственного строительства. Необходимость словарной манифестации новых научно-технических понятий стимулирует постоянное и интенсивное пополнение лексического фонда языков. В связи с ростом взаимовыгодных экономических и научно-технических партнерских отношений между специалистами необходим обмен информацией в рамках международной стандартизации и межъязыковой унификации научно-технических терминов [3].

В связи с развитием контактов с США, Англией и другими зарубежными странами по применению пневматических и тентовых сооружений и элементов зданий из синтетических пленок и текстиля значительно возросли объемы технической и экономической информации, а также требования к точному переводу, необходимость создания взаимоувязанной терминологии и документации в архитектурной, строительной науке и технике. Охватываются многие не свойственные для традиционной строительной технологии особенности таких сооружений, связанные с химией и технологией полимеров, резины, текстиля, текстильных композитов с методами расчета, конструирования, изготовления, монтажа, эксплуатации и испытаний мягких оболочек, что значительно расширяет профессиональную лингвистическую среду. Необходимо уделить внимание постоянно растущему спросу на данные объекты, что влечет за собой увеличение количества фирм, занимающихся как разработкой, так и применением пленочно-текстильных сооружений, а также текстильных композитов. К примеру: Ferrari (Франция), Satler (Австрия), Sedo (Испания), Mahler (Германия), Naizil (Италия), Sioen (Бельгия), Scantarp (Финляндия), Licana (Италия).

Возникновение новой отрасли строительной технологии и явилось экстралингвистической предпосылкой появления в подъязыке строительства новой терминосистемы, для названия которой еще нет единого общепринятого термина ни в нашей стране, ни за рубежом. Единицей терминосистемы гибких мобильных сооружений является термин. В данной работе мы принимаем за основу определение термина, данное И.В. Арнольд: «Термином принято называть слово или словосочетание, служащее для точного выражения понятия, специфичного для какой-нибудь отрасли знания, производства или культуры, и обслуживающее коммуникативные потребности в этой сфере человеческой жизнедеятельности» [4].

Совокупность терминов той или иной отрасли образует ее терминологическую систему. «Термин, представляет в современных исследованиях как слово или словосочетание, обозначающее понятие специальной области знаний или деятельности» [5].

Различают полный, краткий и неполный варианты термина, а также в функции термина могут выступать термины, употребляемые специалистами разных школ для наименований современных строительных конструкций данного направления архитектуры и строительства, часто не совпадают по содержанию понятий, указанный факт осложняет обмен информацией между специалистами [3]. К примеру, английский термин **«lightweight structure»**, введенный одним из современных теоретиков этого направления строительной техники Ф. Отто [14], который с 70-х гг. возглавляет Штутгартский Научно-исследовательский Институт Легких конструкций, а так же Овер Аруп, Буро Хаполд, Иэро Саренен, Мэтью Новики, Николас Голдсмит и Тод Далленд и т.д., объединяет по содержанию понятия все виды конструкций данного направления и является родовым понятием, но в русском языке соответствующего эквивалента не имеет и переводится описательно: «растянуто-напряженные конструкции». Распространенный термин **«membrane structures»** в русском языке переводится на русский язык как «**мембранные структуры»,** при этом подразумеваются несколько видов материалов, с помощью которых данная конструкция может быть создана, к примеру: пленки, резина, сетки или ткани.

В момент создания термина обязательно существует какая-либо словесная формулировка содержания соответствующего понятия. Именно «понятия не существуют вне определения», но из опыта практической работы по упорядочению терминологий хорошо известно, что большое количество терминов применяется без единых дефиниций, и, тем не менее, они являются широко известными терминами и используются при формулировании определений других понятий (ср. термины: балка, ферма, система понятий и т.п.). В терминологии одним из основных понятий является значение. Или определение известного автора словаря лингвистических терминов Ж. Марузо: «Значение слова есть совокупность представлений, которые могут быть вызваны произнесением этого слона». Арнольд И.В. определяет значение следующим образом: «Под

лексическим значением слова понимаем реализацию понятия, эмоции или отношения средствами языковой системы» [4]. Причина такого разнообразия состоит в том, что определения соответствуют разным задачам того или иного направления в лингвистике и отражают разнообразие подходов авторов к предмету.

В момент создания термина обязательно существует какая-либо словесная формулировка содержания соответствующего понятия. Но в дальнейшем, в процессе применения термина и появления других понятий, это содержание очень часто теряет четкость. Поэтому место соответствующего ему понятия в системе, его признаки в составе значения термина далеко не всегда указаны предельно точно.

Создание для терминов дефиниций в процессе работы по упорядочению требует большого труда (но создать их – для системы понятий определенной области удается). Это производится в процессе выявления системы понятий. «Образование понятий, – пишет В.И. Мальцев, – есть отражение данных объектов, при котором неизбежно устанавливается отношение с другими уже известными или вновь образованными понятиями, включение данного понятия в систему понятий» [6].

Дефиниции создаются сознательно, например, в статьях, учебниках, в процессе работы по упорядочению, причем нередко уже после того, как термин вошел в научный обиход [7, с. 7].

Следует отметить также, что не всегда то, что принимается на практике за дефиницию какого-либо термина, действительно является правильной дефиницией понятия – с точки зрения логических правил построения определений или существа самого явления. Часто дефиниции создаются для одного, изолированного понятия, без учета других, более широких по отношению к нему понятий, а также понятий соподчиненных или более узких и т. п. Поэтому границы понятий, выражаемых терминами, нередко весьма не четкие.

Как известно, в логике существует деление понятий на общие, единичные, собирательные.

Так, например, термину «**membrane structure»** соответствует общее понятие, так как он приложим к множеству видов конструктивных решений, обладающих некоторыми общими, но существенными признаками. Это множество составляют все мембранные конструкции, которые «имеют мембранное покрытие, которое в свою очередь может быть сделано из разнородного материала». Это множество в свою очередь может быть разделено далее на подмножества.

Единичным понятием называют такое понятие, которое относится к одной какой-нибудь вещи, явлению, отношению. Так, если понятие **load-bearing mechanism (несущая способность)** в настоящее время является общим, то в момент его создания соответствовало единичному понятию, и его объем на виды тогда не мог быть разделен.

В теории терминологии к таким единичным понятиям относят понятия о конкретной массовой промышленной продукции, некоторых способах и методах ее изготовления. Они воспроизводятся по одному и тому же образцу, технологическому циклу, рецепту – заданное число раз. По существу объем таких понятий, как и у единичного понятия, всегда одна вещь, явление или отношение.

Для единичного понятия, как известно, определение через ближайший род и видовое отличие построить невозможно, так как для него можно указать ближайшее родовое понятие, но нельзя указать видовое отличие, выделяющее его среди соподчиненных понятий. Поэтому каждое такое понятие в технике отличается от близких ему понятий о конструкциях (способах методах, величинах и т.п.) не признаком – видовым отличием, а своим набором ряда иногда разнородных признаков (нет единого «основания деления»). Для таких понятий поэтому строится не дефиниция, а описание, т.е. указание ближайшего рода и перечисление, возможно точное, этих признаков, к примеру: **«teflon, cotton, rayon, visolon, целлофан, ланолин, вазелин, линолеум, родбанд, кринолин, баннер»** – товарные знаки. Товарный знак – это обозначение, при помощи которого предприятие маркирует свои товары или услуги с целью отличить их от товаров или услуг того же вида, предоставляемых другими предприятиями, облегчить покупателю выбор товара и услуг [8, с. 7].

«В отличие от остальных собственных имен, выполняющих в основном функцию обозначения, товарные знаки, прежде всего, предназначены для выполнения призывной (аттрактивной) и эстетической функций. Это объясняет некоторые особенности строения словесных товарных знаков в плане выражения – эвфония, относительная краткость слова, в плане содержания – ориентирована ассоциации со словами, не имеющими нейоративных значений» [9, с. 56]. Прежде всего словесный знак обладает однозначностью обозначения, которая едина при любом воспроизведении. Словесные знаки более легко запоминаются, наиболее известные из них становятся подобием «имени» товара, как общеизвестные **целлофан, ланолин, вазелин, линолеум, родбанд, кринолин, баннер** – товарные знаки.

Г.М. Мельников определяет номен как единицу, непосредственно соотнесенную «с предметами и объектами реальности, а не с теоретическими единицами “ понятиями об этих предметах, то есть не с единицами уровня «логоса» [10, с. 116].

Для упорядочения терминологии гибких мобильных сооружений необходимо определить подъязык, к которому данная терминология относится.

Термин «подъязык» определяется как «исторически сложившаяся, относительно устойчивая для данного

периода автономная экзистенциальная форма национального языка, обладающая своей системой взаимодействующих социолингвистических норм первого и второго уровней, представляющая собой совокупность некоторых фонетических, грамматических и, преимущественно, специфических, лексических средств общенародного языка, обслуживающих речевое общение определённого социума, характеризующегося единством профессионально-корпоративной деятельности своих индивидов и соответствующей системой социальных понятий» [11].

Профессиональный подъязык строительной терминологии представляет собой нормы первого (термины и номены) и второго (профессионализмы, депрофессионализмы, квазипрофессионализмы, интерпрофессионализмы) уровня, так как включает в себя кодифицированные и некодифицированные единицы.

Профессионализмы – единицы нормы второго уровня профессионального подъязыка, функционирующие в низком регистре институционального дискурса как субституции терминов.

Структурной основой профессионализмов чаще всего служит не специальная, а общеупотребительная лексика, используемая в специальном значении. И если, находясь вне пределов профессионального подъязыка, единица не обладает ни образностью, ни экспрессивностью, то, попадая в специальный контекст, слово «зажигается», обретает некоторую коннотативную нагрузку.

Депрофессионализмы – лексические единицы нормы второго уровня профессионального подъязыка, значение которых не имеет параллелей в терминосфере соответствующего вида деятельности. Как правило, депрофессионализмы употребляются только в соответствующей профессиональной среде и не выходят за пределы неофициального общения людей данной профессии.

Непрерывность профессионального языкового континуума обеспечивается группой единиц, квазипрофессионализмов, занимающих промежуточное положение между профессионализмами и депрофессионализмами. Это единицы, не имеющие параллелей в терминосистеме, однако их денотативное значение соотносимо с профессиональными действиями и объектами [12, с. 25].

Интерпрофессионализмы – единицы норма второго уровня, употребляющиеся в ряде профессиональных языков [13, с. 85-95].

Ядро профессионального подъязыка строительства составляют современные термины, имеющие тематическую соотнесенность с 16-ю основными группами отраслей и направлений развития техники:

1. Традиционная и новая техника палаточных и шатровых сооружений, в том числе с конструкциями и оборудованием для тентовых, пневматических и др. систем; 2. Архитектурное и строительное использование тентовых, пневматических, отделочно-облицовочных, гидро-паро-газоизоляционных покрытий, прослоек, стеновых ограждений, свето-звуко-теплоактивных конструкций; трансформирующихся устройств, например раздвижных перегородок; спасательных средств, например рукавных эвакуаторов; для строительной индустрии и строительной технологии, например пропарочные камеры, опалубка, воздуховоды; укрытия строящихся и реставрируемых объектов; 3. Одежда и др. изделия легкой промышленности, в том числе спецзащиты на производствах; 4. Резино-технические изделия, в т.ч. резино-ткани, пожарные рукава, транспортерные ленты, автошины, пневмобаллоны, бензобаки; 5. Автотранспортное машиностроение, в т.ч. автофургоны; 6. Текстильная промышленность, в т.ч. отрасли волокон, нитей, тканей, нетканых сетчатых крученых и др. изделий; 7. Летательные и воздухоплавательные аппараты, аэростаты, дирижабли, парашюты, дельтапланы; 8. Химия, технология, материаловедение полимеров, пленочных и др. изделий из пластиков и композитов; 9. Специальные раздвижные антенны исследовательских аппаратов; 10. Чехольная, упаковочная, тарная, экспедиционная оснастка; 11. Несущие каркасы, опоры, крепеж, механизмы и устройства для трансформации конструкции из специальных, в т.ч. легких металлосплавов и профилей, древесины, пластмасс со сшивкой, склейкой, окраской, др. процессами; 12. Мягкие и гибкие удовые конструкции, в т.ч. переборки, плавсредства, суда на воздушных подушках; 13. Защитно-закрепляющие покрытия и прослойки при возведении насыпей, дамб, озеленений откосов, геотекстильные устройства; 14. Передвижные гидротехнические сооружения-плотины, лотки, водоемы, бункеры, водоводы, бассейны; 15. Парусное вооружение судов, кораблей; 16. Другие типы и виды гибких, подвижных устройств конструкций, оборудования и процессов, в т.ч. защитных и отделочных покрасок [2].

Являясь одной из форм реализации языка, профессиональный язык не выбирает собственных способов образования единиц, используя морфологическую деривацию, семантическую деривацию, функционирующие в других разновидностях национального языка [12].

Заключение

В результате исследований и обобщений было определено, что в качестве первого шага в упорядочении существующего сложившегося лексикона в такой новой области, как мобильные сооружения и ограждения из мягких оболочек, наиболее целесообразна лексикографическая

обработка словесного массива с целью разработки «Терминологического словаря гибких мобильных конструкций англо-русских терминов».

В связи с увеличением количества терминов, что в свою очередь явилось следствием развития науки во многих направлениях, актуальны вопросы термина и терминологии в целом. Различные толкования понятий «термин» и «терминология» свидетельствуют об отсутствии единого мнения среди ученых и нерешенности данной проблемы, поэтому упорядочение, к примеру, терминосистемы гибких мобильных сооружений с использованием мягких оболочек даст возможность описать термины, входящие в состав данной терминологии, тем самым упростив профессиональное общение специалистов.

Литература

1. Бакулов А.Д. Определение метода прикладной лингвистики при построении терминологической системы. Труды ЦНИИПИИ, 4 серия [Текст] /А.Д. Бакулов. – М., 1973.
2. Блинов Ю.И. Пленки, ткани и сетки в гражданских и промышленных сооружениях [Текст]. – Казань: Вопросы теории развития гибких мобильных и сооружений, 1971.
3. Кафиатуллина В.И. Немецкая терминология гибких мобильных сооружений и её русские эквиваленты [Текст] / В.И. Кафиатуллина. – Казань, 1974.
4. Арнольд И.В. Основы научных исследований в лингвистике [Текст]. – М.: Высш. шк., 1991.
5. Васильева В.Н., Термин / Языкознание: Большой энциклопедический словарь [Текст] / Гл. ред. В.Н. Ярцева. – М.: 1998.
6. Мальцев В.И. Проблема определения понятий в диалектической логике // Проблемы диалектической логики. – М.: Изд-во МГУ, 1959. – С.5.
7. Канделаки Т.Л. Значение терминов и системы значений научно-технической терминологии // Проблемы языка науки и техники. – М.: Изд-во Наука, 1970.
8. Комолова З.П. Эмоциональность прагмонимов (на материале товарных знаков США). Актуальные проблемы лексикологии [Текст] / З.П. Комолова. – Новосибирск, 1969.
9. Praninskas J. Trade name creation. Processes and patterns. The Hague-Paris, Monton and Co…1968.
10. Мельников Г.П. Основы терминоведения [Текст]/ Г.П. Мельников. – М.: 1991.
11. Коровушкин В.П. Контрастивная социодиалектология как автономная лингвистическая дисциплина [Текст] // Язык в современных общественных структурах (социальные варианты языка – IV): материалы междунар. науч.конф., 21-22 апреля 2005 г. – Н. Новгород, 2005. – С. 7-13.
12. Солнышкина М.И. Профессиональный морской язык [Текст]. – М.: Академия, 2005.
13. Быков В. Жаргоноиды и жаргонизмы в речи русскоязычного населения: новые слова и значения в современном русском языке // Русистика, 1994, № 1/2. – С. 85-95.
14. Otto F., Trostel K.Z. Zugbeanspruchte Konstructionen – Stuttgart: Ullstein Verlag, 1962.

УДК 624.073-415/419

И.Л. Кузнецов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой металлических конструкций и испытаний сооружений

М.М. Ахметшин – аспирант

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБЛЕГЧЕННЫХ ПАНЕЛЕЙ С КАРКАСОМ ИЗ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ

АННОТАЦИЯ

Рассматривается новый тип панелей, в которых элементы каркаса выполнены из тонкостенных С-образных профилей и полками втоплены с внешней и наружней сторон в слой утеплителя. Приводятся данные о теоретической и фактической несущей способности этих панелей при работе на сжатие.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: панель, устойчивость, несущая способность, напряжения.

I.L. Kuznesov – doctor of technical sciences, professor, head of the Department of Metal Structures and Construction Tests

M.M. Ahmetshin –post-graduate student

Tel.: 89063258246, e-mail: ahmetshin-marat@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

RESEARCH OF THE REAL WORK OF FACILITATED PANELS WITH THE FRAME FROM THIN-WALLED PROFILES

ABSTRACT

The new type of panels, in which frame elements are made of thin-walled C-shaped profiles and shoved with their racks and into a heater layer from both outside and inside, is considered. The data about theoretical and actual bearing ability of these panels at work on compression is cited.

KEYWORDS: panel, stability, bearing ability, stress.

В настоящее время при строительстве легких зданий и сооружений наибольшее применение находят трехслойные панели, включающие внешние стальные обшивки и средний слой из эффективного утеплителя [1]. Вместе с тем, известны и другие конструкции панелей, в которых отсутствуют элементы внешней обшивки, что позволяет существенно снизить расход стали. В частности, в [2, 3] предложены панели, в которых предусмотрен каркас из тонкостенных стальных элементов, замоноличенный в слое утеплителя. В указанных панелях каркас выполняет функции несущих элементов, а утеплитель обеспечивает не только теплозащитные функции, но и устойчивость тонкостенных элементов каркаса.

В данной статье рассматривается новый тип панелей, в которых каркас из стальных тонкостенных С-образных элементов с полками, втопленными в слой утеплителя из пенополистирола, установленных с некоторым шагом с внешней и внутренней стороны панели, образуют единую несущую и ограждающую конструкцию. Подобные панели известны в нашей стране как система «Радослав» [4] и используются в качестве несущих конструкций стен легких зданий. Конструктивное отличие рассматриваемых панелей от известных [1, 2, 3] не позволяет использовать действующие методики расчета. Поэтому исследование действительной работы таких панелей представляет научный и практический интерес.

Для исследования действительной работы панелей было рассмотрено два образца, конструктивная схема и параметры которых приведены на рис. 1.

Панель (рис. 1) состоит из внешних и внутренних элементов каркаса 1, выполненных из С-образных оцинкованных тонкостенных стальных профилей, полки которых втоплены в массив утеплителя 3 из пенополистирола. По низу и верху элементы каркаса при помощи самосверлящих винтов соединены обрамляющими уголками 2. Для повышения прочности соединения элементов каркаса с утеплителем в процессе изготовления на втопленные участки элементов каркаса наносится слой из пенополиуретанового клея. Как следует из приведенного конструктивного решения панели, внешние и внутренние элементы каркаса 1 и обрамляющие уголки 2 связаны между собой только слоем пенополистирола.

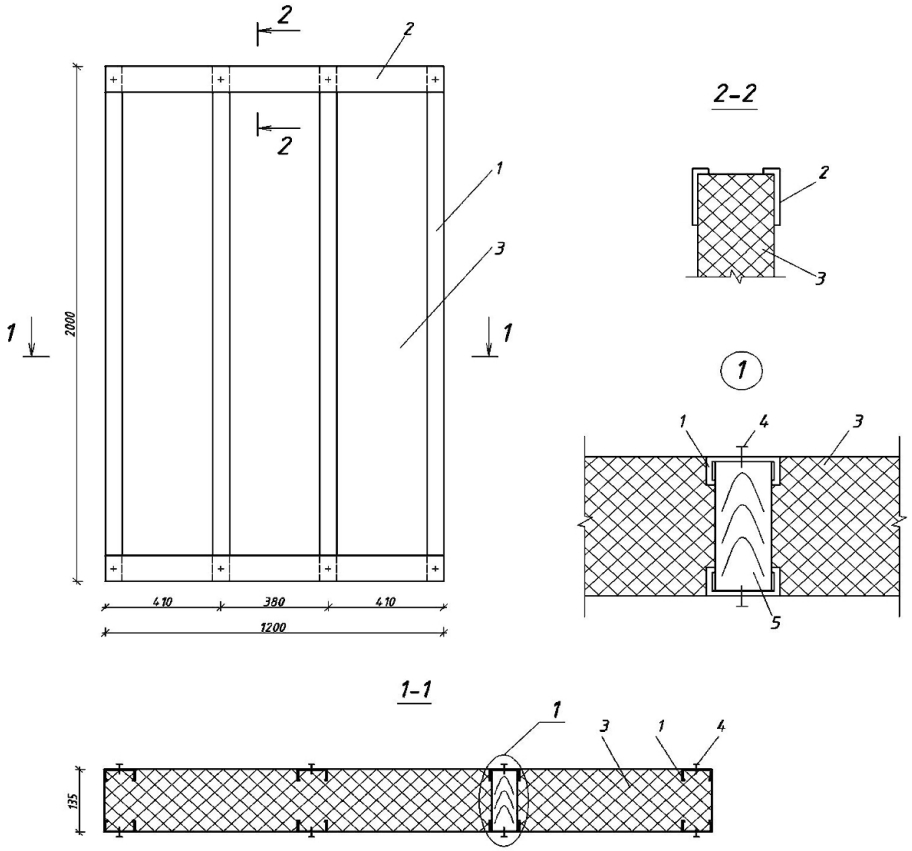


Рис. 1. Конструктивная схема панели

1 – тонкостенный стальной профиль ПП 60х27х0,7 мм; 2 – обвязка торцевого элемента из уголка 100х20х0,7 мм; 3 – пенополистирол толщиной 135 мм; 4 – самосверлящий винт ∅4; 5 – связи из древесины сечением 50х50 мм

Во втором варианте панели между внешними и внутренними элементами каркаса с шагом 660 мм устанавливались дополнительные связи из деревянных брусков сечением 50х50х135 мм (узел 1, рис. 1).

Для определения теоретической несущей способности панели рассматривался ее фрагмент, включающий внешний и внутренний пояса, связанные слоем пенополистирола толщиной 135 мм и шириной по краям 60 мм. Указанный фрагмент панели заменялся эквивалентным решетчатым стержнем с треугольной решеткой с углом наклона раскосов 60° (рис. 3).

Для поясов решетчатого стержня принималось EF = 1890 $т$ и EI_y = 0,1621 $т \cdot м^2$, где E – модуль упругости, а F и I_y, соответственно, площадь и момент инерции С-образного тонкостенного профиля. Площадь раскоса решетчатого стержня A_p определялась из равенства угла сдвига участка пенополистирола с модулем сдвига G = 10 $кг/см^2$ и равнялась A_p = 0,00103 $см^2$. Критическая сила потери устойчивости эквивалентного решетчатого стержня определялась по программе «Лира 9.4» и составила 1,28 т, а для панели в целом при равномерном распределении нагрузки по верху панели соответственно 3,85 т.

Как отмечалось выше, для оценки фактической несущей способности панели были проведены испытания двух натурных образцов с параметрами, приведенными на рис. 1. Испытания проводились на специально изготовленном стенде (рис. 2), сосредоточенной нагрузкой, приложенной через траверсу. Нагрузка прикладывалась этапами по 250 кг до разрушения панели. На каждом этапе нагружения снимались показания тензодатчиков, наклеенных по концам и в середине каждого элемента каркаса и подключаемых к измерителю деформаций «АИД-4».

Эксперименты показали, что деформации в элементах каркаса имеют линейную зависимость от величины нагрузки. Для первой панели, не имеющей дополнительных связей между элементами каркаса, разрушение произошло при нагрузке 3,4 т. Разрушение сопровождалось потерей устойчивости среднего элемента каркаса, характер разрушения приведен на рис. 4. Максимальное напряжение в элементах каркаса равнялось 775 $кг/см^2$. Характер работы и разрушение второй панели, включающей дополнительные связи, аналогичен первой панели. При этом величина разрушающей нагрузки составила 4,5 т при теоретическом ее значении 6,7 т.

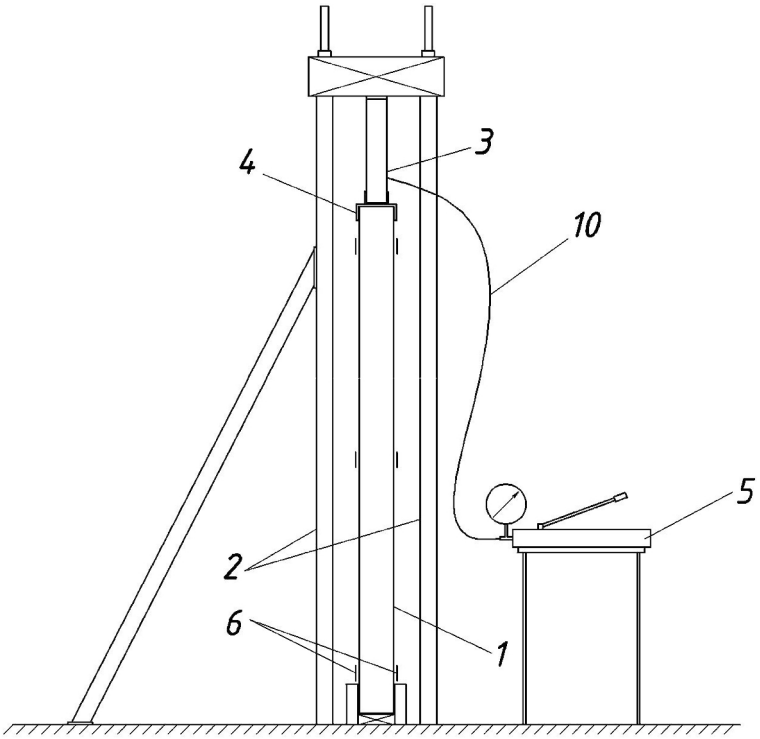


Рис. 2. Схема стенда для испытания
1 – испытываемая панель; 2 – вертикальные направляющие с подкосом и верхней траверсой; 3 – гидроцилиндр; 4 – распределительная траверса; 5 – насосная станция с манометром; 6 – тензодатчики

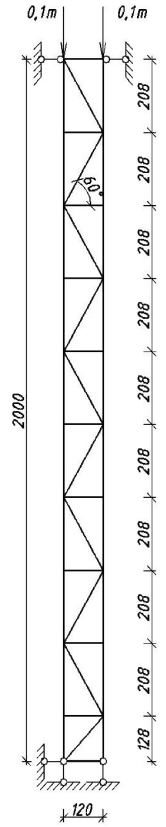


Рис. 3. Расчетная схема фрагмента панели

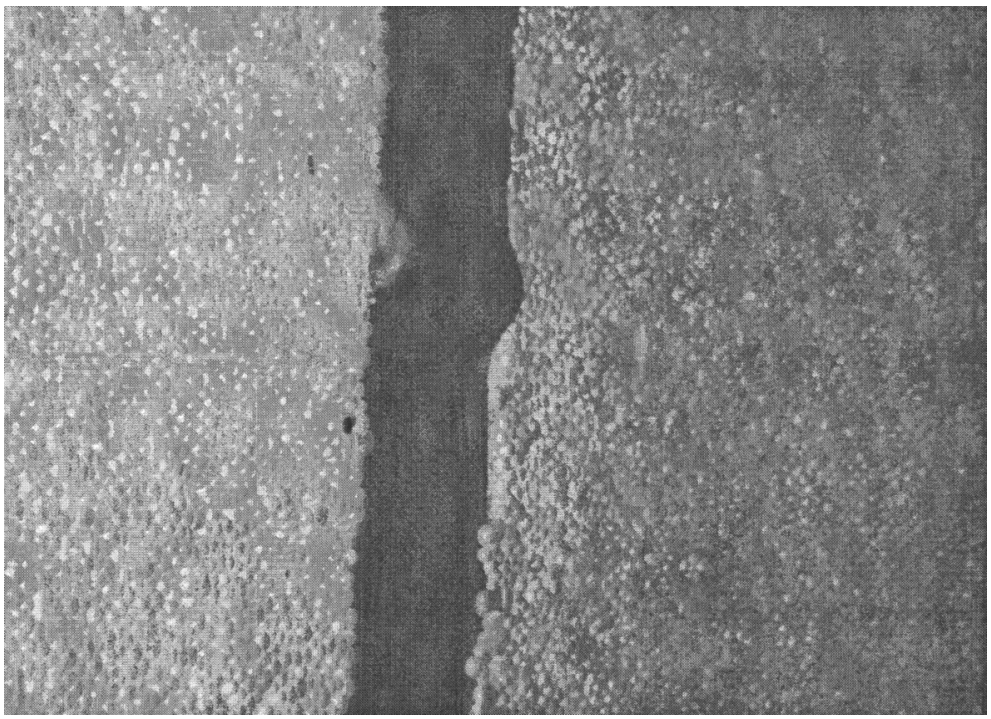


Рис. 4. Потеря устойчивости среднего элемента каркаса

Анализ данных теоретических и экспериментальных исследований показал, что действительная несущая способность первой панели составляет 88 %, а второй панели 67 % от теоретической. Данные расхождения объясняются, видимо, в основном приближенной расчетной схемой фрагмента панели. Свой вклад вносит и неравномерное распределение прикладываемой испытательной нагрузки между несущими элементами каркаса, что обусловлено конечной жесткостью траверсы.

В дальнейшем предполагаются теоретические исследования по расчету устойчивости данной конструкции в более точной постановке с использованием объемных конечных элементов. Это позволит выяснить область применимости использованной здесь расчетной схемы фрагмента панели.

Выводы

Проведенные исследования показали, что конструктивная форма панели обладает достаточно высокой несущей способностью, при этом тонкостенные элементы каркаса и монолитный утеплитель работают как составная конструкция. Поэтому данные панели могут рассматриваться как несущий и ограждающий элемент стен легких зданий, для чего необходимо: во-первых, разработать методику расчета панелей на вертикальные и горизонтальные нагрузки; во-вторых, определить область их эффективного использования и найти конструктивные решения всей несущей системы здания с применением данных панелей.

Литература

1. Тамплон Ф.Ф. Металлические ограждающие конструкции. – Л.: Стройиздат, 1988. – 248 с.
2. Кузнецов И.Л., Зинченко Ю.В., Хуснутдинов К.Б. Плита покрытия. АС № 1337494 от 14.10.85. “Бюллетень”, № 34, 15.09.1987.
3. Кузнецов И.Л., Халиуллин М.И., Чупрунов В.А. Плита покрытия. Патент РФ № 2305160 от 29.12.2005. “Бюллетень”, № 24, 27.08.2007.
4. Альбом технических решений конструкций на основе термоструктурных панелей из пенополистирола системы СП «Радослав» в сочетании с различными материалами, обеспечивающими их огнезащиту (для гражданского строительства). – М.: АО «Инрекон», СП «Радослав», ЦНИИСК им. Кучеренко, 1997. – 32 с.

УДК 691.115:539.376
С.Ю. Лихачева – кандидат физико-математических наук, доцент, докторант
Тел.: (831) 430-53-75, e-mail: lihsvetlana@yandex.ru
Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ КЛАДОК ИЗ ГИПСООПИЛОЧНЫХ И ОПИЛКОБЕТОННЫХ КАМНЕЙ*

АННОТАЦИЯ
На основе анализа экспериментальных данных для кладок из гипсоопилочных и опилкобетонных камней определены закономерности развития во времени деформаций ползучести при разных уровнях длительного напряжения сжатия. Исследования проводились в рамках упругой теории наследственности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ползучесть, гипсоопилочная кладка, кладка из опилкобетона, длительная прочность, упругая теория наследственности.

S.U. Likhacheva – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor, doctoral candidate
Tel.: (831) 430-53-75, e-mail: lihsvetlana@yandex.ru
Nizhegorodskii State University of Architecture and Engineering (NNSUAE)

RESEARCH OF INFLUENCE OF THE FACTOR OF TIME FOR STRENGHT AND DEFORMABILITY WOOD-GYPSUM CONCRETE AND WOOD CONCRET BLOCK WORKS

ABSTRACT
On the basis of the analysis experimental data for laying from wood-gypsum concrete and wood-concrete block works, laws of development in time of deformations of creep are defined at different levels of duration of pressure of compression. Researches were spent within the limits of the elastic theory of heredity.

KEYWORDS: creep,wood-gypsum concrete block work, wood concrete block work, strength under sustained load, elastic theory of a heredity.

При строительстве малоэтажных зданий (жилых домов, приусадебных построек, животноводческих помещений, мастерских, гаражей и т.п.) важную роль играют низкая стоимость, достаточная прочность, долговечность и эффективная теплопроводность стеновых материалов. Кладка из опилкобетонных и гипсоопилочных камней отвечает этим требованиям.

Опилкобетон – лёгкий конструкционный древесно-цементный материал (деревобетон), состоящий из органического (опилки фракцией 2…5 мм) и минерального (песок) заполнителей, вяжущего вещества (цемент) и модифицирующих добавок (известь, сульфат натрия, С-3, СП-1, хлорид кальция). Гипсоопилочный бетон изготавливается на основе гипсового вяжущего.

Применение кладок из деревобетонов позволяет сократить дефицит таких строительных материалов, как кирпич, бетон, сталь, а также повысить теплозащиту возводимых сооружений с одновременным снижением их массы. При этом решается проблема ликвидации отходов древесины.

Одной из основных причин, препятствующих широкому внедрению в практику проектирования и малоэтажного строительства опилкобетонных и гипсоопилочных блоков, является полное отсутствие научно обоснованных данных о деформационно-прочностных свойствах кладки на их основе, а также нормативной базы по расчету каменных элементов из деревобетонных блоков.

Действующие нормы проектирования [1] не содержат сведений о расчётных характеристиках кладки из кирпичей и камней на целлюлозных заполнителях. Так, например, для определения прогнозных величин деформаций при длительных нагрузках в [1] используется зависимость:

* *Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, финансируемых за счет средств федерального бюджета, выделяемых по направлению расходов «НИОКР», мероприятию 1.3 «Проведение научных исследований молодыми учеными – кандидатами наук и целевыми аспирантами в научно-образовательных центрах».*

$$\varepsilon(\tau) = \nu \cdot \frac{\sigma}{E_0}, \qquad (1)$$

но коэффициент длительной деформативности n для кладок из деревобетонов не приводится.

На базе лаборатории длительной прочности кафедры конструкций из дерева, древесных композитов и пластмасс Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета проводятся экспериментальные исследования прочности и деформативности кладок из всех видов деревобетонов на мягких отходах древесины. Для получения сведений о реологии кладок из гипсоопилочных и опилкобетонных камней типа «Крестьянин» (размером 190х190х390 мм) были проведены длительные испытания опытных образцов на одноосное сжатие (рис. 1).

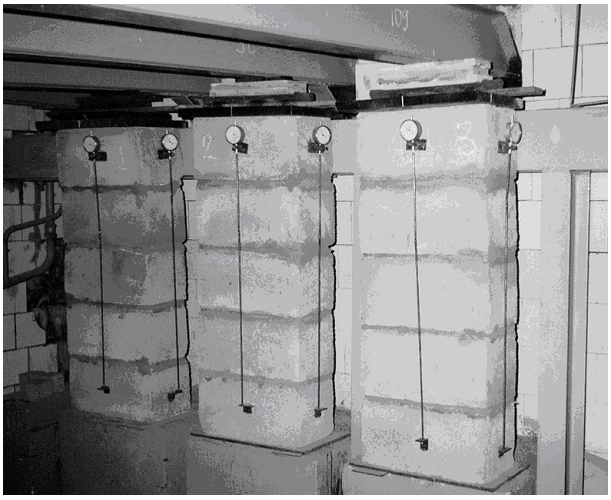


Рис. 1. Длительные испытания опытных образцов на одноосное сжатие

Загружение опытных образцов столбов в возрасте 28 суток осуществлялось постоянными во времени напряжениями, уровень η которых составлял 0,1-0,5 от среднего предела прочности кладки $\overline{R}_U$, при относительной влажности воздуха 55…65 % и температуре 19…22 %. Под каждым относительным уровнем напряжений испытывались по два образца. Для контроля за деформациями усадки использовались по три образца-близнеца для каждой кладки, расположенные в тех же температурно-влажностных условиях. В табл. 1 приведены механические и прочностные характеристики камней, растворов и кладок, полученные в результате экспериментов на одноосное кратковременное сжатие.

Подробные сведения о составе камней, растворов, экспериментальных установках и ходе экспериментов приведены в [2, 3].

В результате измерений в разные моменты времени была определена зависимость относительных деформаций ползучести от начального относительного уровня напряжений. Как видно из графиков (рис. 2), построенных на основе статистической обработки результатов для всех исследуемых образцов, для обеих кладок зависимости получились линейными. Это обстоятельство позволило использовать соотношения линейной теории ползучести:

$$e_n = s(t) \cdot c_л(t). \qquad (2)$$

В формуле (2) $c_л(t)$ – мера ползучести, которая определяется как удельная относительная деформация ползучести.

Для каждого уровня напряжений были определены зависимости относительных деформаций ползучести e_n от момента времени τ:

$$e_n(t) = e(t) - e_y(t_1) - e_{yc}(t). \qquad (3)$$

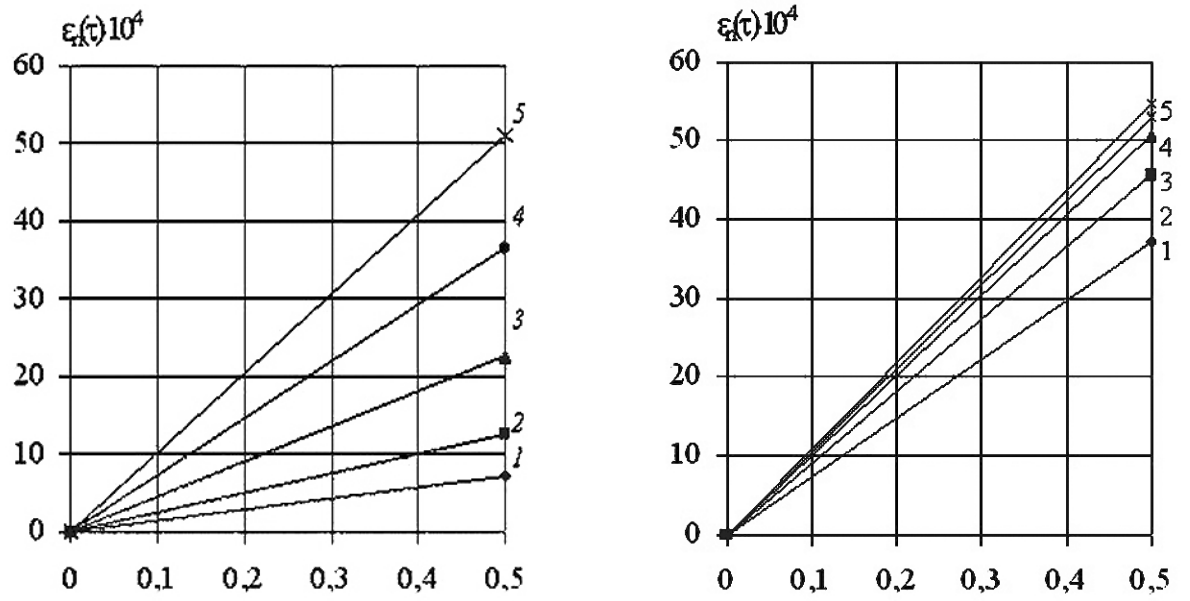
В формуле (3) $e(t)$ – полные относительные деформации сжатия к моменту времени наблюдения,

$e_y(t_1)$ – упругомгновенная деформация, измеренная в момент приложения нагрузки,

$e_{yc}(t)$ – деформации усадки незагруженных образцов на момент определения деформации ползучести.

Таблица 1

Вид кладки	Объем выборки, шт.	Прочность камня, МПа	Прочность раствора, МПа	Прочность кладки, МПа	Начальный модуль деформаций, МПа
Кладка из опилкобетонных камней	3	5,05	2,45	3,1	1034
Кладка из гипсоопилочных камней	5	2,0	0,41	1,4	353



а) б)

Рис. 2. Графики зависимостей относительных деформаций ползучести от начального относительного уровня напряжений η
(а – для опилкобетонной кладки, б – для гипсоопилочной)
$1-h=0{,}5$, $2-h=0{,}4$, $3-h=0{,}3$, $4-h=0{,}2$, $5-h=0{,}1$

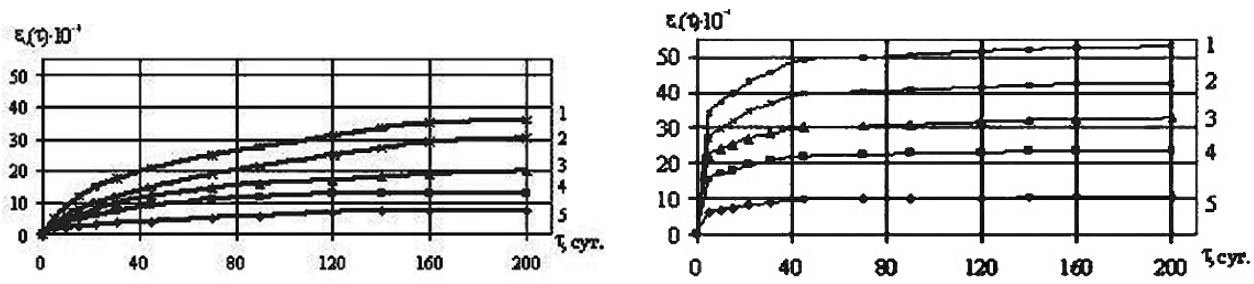
На рис. 3 представлены графики относительных деформаций ползучести, построенные для разных уровней η. Сравнение этих кривых показывает, что на начальных стадиях эксперимента у гипсоопилочных столбов происходит быстрое нарастание деформаций ползучести, а у опилкобетонных – более плавное, но после 120 суток для обеих кладок наблюдается затухание деформаций ползучести. Такой вид кривых соответствует теории ползучести бетона [4].

Также при анализе графиков, представленных на рис. 3, можно заметить, что от величины сжимающего напряжения зависит только величина деформаций, а вид кривых повторяется. Можно сделать вывод, что процесс ползучести каждой кладки в отдельности может быть описан одной кривой – графиком зависимости характеристики ползучести j от времени измерения деформаций t (рис. 4). Определяется характеристика ползучести как отношение деформации ползучести на момент времени к упруго-мгновенным деформациям в момент приложения нагрузки.

В рамках упругой теории наследственности [4] зависимость $j(t)$ имеет экспоненциальный вид:

$$j(t)=j(\infty)\cdot(1-e^{-g\cdot t}). \qquad (4)$$

Значения предельных характеристики ползучести $j(\infty)$ получены для точек линейного участка графиков рис. 4 и представлены в табл. 2. Также в этой таблице приведены значения параметра скорости нарастания деформаций ползучести a_n для обеих



а) б)

Рис. 3. Графики относительных деформаций ползучести, построенные для разных уровней η
(а –для опилкобетонной кладки, б – для гипсоопилочной)
$1-h=0{,}5$, $2-h=0{,}4$, $3-h=0{,}3$, $4-h=0{,}2$, $5-h=0{,}1$

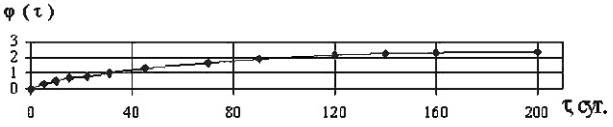


Рис. 4. График зависимости характеристики ползучести j от времени измерения деформаций t для опилкобетонной кладки

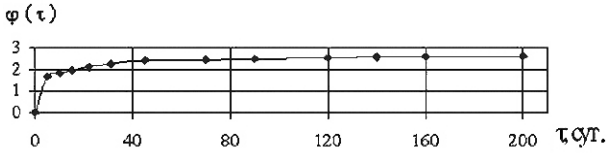


Рис. 5. График зависимости характеристики ползучести j от времени измерения деформаций t для гипсоопилочной кладки

кладок. Эти величины необходимы для аппроксимации финишных участков кривой ползучести гиперболической зависимостью:

$$j(t) = j(\infty) \cdot \frac{t}{a_n + t}. \qquad (5)$$

В табл. 3 приведены значения экспериментальных и вычисленных по формуле (5) значений характеристики ползучести для кладки из гипсоопилочных камней для разных моментов времени наблюдения.

Характеристику ползучести удобно применять в практике расчета стеновых конструкций с учетом ползучести кладок при определении длительного модуля деформаций:

$$E(t) = \frac{E_o}{1 + j(t)}. \qquad (6)$$

В формуле (6) E_0 – начальный модуль деформаций кладки, определяемый из кратковременных испытаний при напряжении $\sigma = 0{,}2\overline{R}_U$. Для изучаемых кладок его значение представлено в табл. 1. Длительный модуль деформаций для конечного установившегося состояния кладки под действием длительных напряжений сжатия составил для кладки из опилкобетона – $E(t) = 0{,}22E_0$, для гипсоопилочной – $E(t) = 0{,}27E_0$.

Проведенные исследования позволили определить предельно низкое критическое напряжение сжатых элементов с учетом влияния фактора времени, а также получить зависимость для определения граничного значения гибкости столбов изучаемых кладок в любой момент времени. Значения этих величин для конечного установившегося состояния длительного сжатия приведены в табл. 4.

На данный момент времени в той же лаборатории проведены испытания на длительное сжатие столбов из опилкобетонных кирпичей, планируется эксперимент по исследованию ползучести кладок из арболитовых блоков. Результаты всех испытаний будут использованы при тестировании численных

Таблица 2

Параметры	Кладка из опилкобетонных камней	Кладка из гипсоопилочных камней
$j(\infty)$	3,5	2,7
a_n	6,32	7,6

Таблица 3

Время наблюдения, в сутках	Экспериментальные значения предельной характеристики ползучести	Вычисленные значения предельной характеристики ползучести
45	2,43	2,37
70	2,46	2,48
90	2,50	2,53
120	2,55	2,57

Таблица 4

Вид кладки	$E_{дл}$, МПа	$l_{гр}$	Коэффициент длительной деформации
Опилкобетонная	766	34	4,5
Гипсоопилочная	278	32	3,7

результатов, полученных с помощью программного комплекса УПАКС [5], в рамках которого автором реализуется модель ползучести.

Литература

1. СНиП II-22-81. Каменные и армокаменные конструкции. – М., 1998. – 41 с.
2. Цепаев В.А., Шурышев И.Н. Экспериментальная оценка деформаций ползучести кладки из опилкобетонных камней // Изв. вузов. Стр-во, 1999, №8. – С. 128-130.
3. Цепаев В.А., Кондрашкин О.Б. Исследование деформаций ползучести кладки из гипсоопилочных камней типа «Крестьянин» // Изв. вузов. Стр-во, 2004, №2. – С. 123-126.
4. Гольденблат И.И., Николаенко Н.А. Теория ползучести строительных материалов и её приложения. – М.: Гостройиздат, 1960. – 256 с.
5. Программный продукт. Вычислительный комплекс решения нелинейных задач деформирования и разрушения конструкций МКЭ (ВК УПАКС). ТУ 5030-02-020703 70-98. Сертификат соответствия N РОСС RU. ME20, НОО 113 / Госстандарт России.

УДК 624.014.072
А.З. Манапов – кандидат технических наук, доцент
В.В. Бедняков – магистр
Тел.: 89033427743, e-mail: man48-75@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ

АННОТАЦИЯ
На примере одноэтажного производственного здания выполнено статистическое моделирование работы конструкций. Получены реализации усилий в несущих конструктивных элементах с интервалом 10 минут за промежуток времени 1 год.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: статистическое моделирование, реализации нагрузок и усилий.

A.Z. Manapov – candidate of technical science, associate professor
V.V. Bednyakov – magistrate
Tel.: 89033427743, e-mail: man48-75@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

STATISTICAL MODELING OF WORK BEARING DESIGNS OF THE INDUSTRIAL BUILDING

ABSTRAST
On an example of the one-storied industrial building equipped with bridge cranes, statistical modeling of work of designs is spent. The loadings operating on a skeleton of a building are presented in interval estimations. In considered elements realization of efforts is received for a time interval.

KEYWORDS: statistical modelling, realisation of loadings and efforts.

Статистическое моделирование работы строительных конструкций основано на имитации эксплуатации конструкции с обеспечением заданных статистических параметров действующих нагрузок, воздействий, геометрии конструктивных элементов. Для моделирования работы конструкций предварительно необходимо составить блок-схему их расчета.

В соответствии с блок-схемой выполнены в два этапа расчеты одноэтажного производственного здания, оборудованного мостовыми кранами (рис. 2). На первом этапе с использованием нормативной методики, на втором этапе – методом статистического моделирования. Для сравнения результатов из множества расчетных элементов выбраны 4 характерных элемента конструкции: 401, 403, 447 и 450 (рис. 2).

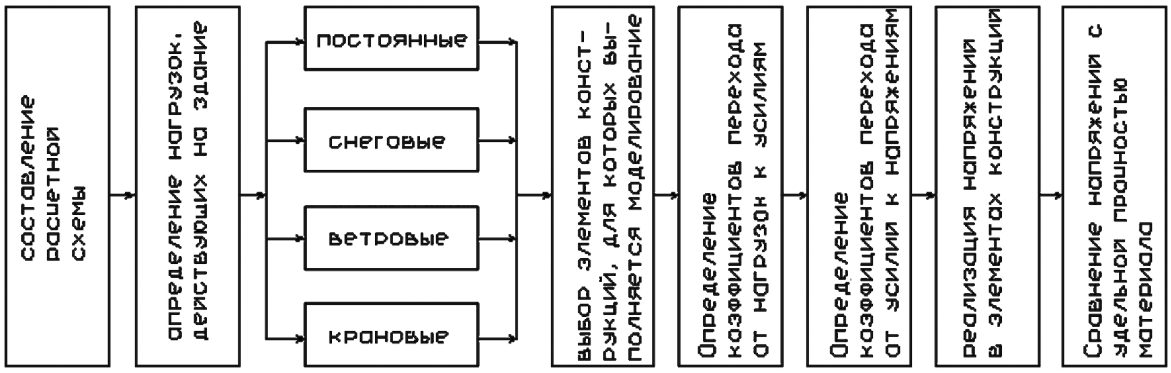


Рис. 1. Блок-схема расчета конструкций

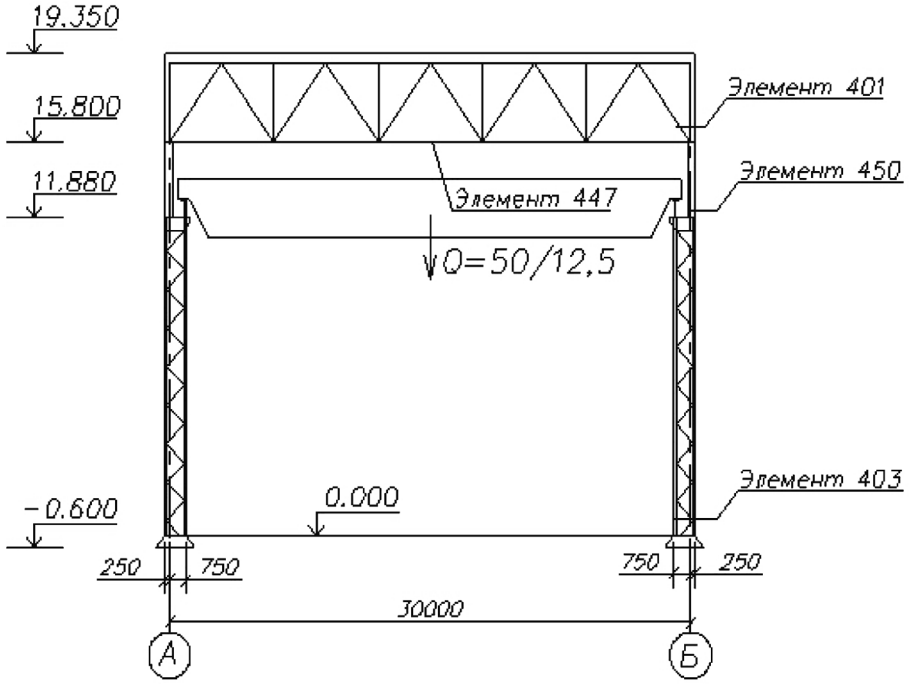


Рис. 2. Поперечная рама производственного здания

При статистическом моделировании распределение постоянных нагрузок принято по нормальному закону распределения, в качестве среднего арифметического принято значение нормативной нагрузки, а за стандарт – произведение среднего арифметического на коэффициент вариации нагрузки. Основой для статистического моделирования снеговой нагрузки приняты распределение годовых максимумов запасов воды в снежном покрове, средние значения дат образования и разрушения устойчивого снежного покрова, полученные из данных наблюдения метеостанций на территории РТ [2].

По распределению годовых максимумов запасов воды в снежном покрове с использованием генератора случайных чисел получена реализация текущего годового максимума запасов воды в снежном покрове. Также использована информация метеостанций об изменении запасов воды в снежном покрове на каждую декаду. Умножением текущего годового максимума запасов воды на коэффициент изменений запасов воды в снежном покрове в течение зимы получены текущие значения запасов воды в снежном покрове на каждую декаду зимнего периода (рис. 3).

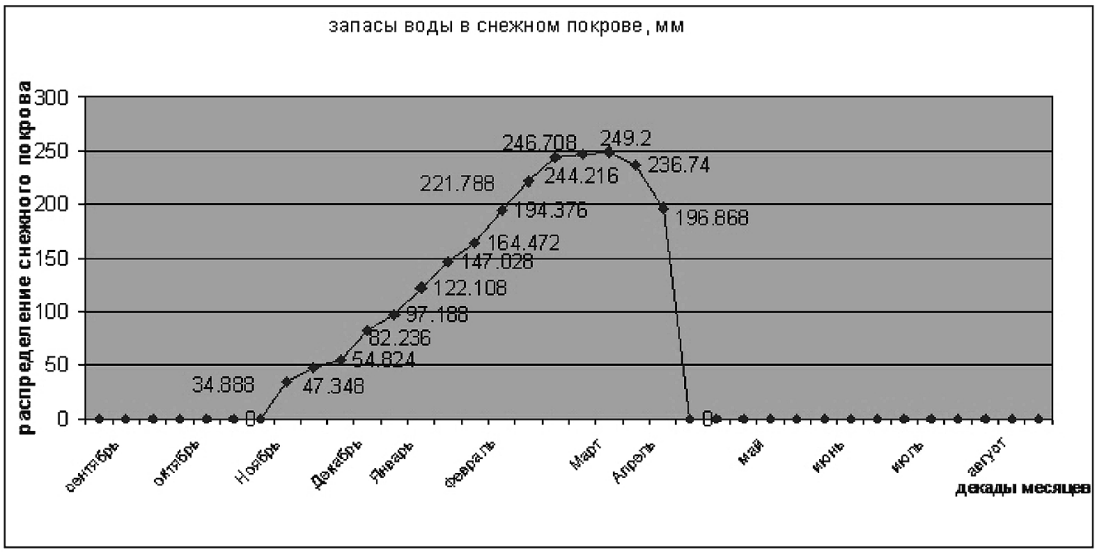


Рис. 3. Изменение значений запасов воды в снежном покрове в течение года

Таблица 1

Результаты наблюдений и статистического моделирования значений запасов воды в снежном покрове на метеостанции г. Казани

Значения запасов воды в снежном покрове (кг/см^2)	Статистическое моделирование	Результаты наблюдений метеостанции Казань
Максимальное значение	246	241
Минимальное значение	59	68

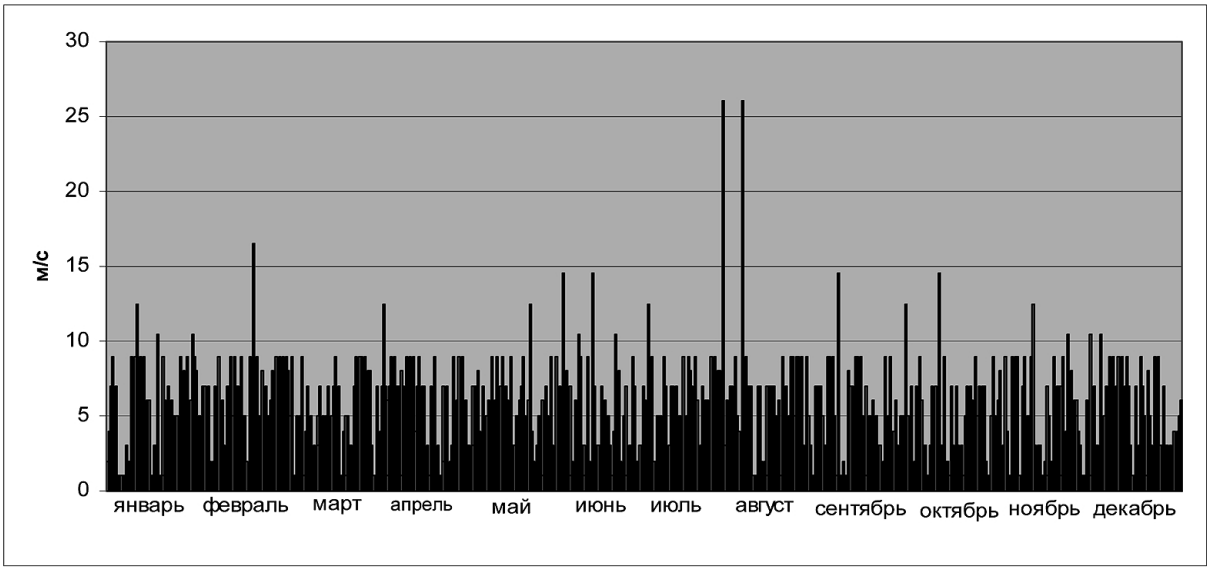


Рис. 4. Реализации скоростей ветрового потока в течение года

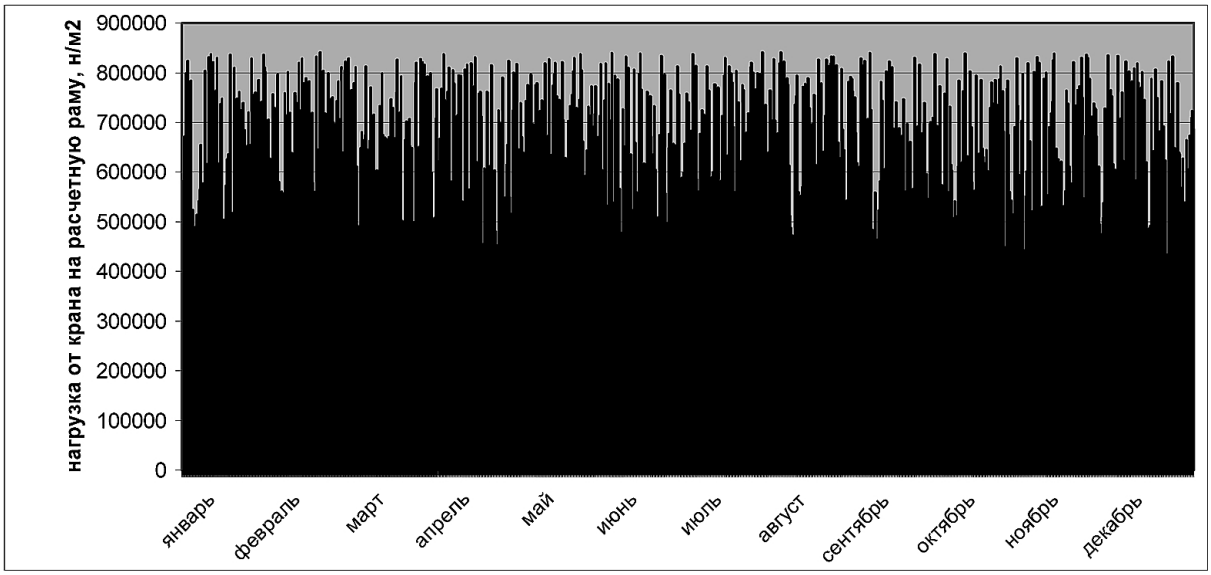


Рис. 5. Изменение крановой нагрузки на расчетную раму в течение года

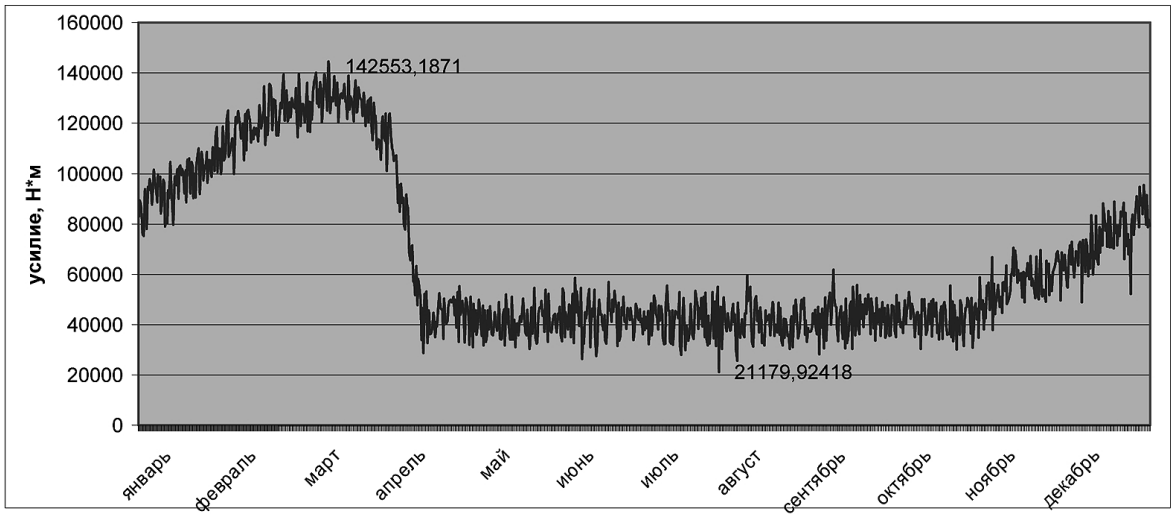


Рис. 6. Реализация значений изгибающих моментов в элементе 450 в течение года

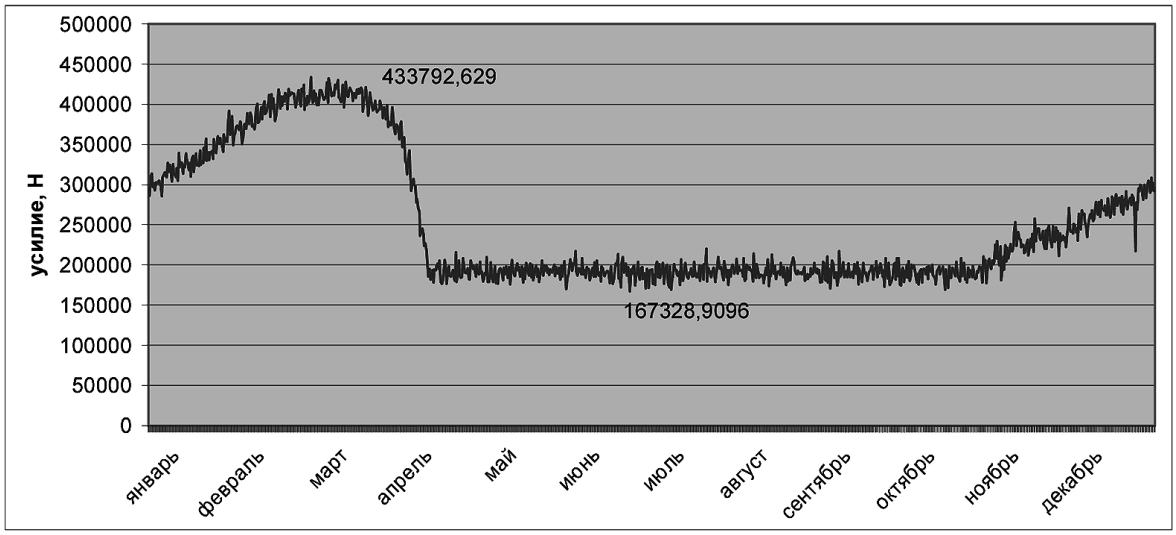


Рис. 7. Реализация значений продольной силы в элементе 450 в течение года

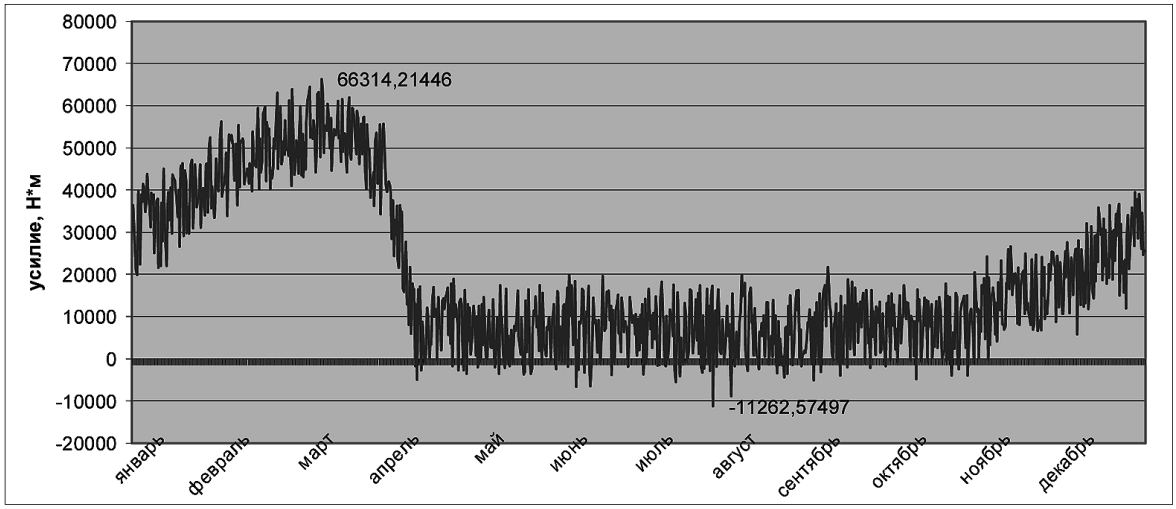


Рис. 8. Реализация значений изгибающих моментов в элементе 403 в течение года

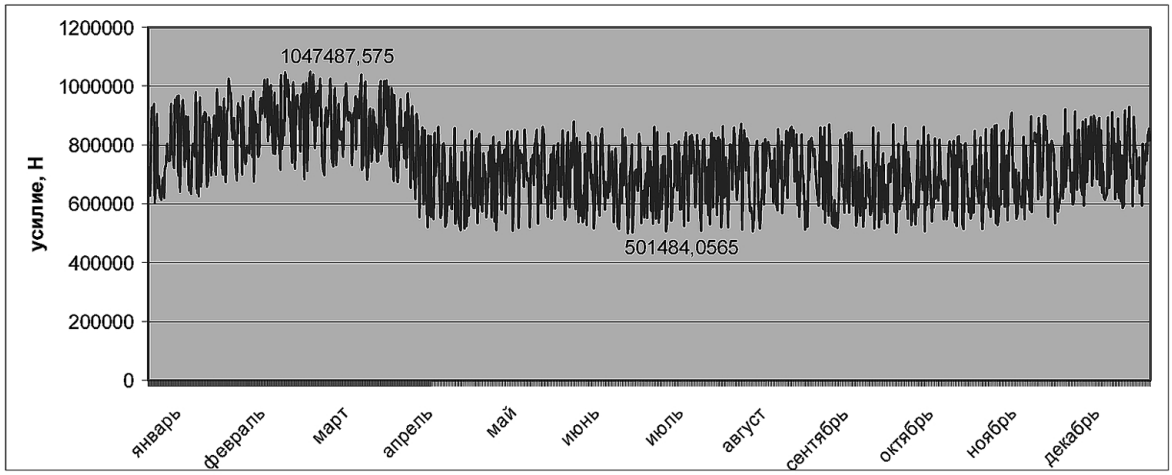


Рис. 9. Реализация значений продольной силы в элементе 403 в течение года

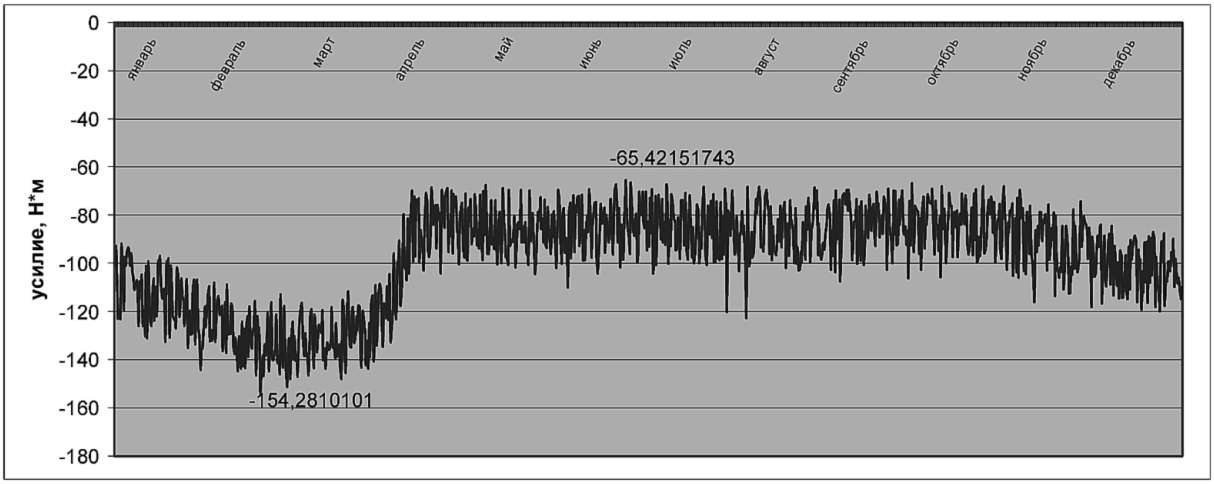


Рис. 10. Реализация значений изгибающих моментов в элементе 401 в течение года

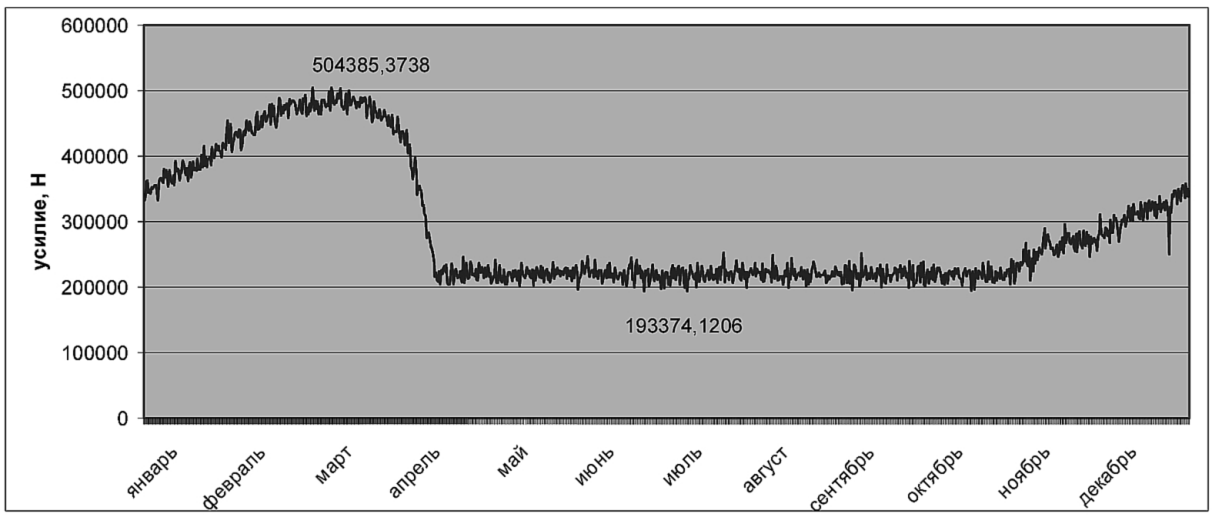


Рис. 11. Реализация значений продольной силы в элементе 401 в течение года

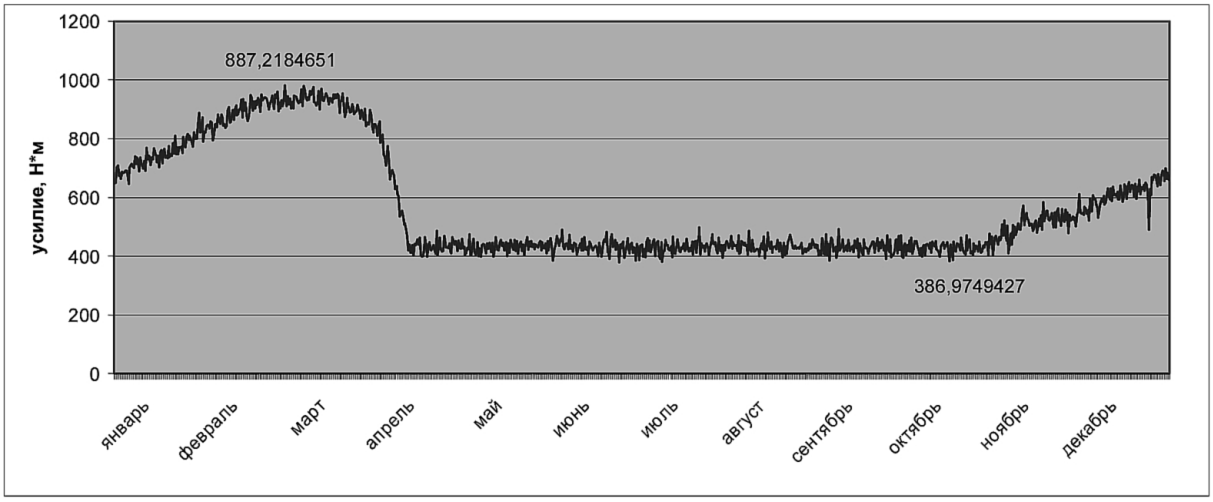


Рис. 12. Реализация значений изгибающих моментов в элементе 447 в течение года

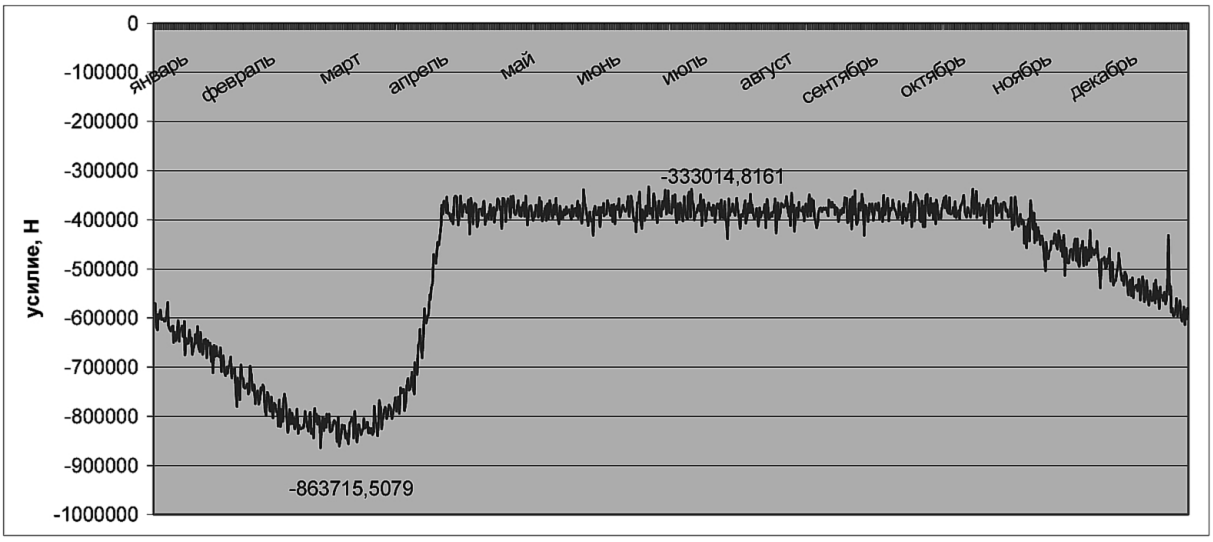


Рис. 13. Реализация значений продольной силы в элементе 447 в течение года

Таблица № 2

№ элемента	450		403		401		447	
Усилие в элементе	M (Н*м)	N (Н)	M (Н*м)	N (Н)	M (Н*м)	N (Н)	M (Н*м)	N (Н)
Максимальное усилие из 1000 значений	142553	433792	66314	1047487	-154	504385	887	-863715
Минимальное усилие из 1000 значений	21179	167328	-11262	501484	-65	193374	386	-333015
Максимальное усилие, полученное методом предельных состояний	173792	439110	92918	965669	-146	519074	996	-874580

Необходимо отметить, что график на рис. 3 показывает распределение запасов воды в снежном покрове в течение самой снежной зимы, где максимум снеговой нагрузки составляет 249.2 кгс/м^2.

Используя коэффициенты перехода от нагрузки к усилиям (к N и M), находим усилия в каждом расчетном элементе от снеговой нагрузки. Для проверки достоверности статистического моделирования снеговой нагрузки на территории Республики Татарстан было выполнено проверочное моделирование годовых максимумов снеговой нагрузки в течение 40 лет для территории города Казани. 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 (табл. 1).

Для статистического моделирования ветровой нагрузки использованы значения повторяемости различных градаций скорости ветра, направления ветра и штилей за 1 год. Использовано равномерное распределение, полный интервал которого, принятый за 100 %, разбит на подынтервалы, соответствующие по своей ширине проценту повторяемости различных интервалов соответственно скорости ветра, направлению ветра и штилям. На рис. 4 представлена диаграмма распределения скоростей ветра в течение года. Используя формулу перехода от скорости ветра к ветровому давлению, получено распределение давления ветра на расчетную раму.

Для статистического моделирования крановой нагрузки была представлена функция положения кранов в виде равномерного распределения. Для того, чтобы имитировать работу и загруженность крана, был представлен коэффициент работы крана по грузоподъёмности в виде распределения. Также в моделировании крановой нагрузки были использованы значения ординат линии влияния для вычисления реакции от проезжающего через расчетную ось крана.

Полученные результаты моделирования крановой нагрузки представлены в диаграмме на рис. 5. Распределение усилий в каждом расчетном элементе от действия отдельной нагрузки определялось умножением распределения нагрузки на коэффициент перехода от нагрузки к усилию. Реализации расчетных усилий определены как суммы реализаций усилий от отдельных нагрузок.

На графиках (рис. 6-14) приведены реализации усилий от суммарных нагрузок на каркас здания. При этом в качестве снеговой нагрузки использован наибольший возможный по величине максимум снегового давления 249.2 кгс/м^2.

Для оценки максимальных и минимальных усилий, действующих в рассматриваемых элементах, составлена сводная сравнительная таблица (табл. 2), в которой указаны усилия в элементах при расчете их обычным методом в программном комплексе ЛИРА, и максимальные и минимальные усилия, взятые из распределения усилий в элементах в течение года, полученные методом статистического моделирования.

Максимальное расхождение между усилиями, полученными обычным методом расчета, и максимальными усилиями, полученными методом статистического моделирования, составляет 11 %.

С помощью статистического имитационного моделирования работы несущих элементов конструкций можно объективно точнее решить задачу сочетания усилий от нескольких нагрузок, наглядно представить распределение усилий в них в течение года, оценить и проанализировать, какие нагрузки оказывают на элемент основное действие в данный момент времени. Предложенный метод расчета помогает решить проблему усиления конструктивных элементов зданий или проведения капитального ремонта в оптимальные сроки.

Литература

1. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / Гордеев В.Н., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2007. – С. 146-180.
2. Динамика снежного покрова на территории Татарстана во второй половине XX столетия / Батршина С.Ф. – Казань: Изд-во КГУ, 2005. – С. 8-99.
3. Савельев В.А., Малый В.И., Павлов А.Б. Предложения по назначению расчетной снеговой нагрузки // Промышленное и гражданское строительство. Труды ЦНИИПСК им. Мельникова. – М., 2004.

УДК 624.02.80

Б.С. Соколов – доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, заведующий кафедрой железобетонных и каменных конструкций

Тел.: (843) 510-47-05, e-mail: sokolov@ksaba.ru

А.Б. Антаков – кандидат технических наук, доцент

К.А. Фабричная – ассистент

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИССЛЕДОВАНИЯ КЛАДОК ИЗ ПУСТОТЕЛОГО КИРПИЧА 1,4 НФ

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся результаты исследований каменных кладок из пустотного керамического кирпича. Целью исследований является разработка методики расчета на основе теории сопротивления анизотропных материалов при сжатии, отражающей особенности напряженно-деформированного состояния и характера разрушения каменных кладок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: каменная кладка, прочность, керамический кирпич, теория.

B.S. Sokolov – doctor of technical science, professor, corresponding member of the RAABS, head of the department of Reinforced-Concrete and Masonry Structures

Tel.: (843) 510-47-05, e-mail: sokolov@ksaba.ru

A.B. Antakov – candidate of technical science, associate professor

K.A. Fabrichnaya – assistant

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

RESEARCH OF MASONRY FROM A HOLLOW BRICK

ABSTRACT

In article results of researches jf masonrys from a hollow ceramic brick are resulted. The parpose of researches is working out of a design procedure on the basis of the theory of anisotropic materials at the compression, reflecting feature of the is intense-deformed condition and character of destruction of masonrys.

KEYWORDS: masonry, strength, ceramic brick, the theory.

На кафедре железобетонных и каменных конструкций КазГАСУ выполнены комплексные исследования кладок из пустотного кирпича формата 1,4 НФ в соответствии с классификацией ГОСТ530-2007 [3]. Необходимость проведения работ обусловлена двумя основными причинами:

- предприятия РТ приступили к выпуску кирпича, пустотность которого превышает нормативные показатели СНиП II-22-81* [1]. Выпускаются материалы двух типов: 32-хдырчатый, с пустотностью 43 % и диаметром отверстий 20 мм, соответствующий номенклатуре ГОСТ [3] и 18-тидырчатый, с пустотностью 35 %, диаметром отверстий 30 мм по ТУ 5741-001-72646104-2008 [8]. Поэтому для использования данной продукции при строительстве зданий и сооружений необходимо удостовериться в соответствии свойств кладок требованиям, предъявляемым к прочности и деформативности конструктивных элементов;

- для обеспечения однородных показателей теплопроводности кладки в горизонтальный растворный шов могут вводиться специальные термовкладыши из теплоэффективных материалов, а прочностные и деформативные характеристики подобных кладок ранее не исследовались.

В соответствии с указанными причинами запланированы и проведены 2 этапа исследований: первый – оценка прочностных характеристик материалов и сплошных кладок, второй – исследование кладок с теплоэффективными включениями. В данной статье приводятся результаты первого этапа исследований.

Целью проведения настоящих исследований является разработка методики расчета кладок на основе теории сопротивления анизотропных материалов сжатию для использования при проектировании зданий.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

- определение прочностных характеристик кирпича обоих типов на осевое сжатие, изгиб, срез; прочность используемого для кладки раствора на сжатие;

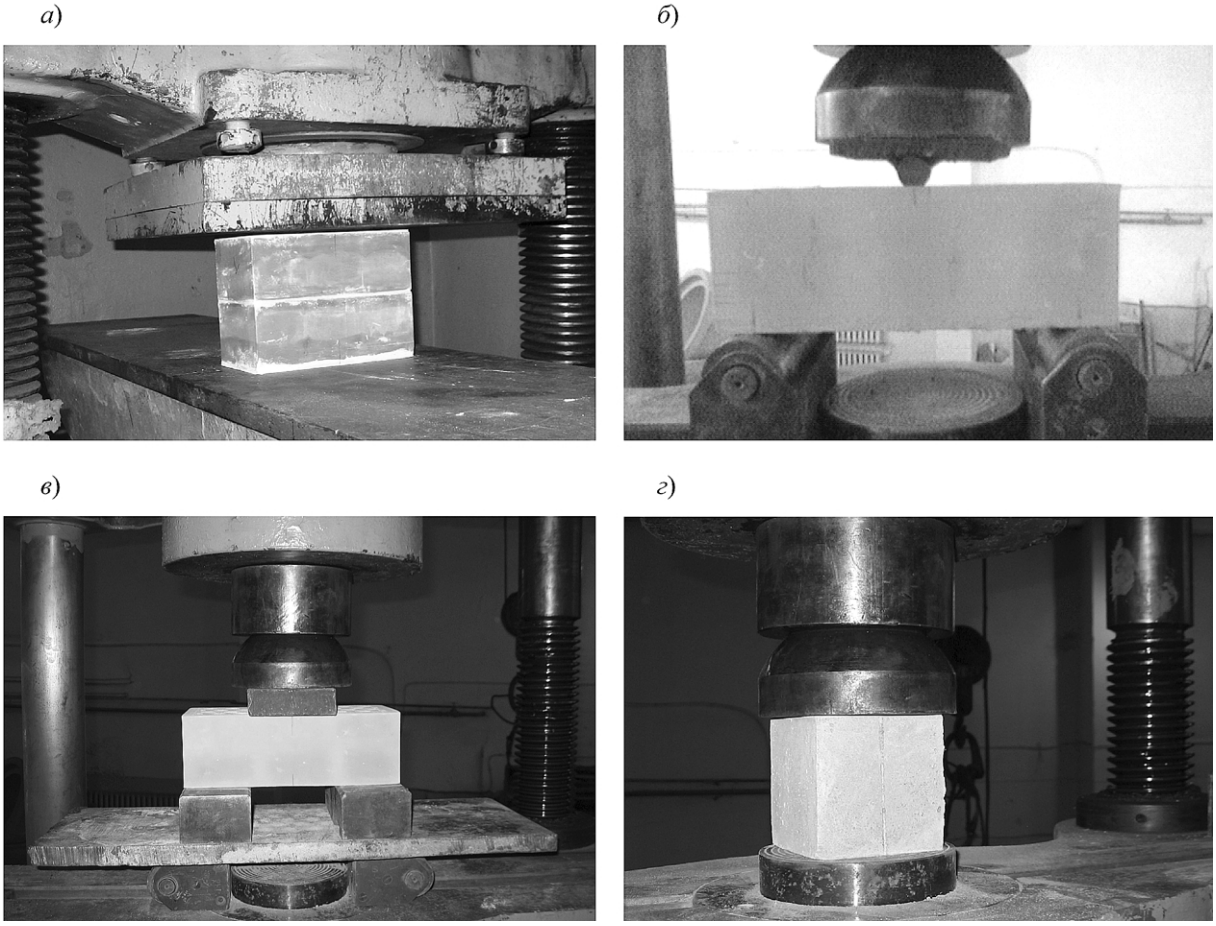


Рис. 1. Испытания образцов кирпича (*а, б, в*) и раствора (*г*)

- изготовление опытных образцов кладки;
- проведение испытаний образцов кладки для определения трещинообразующих и разрушающих нагрузок, прочности и модуля упругости, изучения характера разрушения;
- обработка результатов испытаний;
- сопоставление экспериментальных и теоретических данных;
- разработка рекомендаций по проектированию каменных кладок из пустотного кирпича.

Для определения прочности кладки по действующим нормативным документам [1, 2] проведены испытания каменных материалов с целью получения прочностных характеристик кирпича на сжатие и изгиб в соответствии с ГОСТ 8462-85 [9] и прочности раствора на сжатие по ГОСТ 5802-86 [10] (рис. 1 а, б, г). Для определения прочности и трещиностойкости кладки по методике, разработанной на основе теории сопротивления анизотропных материалов сжатию [5], дополнительно выполнены испытания камней на срез и установлены соотношения прочностных характеристик $R_{изг}$, $R_{ср}$, (рис. 1в). Испытания проведены на гидравлических прессах ИПС-200 и ГРМ-100. Для оценки влияния стеклопластиковых сеток, применяемых для предотвращения заполнения пустот кирпичей раствором, выполнены образцы с сетками в среднем растворном шве.

Результаты испытаний и соотношения прочностных характеристик кирпичей приведены в таблицах 1 и 2.

В соответствии с поставленными задачами испытаны каменные столбы сечением 25×38 см и высотой 105 см, отличающиеся видом кирпича, при марке цементно-песчаного раствора М100 со сплошным заполнением горизонтального растворного шва (рис. 2а). При изготовлении образцов в каждом ряду укладывалась стеклопластиковая сетка. Испытания образцов кладки на центральное сжатие производились на гидравлическом прессе ИПС-200. Для измерения продольных и поперечных деформаций кладки на боковые поверхности образцов устанавливались мессуры с индикаторами часового типа (рис. 2б).

В ходе испытаний образцов кладки определены величины продольных и поперечных деформаций кладки, трещинообразующих и разрушающих нагрузок, изучен характер разрушения образцов.

В таблице 3 приведены основные характеристики опытных образцов кладок и значения трещинообразующих и разрушающих нагрузок, временных сопротивлений кладок сжатию.

Исследование характера трещинообразования и

Таблица 1

Сводная таблица результатов испытаний кирпича

Вид кирпича	Сопротивления кирпича		
	сжатию $R_{сж.}$, МПа,	изгибу $R_{изг}$, МПа	срезу $R_{ср}$, МПа
ГОСТ 530-2007	21,99 14,54*	2,56	1,19
ТУ5741-001-72646104-2008	15,24 16,37*	2,01	1,26

* Образцы с сетками в горизонтальных швах.

Таблица 2

Соотношение прочностных характеристик кирпичей

Вид кирпича	$R_{изг}$ / $R_{сж}$	$R_{ср}$ / $R_{сж.}$,
ГОСТ 530-2007	0,12	0,054
ТУ5741-001-72646104-2008	0,13	0,082

а) *б*)

Рис. 2. Опытные образцы серий 1 (*а*) на стадии изготовления и подготовленные к испытаниям (*б*)

Таблица 3

Основные характеристики серий образцов и результаты испытаний

№ серии	Материалы кладки		Среднее значение трещинообразующей нагрузки N_{crc}, кН	Среднее значение разрушающей нагрузки $N_{разр}$, кН	Среднее значение временного сопротивления кладки $R_{u,ср}$, МПа
	Кирпич	Раствор			
1	ГОСТ*	М100	450	710,0	7,47
2	ТУ**	М100	500	620,0	6,52

*, ** материалы, соответствующие ГОСТ530-2007 [3] и ТУ5741-001-72646104-2008 [9] соответственно.

разрушения показало, что в целом процесс разрушения идентичен зафиксированному при испытаниях кладок из полнотелых кирпичей. К особенностям исследуемых кладок следует отнести относительно позднее трещинообразование при (0,6-0,75 $N_{разр}$) и меньшие значения коэффициента Пуассона. Отличительной чертой кладок из пустотных кирпичей являются отслоения наружных стенок кирпичей 4-5 рядов и образование множественных вертикальных трещин, равномерно распределяющихся в теле образца (рис. 3).

Установлено, что использование стеклопластиковой сетки в горизонтальных швах незначительно влияет на прочностные свойства кладки, однако отказ от ее применения при использовании обычных цементно-песчаных растворов приводит к снижению теплотехнических характеристик кладки в целом, за счет заполнения пустот кирпича (рис. 4).

На основе полученных данных разработана методика расчета каменных кладок на основе теории сопротивления анизотропных материалов при сжатии [5], с учетом пустотности кирпичей.

Оценка трещиностойкости и несущей способности выполняется с использованием выражений расчетного аппарата физической модели разрушения анизотропных материалов при сжатии [5-7].

Расчет по прочности проводят из условия:

$$N \le N_{ult} = (N_t \cdot \cos a + 2N_{sh}) / \sin a + N_{ef}, \quad (1)$$

где N – продольное усилие от внешних расчетных нагрузок;

а) *б)*

Рис. 3. Характер повреждения кладки опытных образцов – отслаивание наружных стенок нескольких рядов кладки (а), равномерное распределение вертикальных трещин в материале (б)

а) *б*)

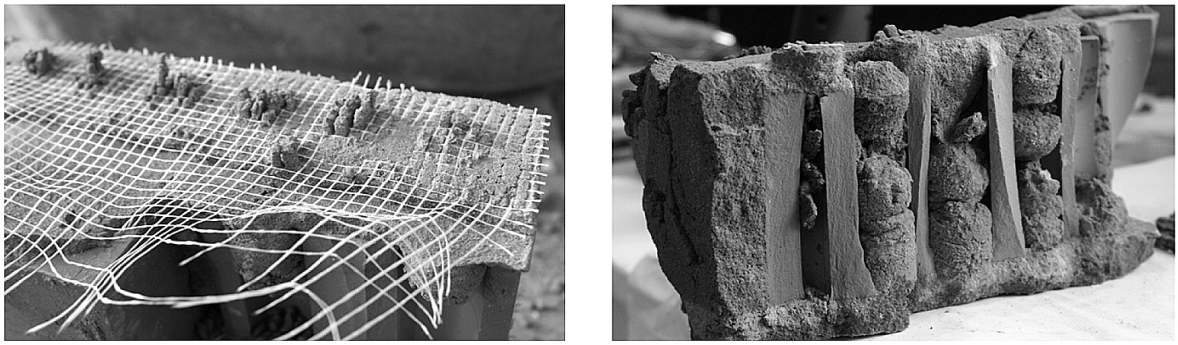


Рис. 4. Характер заполнения пустот в кирпиче – с использованием сетки (а) и без нее (б)

Таблица 4

Сравнение экспериментальных и теоретических результатов

Номер образца	Опытные данные	Несущая способность	
	$N_{разр}$, кг	$N_{снип}/N_{разр}$	$N_{модель}/N_{разр}$
1.1	69000	0.76	0.94
1.2	73000	0.73	0.93
2.1	52000	0.83	1.11
2.2	72000	0.6	0.81

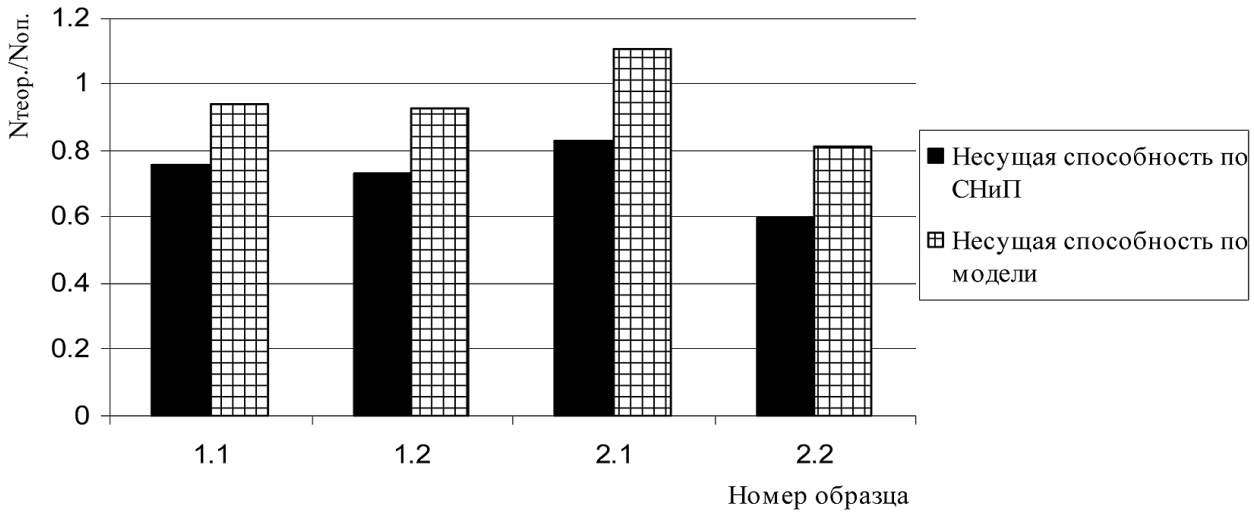


Рис. 5. Сравнение экспериментальных и теоретических результатов

N_{ul} – несущая способность элемента;

N_{sh}, $N_{ef,}$ N_t – усилия, воспринимаемые кладкой соответственно в зонах сдвига, раздавливания и отрыва.

Усилия, воспринимаемые кладкой, определяются по следующим формулам:

$$N_{sh} = R_{sh} A_{sh};\quad (2)$$

$$N_{ef} = RA_{ef},\quad (3)$$

$$N_t = R_t A_{bt},\quad (4)$$

где R_{sh}, R_t – расчетные сопротивления кирпича сдвигу (срезу) и растяжению;

R_{ef} – расчетное сопротивление кладки сжатию, определенное по табл. 2 [1];

A_{sh}, A_{ef}, A_{bt} – площади соответственно сдвига (среза), раздавливания и отрыва.

Расчетные площади определяются с вычетом растворных швов по формулам:

$$A_{sh} = a \cdot b \cdot (1 + \sin^2 a) \cdot cosa,\quad (5)$$

$$A_{ef} = a \cdot b \cdot \sin^4 a,\quad (6)$$

$$A_{bt} = 2A_{t1} + A_{t2}.\quad (7)$$

Площадь поверхности растяжения определяется с учетом разности сторон и перевязки кирпичей в сечении по формулам:

$$A_{t1} = (h - b \cdot \sin a \cdot \cos a) \cdot a / 2,\quad (8)$$

$$A_{t2} = (h - a \cdot \sin a \cdot \cos a) \cdot b / 3.\quad (9)$$

где h – высота столба; a, b – меньший и больший размеры сечения столба соответственно.

Сопоставление опытных и теоретических данных несущей способности опытных образцов, полученных по представленной методике и определенных по СНиП [1, 2] приведено в таблице 4 и на рис. 5.

Таким образом, впервые проведены исследования прочности кладок из кирпича 1,4 НФ, выпускаемого заводом «Ключищенская керамика» по [3, 8]. Разработана методика расчета данных кладок на основе теории сопротивления анизотропных материалов при сжатии, отражающая характер и физические параметры разрушения кладки. Сравнение опытных и теоретических данных показало удовлетворительную сходимость результатов, тогда как показатели, полученные по СНиП [1], занижают фактическую несущую способность до 30 %.

Литература

1. СНиП II-22-81*. Каменные и армокаменные конструкции. Нормы проектирования // Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1999.
2. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81) // ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.
3. ГОСТ 530-2007. Кирпич и камни керамические. Технические условия.
4. Соколов Б.С. Теоретические основы сопротивления бетона и железобетона при сжатии // Известия вузов. Строительство, 1993, № 9. – С. 39-42.
5. Соколов Б.С. Физическая модель разрушения каменных кладок при сжатии // Известия вузов. Строительство, 2002, № 9.
6. Каменные и армокаменные конструкции. Автоматизированный учебный комплекс. Для специальностей 270102, 270106 / Казанский государственный архитектурно-строительный университет; Составители Соколов Б.С., Антаков А.Б. – Казань, 2007. – 96 с.
7. Соколов Б.С., Антаков А.Б. Исследования каменных кладок, усиленных стальными обоймами. – Тольятти, 2009. – С. 167-173.
8. ТУ5741-001-72646104-2008. Кирпич пустотный керамический. Технические условия.
9. ГОСТ 8462-85. Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе.
10. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний.

УДК 539.3
Э.Р. Терегулова – ассистент
Тел.: 89033872193, e-mail: teregul@yandex.ru
В.Г. Низамеев – кандидат физико-математических наук, доцент
Тел.: (843) 510-47-24
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

МЕТОД ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ, ЛЕЖАЩИХ НА ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ

АННОТАЦИЯ

Предлагаемая работа посвящена разработке метода оценки несущей способности железобетонной пластины, лежащей на деформируемом основании и находящейся под действием заданных нагрузок. Пластина считается жёсткопластической, основание – упругим. Разработанная методика при помощи компьютерной программы численно реализована для прямоугольных плит. Выявлены закономерности влияния механических и геометрических параметров на поведение конструкции, а также закономерности образования пластических шарниров в зависимости от схемы приложения сосредоточенной силы. Определены условия, при которых не происходит отрыв плиты от основания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: несущая способность, железобетонная плита, деформируемое основание, жесткопластическое тело.

E.R. Teregulova – assistant
Tel.: 89033872193, e-mail: teregul@yandex.ru
V.G. Nizameev – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor
Tel.: (843) 510-47-24
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

METHOD OF AN ESTIMATION OF BEARING ABILITY OF THE FERRO-CONCRETE PLATE WHICH ARE LAYING ON THE DEFORMABLE BASIS

ABSTRACT

Offered work is devoted to development of a method of an estimation of bearing ability of the ferro-concrete plate which are laying on the deformable basis and being under action of set loadings. The plate is considered rigid-plastic, the basis – elastic. The developed technique by means of the computer program is numerically realized for rectangular plates. Laws of influence of mechanical and geometrical parameters on behavior of a design are revealed, laws of formation of plastic hinges depending on the scheme of the appendix concentrated are revealed. Take of plate conditions had determined.

KEYWORDS: bearing ability, ferro-concrete plate, deformable basis, rigid-plastic body.

Для определения несущей способности плит, лежащих на деформируемом основании, используем кинематический принцип теории предельного состояния. Для плиты принята модель жесткопластического тела, для основания – модель Винклера. Таким образом, реакция основания определяется по формуле (1).

$$r(x, y) = -k\,w(x, y), \quad (1)$$

где k – коэффициент постели; $w(x, y)$ – вектор перемещения срединной поверхности плиты (рис.1), которое состоит из осадки плиты w_q под действием собственного веса (q_k) или от другой равномерно распределенной не параметрической нагрузки, осадки w_0 от внешних нагрузок как абсолютно жесткого тела и перемещений w_p, связанных с появлением пластических деформаций плиты в предельном состоянии:

$$w = w_q + w_0 + w_p . \quad (2)$$

Величина w_q определяется выражением:

$$w_q = -q_k / k \quad (3)$$

– она является постоянной величиной как по площади плиты, так и по отношению к параметру нагружения.

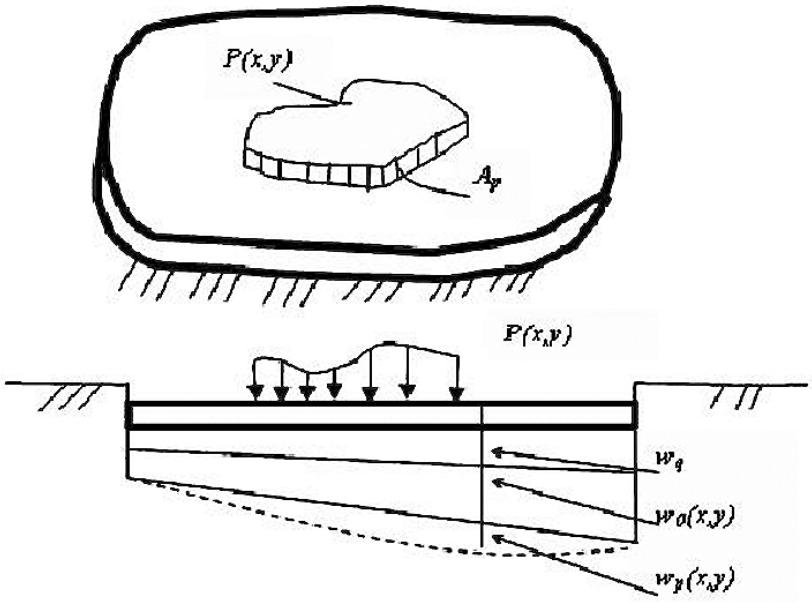


Рис. 1. Расчётная модель

Величина w_0 определяется выражением:

$$w_0 = a_0 + b_0 x + c_0 y \,. \quad (4)$$

Коэффициенты функции прогибов w_0 в выражении (4) находятся из уравнений статики для плиты, составленных в произвольной системе координат для параметрических нагрузок и соответствующей реакции основания:

$$\sum z = 0,$$

$$-k\iint_A (a_0 + b_0 x + c_0 y)\,dA + \iint_{A_p} p(x,y)\,dA = 0$$

$$\sum mom_x = 0,$$

$$-k\iint_A (a_0 + b_0 x + c_0 y)\,y\,dA + \iint_{A_p} p(x,y)\,y\,dA = 0 \quad (5)$$

$$\sum mom_y = 0,$$

$$-k\iint_A (a_0 + b_0 x + c_0 y)\,x\,dA + \iint_{A_p} p(x,y)\,x\,dA = 0$$

В уравнениях (5) интегрирование производится по площади срединной поверхности A

и поверхности приложения нагрузки A_p. Система является линейной и приводится к виду:

$$Aa_0 + S_y b_0 + S_x c_0 = R/k,$$

$$S_x a_0 + J_{xy} b_0 + J_x c_0 = M_x/k, \quad (5')$$

$$S_y a_0 + J_y b_0 + J_{xy} c_0 = M_y/k,$$

где A – площадь поверхности плиты, $S_x = \iint_A y\,dA, \quad S_y = \iint_A x\,dA$ – статические моменты площади, занимаемой поверхностью плиты; $J_x = \iint_A y^2\,dA, \quad J_y = \iint_A x^2\,dA, \quad J_{xy} = \iint_A xy\,dA$ – её моменты инерции; R – равнодействующая внешней параметрической нагрузки $p(x,y)$; M_x, M_y – моменты относительно осей x и y от внешней параметрической нагрузки $p(x,y)$.

Параметрическую нагрузку можно представить в виде:

$$\bar{p}(x,y) = tp_0(x,y), \quad (6)$$

где t – параметр нагружения, $p_0(x,y)$ – функция распределения нормированной нагрузки, тогда

$$R = tR_0, \quad M_x = tM_{x0}, \quad M_y = tM_{y0}. \quad (7)$$

Систему координат oxy можно подобрать так, что они будут главными центральными осями. В этом случае решение системы $(5')$ представится в виде:

$$a_0 = \frac{tR_0}{kA}, \quad b_0 = \frac{tM_{y0}}{kJ_y}, \quad c_0 = \frac{tM_{x0}}{kJ_x}. \quad (8)$$

В общем случае для определения коэффициентов a_0, b_0, c_0 необходимо решить систему $(5')$. В любом случае w_0 можно представить виде следующей функции:

$$w_0 = tr_0(S, S_x, S_y, J_x, J_y, J_{xy}, R_0, M_{x0}, M_{y0}). \quad (9)$$

На основе принципа возможных перемещений

$$W = V, \quad (10)$$

где V – работа внутренних сил, W – работа внешних параметрических сил на кинематически возможных перемещениях $\tilde{w}_p$ и состоит из работы параметрической нагрузки и работы реакции основания.

$$W = t(\iint_{A_p} p_0 \tilde{w}_p dA + k\iint_A r_0 \tilde{w}_p dA + k\iint_A w_p \tilde{w}_p dA) \quad (11)$$

В уравнение (10) не входит работа, совершаемая непараметрическими равномерно распределенными нагрузками (собственный вес плиты и т.д.), так как она компенсируется работой, совершаемой соответствующей реакцией основания.

Работу внутренних сил можно представить в виде:

$$V = \iint_A M_i \tilde{q}_i dA + \sum_{j=1}^{m} \int_{l_j} M_i \Delta\tilde{q}_i dl, \qquad (i = \overline{1,n}), \quad (12)$$

где $\tilde{q}_i$ – обобщенные деформации, M_i – ассоциированные с ними из условия текучести обобщенные напряжения. Второе слагаемое в (12) представляет работу внутренних сил на разрывах обобщенных деформаций.

Таким образом, задача определения несущей способности плит сводится к задаче минимизации функционала:

$$t = \iint_A M_i q_i dA + \int_{l_j} M_i \Delta q_i dl, \quad (13)$$

при соблюдении условий нормирования перемещений w_p:

$$\iint_{A_p} p_0 w_p dA + \iint_A r_0 w_p dA = 1, \quad (14)$$

и условия текучести:

$$M_{11}^2 - M_{11}M_{22} + M_{22}^2 + 3M_{13}^2 = M_T^2. \quad (15)$$

Здесь M_T – предельный момент, равный $\frac{s_T h^2}{4}$;

h – толщина пластины; s_T – предел текучести.

Для реализации изложенной выше методики разработан алгоритм и создана компьютерная программа расчёта. Рассмотрен ряд примеров о расчёте прямоугольных железобетонных плит с защемлённым и свободным контуром, при действии сосредоточенной силы, приложенной в любой её точке. В качестве предельного состояния для любого сечения плиты принято возникновение цилиндрического шарнира текучести, при котором образуется двугранный угол перелома любой величины при постоянном предельном значении изгибающего момента в этом шарнире [1].

Для случая шарнирного опирания принимались схемы разрушения, приведённые в таблице. Они получены путём упрощения известных схем, использованных А.Р. Ржаницыным в работе [2].

Были рассмотрены плиты со следующими соотношениями сторон:

$l = a/b = 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0, 2.25, 2.5, 2.75, 3.0.$

Расчёты велись с разбивкой 5*5. Для каждой точки приложения силы получено четыре значения предельной нагрузки – $P^1{}_{np}, P^2{}_{np}, P^3{}_{np}, P^4{}_{np}$, соответствующие четырём схемам разрушения (табл.), наименьшее из которых, согласно основному принципу кинематического метода определения предельной нагрузки, считаем наиболее близким к истинному значению. Таким образом, из всех исследованных схем разрушения выбирается та, которая даёт наименьшее значение разрушающей нагрузки. Это приводит к тому, что плита делится на зоны, приложения силы в которых приводят к той или другой схеме разрушения. Окончательное расположение зон с различными схемами разрушения прямоугольных пластинок показано на рис. 3. Эти зоны качественно совпадают с результатами [3]. При соотношении сторон l >2.25 схема разрушения для центральной части плиты заменяется схемой 4.

Для плиты со свободным контуром предполагается использовать схемы разрушения, показанные в таблице 1. Рассчитаны плиты с соотношениями сторон $l = a/b = 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0, 2.25, 2.5, 3.0.$

Далее определены условия, при которых не происходит приподнимания плиты от основания. Рассматривая плиту как абсолютно жёсткое тело (жёсткий штамп), проведём анализ осадок плиты под воздействием параметрической внешней нагрузки при наличии равномерно распределённой нагрузки типа собственного веса плиты.

Условием отсутствия отрыва, то есть отсутствия отрицательных перемещений, является:

$$w_0(x, y) = a_0 + b_0 x + c_0 y \le w_q, \quad (16)$$

где w_0 – осадка плиты под воздействием параметрической нагрузки; w_q – осадка от собственного веса; коэффициенты a_0, b_0, c_0 условия (16) должны удовлетворять системе уравнений (5) или проще (17).

Далее рассмотрим прямоугольную плиту под воздействием сосредоточенной силы P. В этом случае условие (16) достаточно проверить лишь для угловых точек, а уравнение (8) представятся в виде

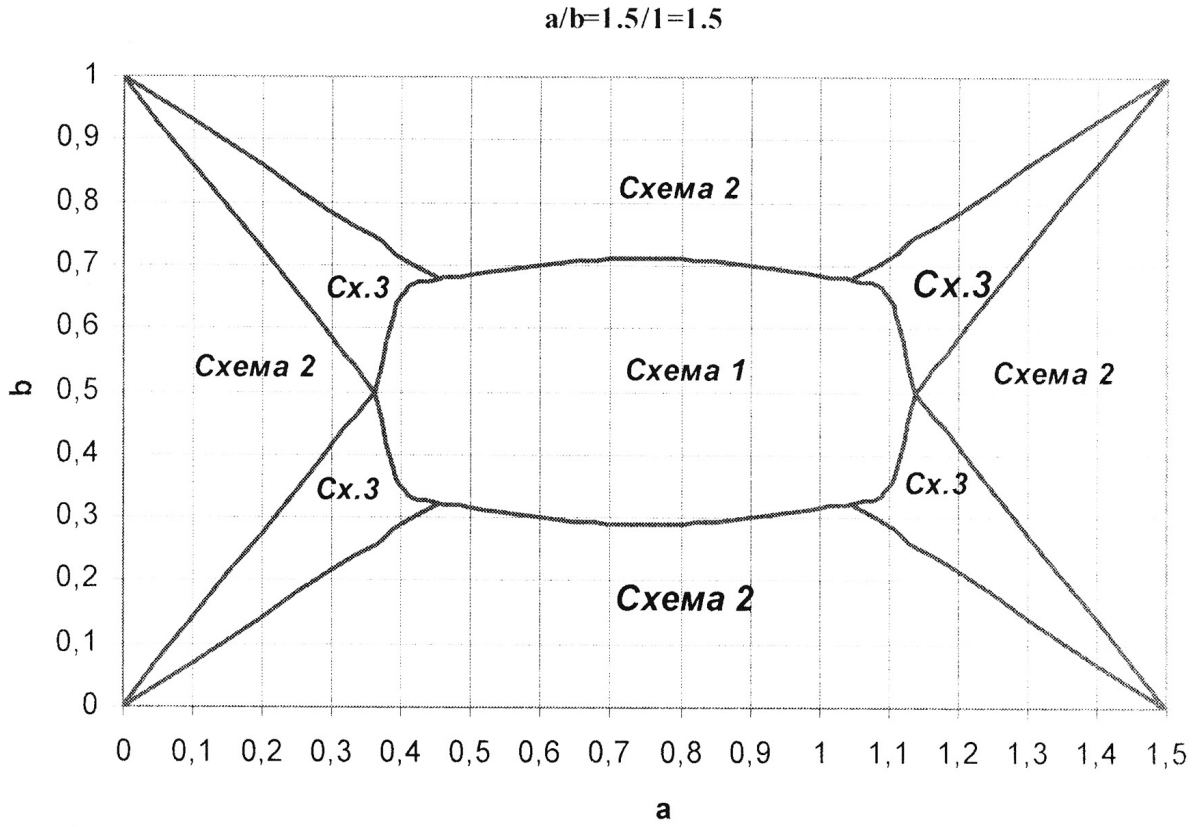


Рис. 2. Зоны действия расчётных схем для плиты с шарнирным опиранием сторон

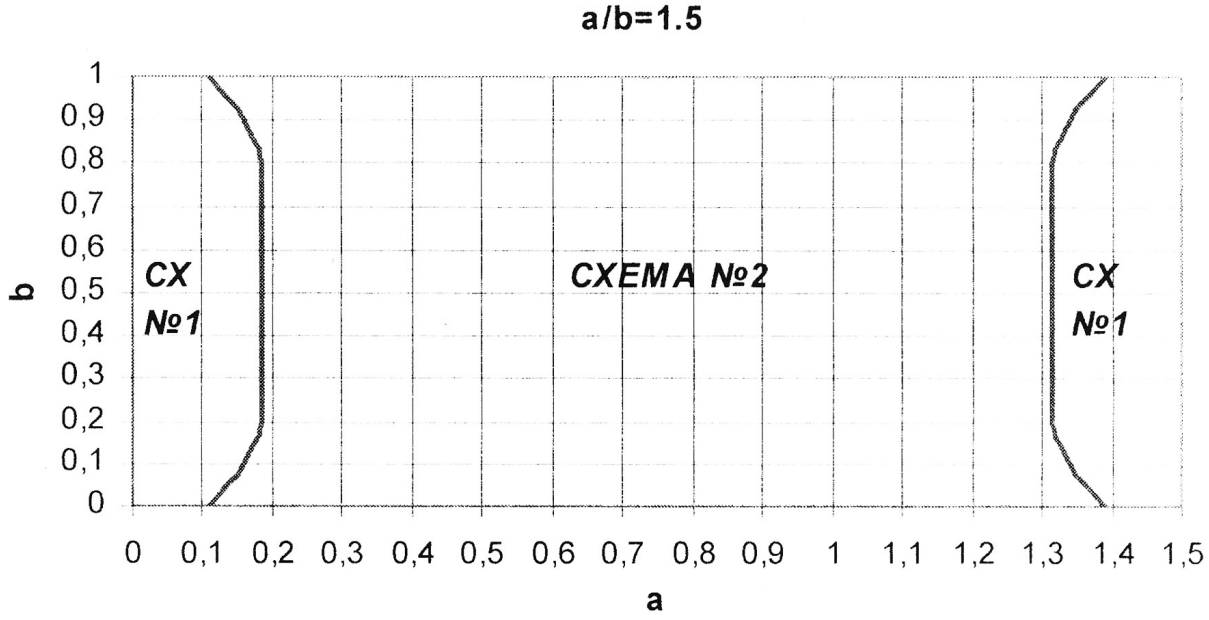
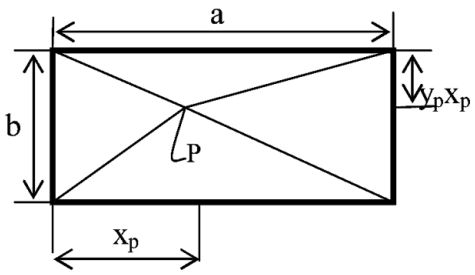
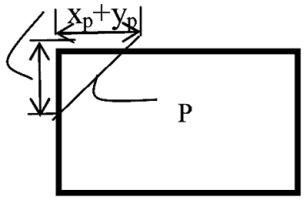
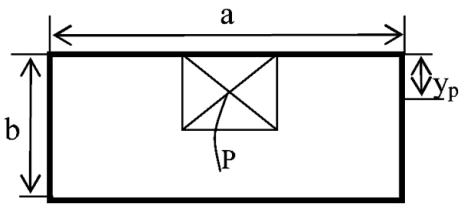
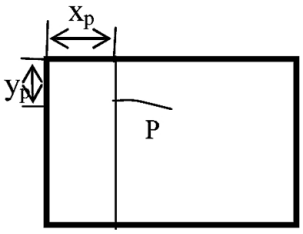
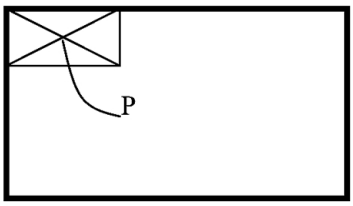
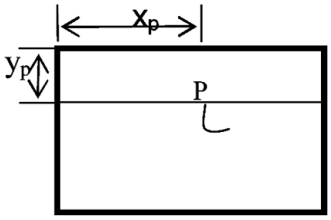
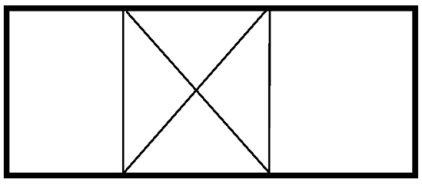


Рис. 3. Зоны действия расчётных схем для плит со свободным контуром

Таблица

Схема разрушения для шарнирно опертых плит	Схемы разрушения для плит со свободным контуром
Схема 1  Нагрузка приложена в центральной части плиты	Схема 1 
Схема 2  Нагрузка приложена вблизи края плиты	Схема 2 
Схема 3  Нагрузка приложена вблизи вершины угла	Схема 3 
Схема 4  Нагрузка приложена в центральной части при a/b > 2.25	

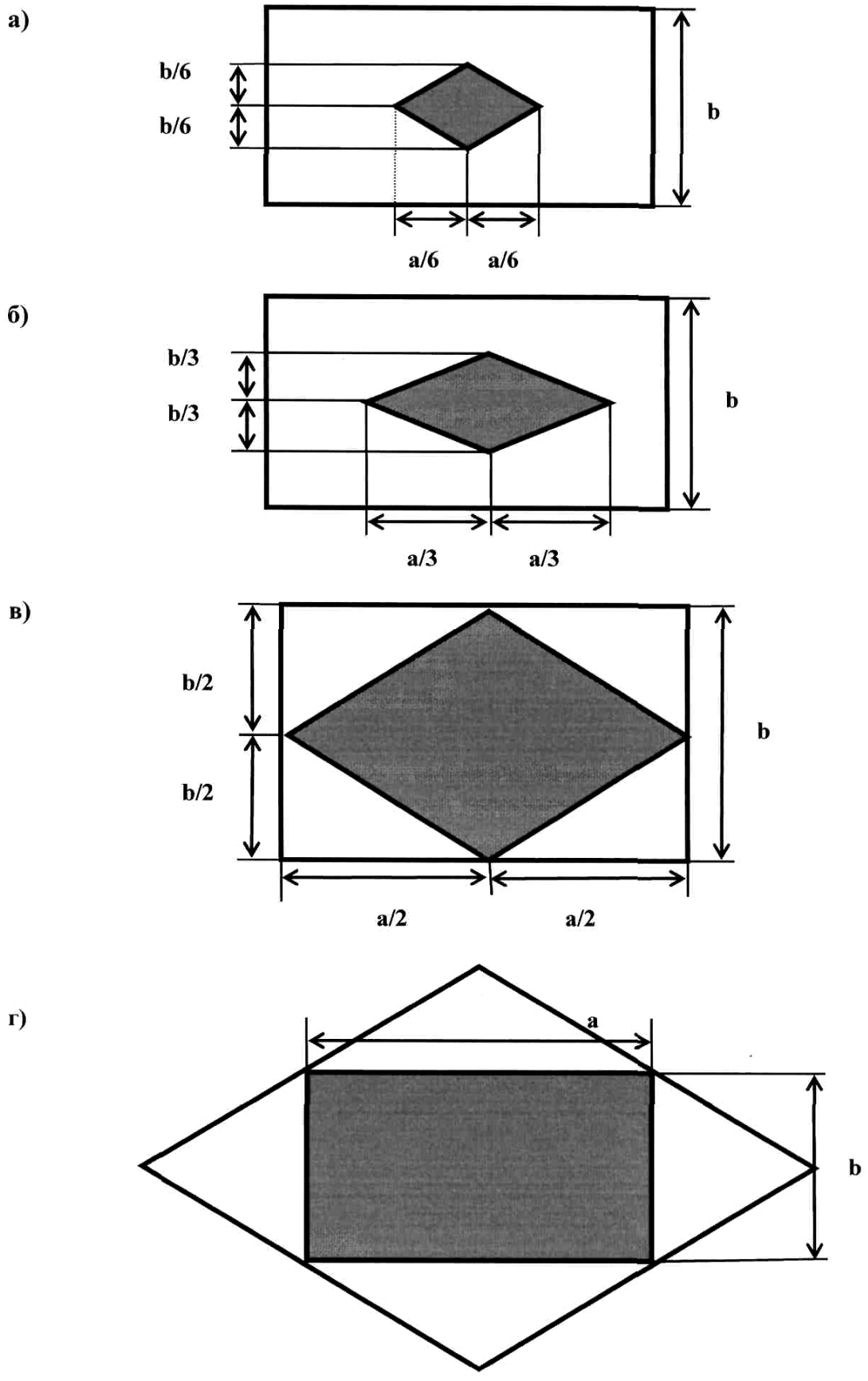


Рис. 4. Различные случаи нагружения плиты

$$a_0 = \frac{P}{kab}, \quad b_0 = \frac{Px_p 12}{ka^3 b}, \quad c_0 = \frac{Py_p 12}{kb^3 a}. \quad (17)$$

Для угловых точек $x_p = a/2,\ y_p = b/2$ выражение для осадки плиты принимает вид:

$$w(\frac{a}{2},\frac{b}{2}) = \frac{P}{k}(\frac{1}{ab} + \frac{6x_p}{a^2 b} + \frac{6y_p}{b^2 a}) = -\frac{q_0}{k} \quad (18)$$

из (18) получаем:

$$1 + \frac{6x_p}{a} + \frac{6y_p}{b} = -\frac{q_0 ab}{P} \quad (19)$$

При $x_p = 0$:

$$y_p = \left(-\frac{q_0 ab}{P} - 1\right)\frac{b}{6} \quad (20)$$

При $y_p = 0$:

$$x_p = \left(-\frac{q_0 ab}{P} - 1\right)\frac{a}{6} \quad (21)$$

Границы зоны, в которой не происходит отрыва краёв плиты от основания, зависят от соотношения между собственным весом и величиной приложенной нагрузки. Ниже рассмотрены различные варианты:

а) если собственный вес плиты принять равным нулю ($q_0 = 0$), тогда, $x_p = -a/6$, $y_p = -b/6$ (рис. 4 а).

б) если собственный вес равен приложенной нагрузке ($q_0 ab = P$), тогда $x_p = a/3$, $y_p = b/3$ (рис. 4 б).

в) если приложенная сила в два раза превышает собственный вес плиты ($q_0 ab = 2P$), тогда $x_p = a/2$, $y_p = b/2$ (рис. 4 в).

г) если приложенная нагрузка в пять раз превышает собственный вес плиты ($q_0 ab = 5P$), тогда $x_p = a$, $y_p = b$ (рис. 4 г).

Теперь, располагая значениями x_p, y_p для различных вариантов загружения (а-г), можно построить зоны, при нагружении которых не происходит отрыва плиты от основания. На рисунках 4 а-г (соответственно для вышеперечисленных случаев нагружения) показаны плиты, разделённые на зоны – при нагружении плиты в области серого цвета не происходит отрыва краёв плиты от основания.

Литература

1. Гвоздев А.А. Расчёт несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. – М.: Стройиздат, 1949. – 280 с.
2. Ржаницин А.Р. Расчёт сооружений с учётом пластических свойств материалов. – М.: Госстройиздат, 1954. – 288 с.
3. Ржаницин А.Р. Предельное равновесие прямоугольной пластинки при действии сосредоточенной силы, приложенной в любой точке // Сборник статей под ред. Ржаницина А.Р. Исследования по вопросам теории пластичности и прочности строительных конструкций. – М.: Госстройиздат, 1958. – С. 50-61.

УДК: 539.3
Н.М. Якупов – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией
А.А. Абдюшев – старший научный сотрудник
Тел.: (843) 272-42-45, e-mail: YZSRR@kfti.knc.ru
Лаборатория нелинейной механики оболочек Института механики и машиностроения Казанского научного центра Российской академии наук (ИММ КНЦ РАН)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕЧАЩИХ НАКЛАДОК НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПАНЕЛЕЙ С СИСТЕМОЙ ТРЕЩИН

АННОТАЦИЯ
Рассматривается панель с тремя параллельными трещинами. Описываются результаты исследований распределения интенсивности напряжений в такой панели в зависимости от длин трещин. Отмечается эффективность использования «лечащих накладок», а также возможность рационального размещения таких накладок. Приводятся выводы по результатам выполненной работы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трещина, пластина, разрушение конструкций, лечащие накладки, напряженно-деформированное состояние.

N.M. Yakupov – doctor of technical sciences, professor, chief laboratory
A.A. Abdiushev – senior staff scientist
Tel.: (843) 272-42-45, e-mail: YZSRR@kfti.knc.ru
Laboratory Nonlinear Mechanics of Shell Institute Mechanical engineers and Machine building of Kazan Scientific Centre of Russia Academy of Sciences (IMM KSC RAS)

INFLUENCE STUDY OF CURING BRACKETS ON TENSE-DEFORMED CONDITION OF PANELS WITH RIFT SYSTEM

ABSTRACT
Considered panel with three parallel rifts. Described results of studies of sharing an intensity of stresses in such panels depending on lengths of rifts. Noted efficiency of use “curing brackets”, as well as possibility of rational accomodation of such brackets. The results of executed work are included.

KEYWORDS: rift, plate, destruction of buildings, curing brackets, tense-deformed condition.

Известно, что одной из существенных причин разрушения конструкций является наличие концентраторов, при этом наиболее опасным концентратором является трещина, об этом отмечается, в частности, и в работах [1-3]. Появление трещины еще не означает разрушение конструкции. Разрушение произойдет в случае, когда длина трещины превысит критическую длину. То есть в промежутке определенного интервала времени до разрушения конструкций имеется возможность каким-то образом приостановить развитие трещины. Если для хрупких материалов этот промежуток времени очень незначителен, то для традиционных конструкционных материалов из стали имеется некоторое время для предотвращения катастрофического разрушения.

Одним из способов приостановки развития трещины является создание сжимающих усилий в дефектной области. Сжимающие нагрузки, в частности, можно создать, используя специальные накладки, изготовленные из термоориентированного материала – материала с памятью формы [2-4].

Для подтверждения эффективности способа ремонта трещин в тонкостенных оболочечных конструкциях по патенту на изобретение № 2310797 [4] было проведено исследование влияния «лечащих» накладок на напряженно-деформированное состояние панели с одной трещиной [2]. Для анализа использовался метод конечных элементов на базе расчетного комплекса ЭРА-ПК2000 [5].

В данной работе приводятся некоторые результаты численного исследования влияния накладок на напряженно-деформированное состояние панелей с системой трещин. Наличие нескольких трещин усложняет картину деформирования. Распределение напряженно-деформированного состояния зависит от размеров трещин и их расположения. Расположение и количество накладок также существенно влияют на распределение напряжений. Как и в работах [2, 3], для

анализа используется квадратный конечный элемент плоской задачи теории упругости с билинейной аппроксимацией поля перемещений [5].

В работе рассматривается панель прямоугольной формы, в которой имеется система разрезов (дефекты типа трещин). Для анализа напряженно-деформированного состояния одна четвертая часть рассматриваемой панели моделируется 50 тысячами конечных элементов (регулярная сетка конечных элементов 200x250). При этом разрезы формируются путем удаления конечных элементов, расположенных вдоль этих разрезов. Значения напряжения вычисляются в центрах тяжести конечных элементов. По вычисленным значениям компонент напряжений и интенсивности напряжения строятся картины распределения напряженного состояния. Далее производится расчет напряженно-деформированного состояния полученной модели панели с накладками и без накладок. Затем производится сравнение этих решений.

Было проведено исследование прямоугольной панели шириной 0.5 *м*, высотой 0.4 *м* и толщиной 1 *мм*. Материал панели – сталь, с характеристиками: модуль упругости $E = 2.1 \cdot 10^5 МПа$, коэффициент Пуассона $n = 0.3$. На противоположных горизонтальных кромках приложена равномерно распределенная растягивающая нагрузка $p = 1 Н/мм$.

Первая группа исследований посвящена определению напряженно-деформированного состояния панели с тремя параллельными горизонтальными трещинами. Горизонтальные трещины расположены с равномерным шагом и отступают от горизонтальных кромок панели на 0.1 *м*. Были рассмотрены случаи, когда длины всех трех трещин изменялись от 0 до 0.2 *м*. По полученным результатам был собран микрофильм, демонстрирующий изменения распределения интенсивности напряжений в зависимости от изменения длин трещин. Наблюдается интересная картина. В частности, при длинах трещин меньше одной трети рассмотренной максимальной длины трещины вблизи вершин всех трех трещин возникает концентрация напряжений с интенсивностью одного порядка. С увеличением длин трещин происходит перераспределение интенсивности напряжений. При этом в области вершин крайних трещин уровень интенсивности напряжений возрастает, а в области вершины средней трещины интенсивности напряжений падают. То есть средняя трещина экранируется крайними трещинами, и нагрузка от вершины одной крайней трещины передается на вершину другой крайней трещины. Область между двумя крайними трещинами находится в теневой зоне и практически слабо включается в работу по восприятию нагрузки, действующей на панель.

Выше сказанное подтверждается результатами второй группы исследований, которая посвящена определению напряженно-деформированного состояния панели с тремя параллельными горизонтальными трещинами с «лечащими» накладками, установленными в области центральной трещины. Параметры панели и трещин, как и в предыдущей группе исследований. Параметры накладок: ширина – 0.02 *м*, высота 0.1 *м*, толщина 1 *мм*, модуль упругости материала $E = 2.0 \cdot 10^4 МПа$, коэффициент Пуассона , удельная жесткость клея . Поперечная ось накладки совпадает с продольной осью центральной трещины. Накладки располагаются симметрично относительно вертикальной оси панели. Были рассмотрены случаи, когда расположение каждой накладки изменялось практически от наружной вертикальной кромки до центральной вертикальной оси панели.

На рис. 1 представлен график изменения относительной интенсивности напряжений в зависимости от положения накладок. Под относительной интенсивностью принято отношение максимальной величины интенсивности напряжений при рассматриваемом положении накладок к максимальной величине интенсивности напряжений, соответствующее наибольшему удалению накладок от трещины (расположение накладок по кромкам панели). На этом и последующих графиках ось абсцисс характеризует положение оси накладки на пластине. На этой оси дополнительно выделено положение накладки, при котором относительная интенсивность принимает минимальное значение. Кроме этого, прямая, проведенная под осью абсцисс, характеризует геометрию пластины, а утолщение соответствует трещине на пластине.

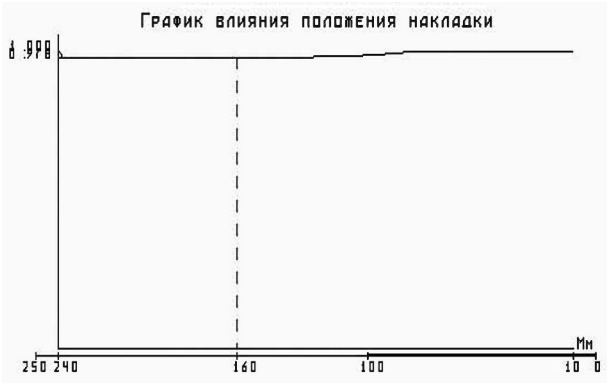


Рис. 1. Накладки расположены на средней трещине

Результаты исследований показывают, что наличие накладок и их расположение не оказывает сколь-нибудь значительное влияние, за исключением небольшого перераспределения интенсивности напряжений между крайними трещинами. По полученным результатам, как и для первой группы исследований, был собран микрофильм, демонстрирующий изменения

распределения интенсивностей напряжений в зависимости от изменения расположения накладок в области центральной трещины.

Третья группа исследований посвящена определению напряженно-деформированного состояния панели с тремя параллельными горизонтальными трещинами с «лечащими» накладками, установленными в области крайних трещин. Параметры панели, трещины и накладок приняты такими же, как и в предыдущей группе исследований. Поперечные оси накладок совпадают с продольной осью крайних трещин. Как и во второй группе исследований, накладки располагаются симметрично относительно вертикальной оси панели. Рассмотрены случаи, когда расположение накладок изменялось практически от наружной вертикальной кромки до центральной вертикальной оси панели. Результаты исследований показывают, что наличие накладок и их расположение оказывают существенное влияние на перераспределение интенсивности напряжений. При этом при расположении накладок вблизи вертикальных кромок максимальные интенсивности напряжений возникают в области вершин крайних трещин. При приближении накладок к вершинам трещин начинается перераспределение картины деформированного состояния: вблизи вершин крайних трещин интенсивности напряжений начинают падать, а вблизи вершин центральной трещины уровень интенсивности напряжений возрастает. При расположении накладок в области крайних трещин на удалении 22 *мм* от вершин трещин (78 *мм* от середины) наблюдается минимальная интенсивность напряжений в области вершин крайних трещин и максимальные интенсивности напряжений вблизи вершин центральной трещины. По полученным результатам, как и для первых двух групп исследований, был собран микрофильм, демонстрирующий изменения распределения интенсивности напряжений в зависимости от изменения расположения накладок в области крайних трещин. На рис. 2 представлен кадр из этого фильма. На рис. 3, как и на рис. 1, представлен график изменения относительной интенсивности напряжений в зависимости от положения накладок для рассматриваемого случая.

Четвертая группа исследований посвящена определению напряженно-деформированного состояния панели с тремя параллельными горизонтальными трещинами с «лечащими» накладками, установленными в области всех трех трещин. Параметры панели, трещины и накладок приняты такими же, как и в предыдущей группе исследований. Поперечные оси накладок совпадают с продольной осью крайних трещин. Как и в предыдущих группах исследований, накладки располагаются симметрично относительно вертикальной оси панели. Рассмотрены случаи, когда расположение накладок изменялось практически от наружной вертикальной кромки до центральной вертикальной оси панели. На рис. 4, как и на рис. 1 и 3, представлен график изменения относительной интенсивности напряжений в зависимости от положения накладок для рассматриваемого случая. Исследования показывают, что наличие накладок и их расположение оказывают значительное влияние на перераспределение интенсивности напряжений.

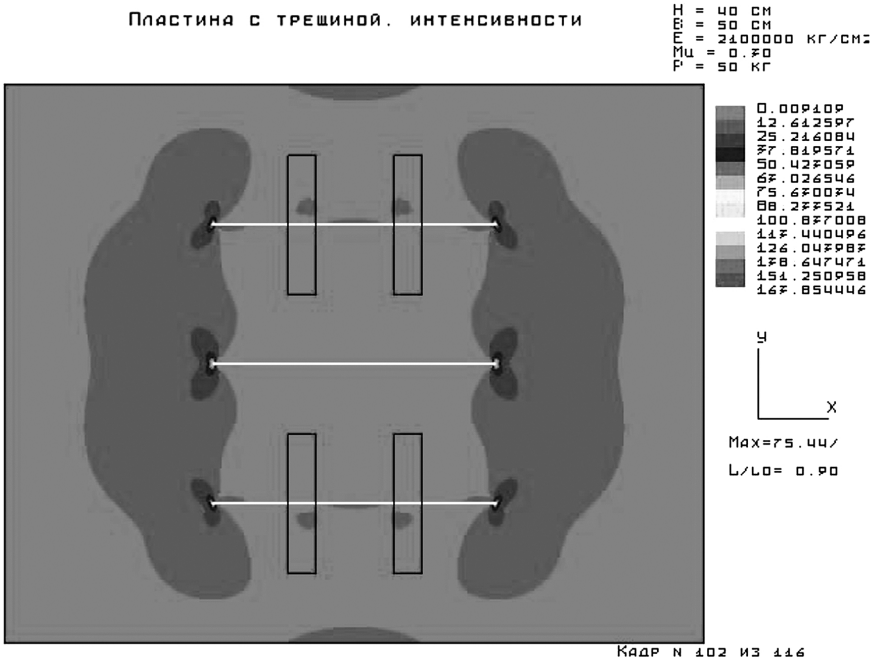


Рис. 2. Распределение напряжений при оптимальном положении “лечащих” накладок по крайним трещинам

Рис. 3. Накладки расположены на крайних трещинах

Рис. 4. Накладки расположены на всех трещинах

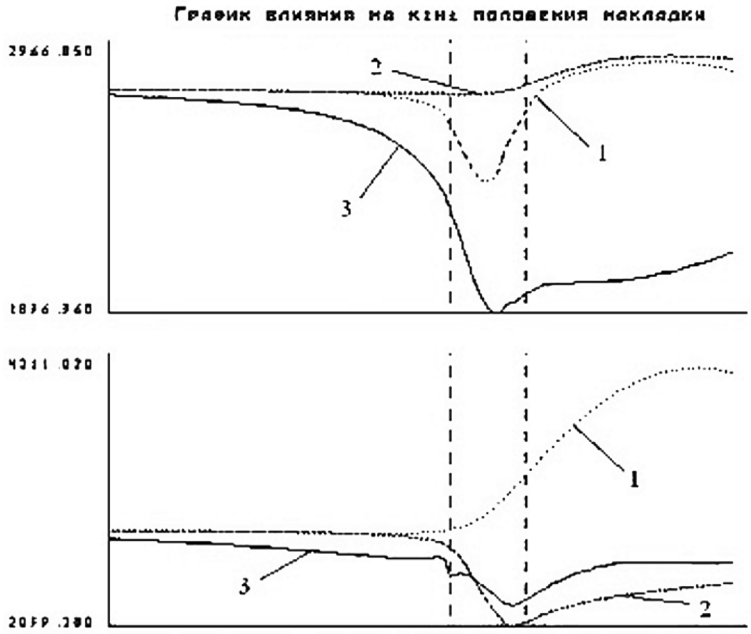


Рис. 5. Графики изменения величины K_I в зависимости от положения осей накладок (от крайнего – до центрального) на правой симметричной части панели

По полученным результатам линейных расчетов по МКЭ, как и в предыдущих группах исследований, был собран микрофильм, демонстрирующий изменение распределения как отдельных компонент тензора напряжений, так и их интенсивностей по формуле Мизеса в зависимости от изменения расположения накладок в области трещин.

Все проведенные численные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что исследуемая модель достоверно отражает качественную картину распределения напряжений по исследуемой области. Однако для количественной оценки влияния положения накладок необходимо использовать критерии механики разрушения [6].

С этой целью, по результатам тех же численных экспериментов, были определены зависимости коэффициентов интенсивности напряжений K_I от наличия и расположения накладок, изменения которых для крайних (верхний график) и центральной трещин (нижний график) представлены на рис. 5. При определении использовалась методика численного получения J-интегралов [7].

На рис. 5 показаны следующее кривые зависимостей коэффициентов интенсивности от положения и наличия накладок: 1 – накладки расположены только на центральной трещине; 2 – накладки расположены только на крайних трещинах; 3 – накладки расположены на всех трещинах. Пунктиром здесь выделена зона, в которой лечащая накладка, хотя бы частично, попадает на область интегрирования при вычислении K_I.

Выводы:

1. С увеличением длин трещин, когда они соразмерны с параметрами панели и дистанциями между трещинами, происходит перераспределение напряжений, причем в области вершин крайних

трещин уровень интенсивности напряжений возрастает, а в области вершин средней трещины интенсивности напряжений падают.

(Исследование K_I для данной группы тестов не проводилось).

2. Установка «лечащих» накладок в области центральной трещины (при соразмерности длины трещины с параметрами панели и дистанциями между трещинами) не эффективна, а по значениям K_I даже ухудшает сопротивляемость трещинообразованию.

3. Наличие накладок в области крайних трещин оказывает существенное влияние на распределение напряжений в конструкции, при этом K_I для крайних трещин практически не изменяется, а в центральной трещине – уменьшается.

4. Установкой «лечащих» накладок в области всех трещин можно влиять на распределение напряжений во всей области панели. И, варьируя расположением накладок, можно добиться минимального значения K_I, отвечающих за сопротивление материала росту трещин.

5. Проведенные исследования показывают, что путем выбора положения «лечащих» накладок для системы параллельно расположенных трещин имеется возможность увеличить несущую способность дефектных элементов конструкций, воспринимающих растяжение.

Литература

1. Якупов Н.М. Строительные конструкции: этапы и перспективы развития. Учебное пособие / Под ред. проф. Сучкова В.Н. – Казань: КазГАСУ, ИММ КазНЦ РАН, 2006. – 154 с.
2. Якупов Н.М., Абдюшев А.А. Параметрическое исследование лечащих накладок средствами расчетного комплекса ЭРА-ПК2000 // Известия КазГАСУ, 2007, № 2(8). – С. 61-64.
3. Якупов Н.М., Абдюшев А.А., Мифтахутдинов И.Х., Якупов С.Н. Эффективный способ ремонта трещин в оболочечных конструкциях // Актуальные проблемы нелинейной механики оболочек. – Казань: Изд-во КГУ, 2008. – С. 131-133.
4. Якупов Н.М., Якупов С.Н., Мифтахутдинов И.Х., Мифтахутдинов А.И. Способ ремонта трещин в тонкостенных оболочечных конструкциях // Патент на изобретение РФ № 2310797.
5. Лукашенко В.И., Абдюшев А.А. и др. Экспертиза, расчет, анализ пространственных конструкций: Монография. – Казань: КГАСУ, 2006. – 321 с.
6. Морозов Е.М., Никишков Г.П. Метод конечных элементов в механике разрушения. – Изд. 2-е, испр. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 256 с.
7. Шлянников В.Н. Вычислительная механика деформирования и разрушения. Учебное пособие. – Казань: КГЭУ, 2002. – 228 с.

УДК 691.175
Эльсаед Т.А. – доцент
Тел.: 0020129777360, e-mail: elsayedtarek@hotmail.ru
Хана Н.Ф. – доцент
Гханем Г.М. – профессор
Инженерный факультет Хельванского университета, Матария, Каир, Египет
Йехиа С. – ассистент
Высший инженерный институт, Академия Эшрук, Каир, Египет

ПОВЕДЕНИЕ НИЗКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН, УСИЛЕННЫХ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ СТЕРЖНЕВОЙ АРМАТУРОЙ

АННОТАЦИЯ

Коррозия стальной арматуры – один из наиболее серьезных дефектов армированного бетона. Для очистки железобетонных конструкций от коррозии необходимы огромные усилия и большие материальные затраты. Коррозия стали в железобетонных колоннах может привести к полному или частичному разрушению сооружения. Таким образом, вопрос решения проблемы коррозии стальных стержней в железобетонных колоннах актуален. В настоящей статье приводятся результаты исследования поведения железобетонных колонн, усиленных стеклопластиковыми стержнями, в сопоставлении с поведением стандартных колонн со стальной арматурой при деформации. Исследование содержит большинство критериев, которые могут повлиять на поведение колонн, усиленных стеклопластиком, таких как: способ размещения стальных анкеров, деформация продольной арматуры в колонне и деформация колонны снаружи. Также варьируется уровень воздействия на арматуру. Максимальная нагрузка, продольное укорачивание и напряжение продольного армирования фиксировались при каждом испытании. Данные проанализированы, сделаны выводы и приведены рекомендации по проектированию.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железобетонные низкие колонны, стеклопластиковая арматура.

Tarek A. Elsayed – associate professor
Tel.: 0020129777360, e-mail: elsayedtarek@hotmail.ru
Nagy F. Hanna – associate professor
Gouda M. Ghanem – professor
Faculty of Engineering, Mataria, Helwan University, Cairo, Egypt
Sameh Yehia – assistant
Higher Institute of Engineering, Ashrooq Academy, Cairo, Egypt

BEHAVIOR OF SHORT RC COLUMNS REINFORCED WITH FRP BARS

ABSTRACT

Corrosion of steel reinforcements is one of the most serious defects of reinforced concrete. A lot of money and efforts are needed for repairing corrosion of RC structures. Corrosion of steel in RC columns may lead to complete or partial failure of the building. Consequently, the issue of solving the problem of corrosion of steel rebars in RC columns is very demanding. In this paper the behavior of RC columns reinforced by GFRP bars is studied and compared to the behavior of the traditional steel reinforced columns. The study includes most of the parameters those may affect the behavior of the GFRP reinforced columns. This included replacing steel stirrups by GFRP sheets in two forms, warping the longitudinal reinforcement of the column, and warping the column from the outside. Also the reinforcement percentage was taken as a variable. Ultimate load, axial shortening, and strains in the longitudinal reinforcements were recorded for each test specimen. Data were analyzed and conclusions and design recommendations were drawn.

KEYWORDS: RC short columns, FRP rebars.

Introduction

Columns are the most important structural elements in RC structures. Corrosion of traditional steel reinforcements causes cracks in columns those may lead to failure in critical columns. This may cause partial or complete failure of structures. Nowadays, new materials are developed to enhance the performance of structural elements. Among these materials is the FRP reinforcing bars used in reinforcing different structural elements. The FRP materials are characterized by high resistance to corrosion, high strength-to-weight ratio, and fatigue resistance [1]. Consequently, in this paper, the behavior of RC columns reinforced by GFRP bars is studied and compared to the behavior of the traditional steel reinforced columns. Also

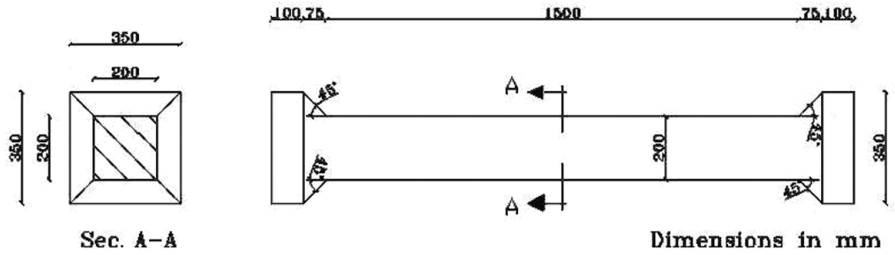


Fig. 1. Dimensions of test specimens

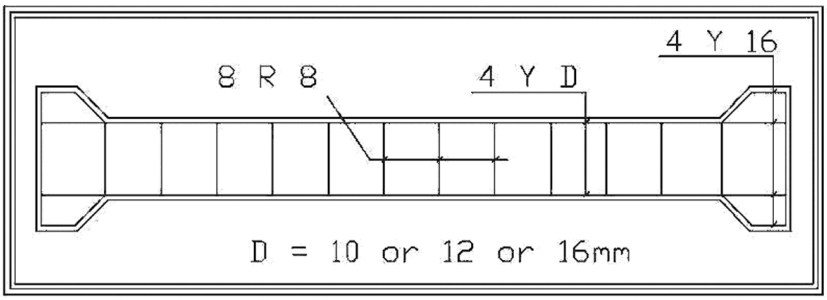


Fig. 2. Details of specimens A, B, and C with steel stirrups

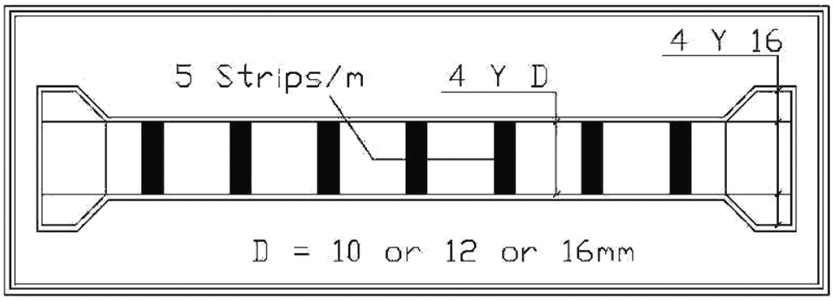


Fig. 3. Details of specimens D, E, and F with GFRP internal stirrups

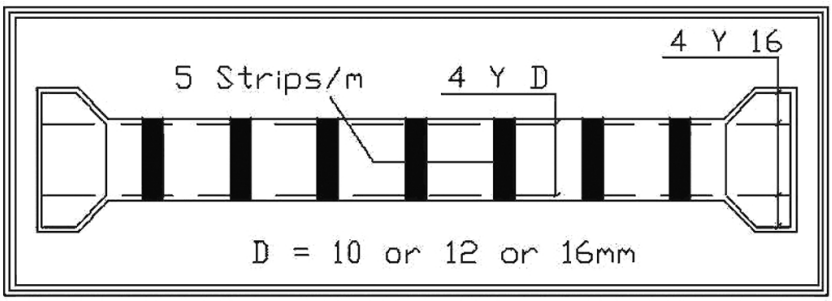


Fig. 4. Details of Specimens G, H, I, and K with external GFRP stirrups
(specimen K is the unreinforced column)

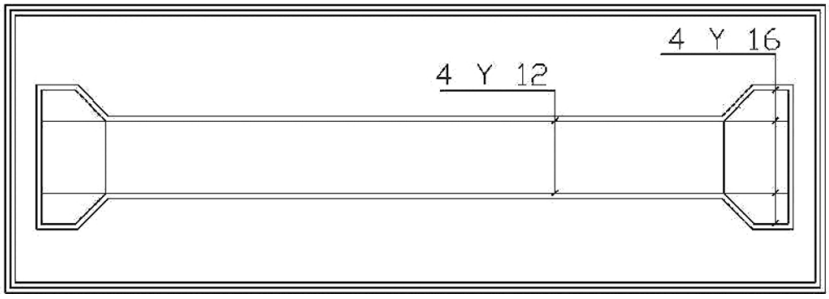


Fig. 5. Details of Specimen (J) without stirrups

most of the parameters those may affect the behavior of the proposed columns in this research were considered in the experimental program. The parameters considered in this research are, reinforcement percentage, the type and formation of stirrups; the used stirrups are traditional steel stirrups, GFRP sheet stirrups used in two forms; inside the concrete cover around the longitudinal reinforcements, outside the concrete cover at the surface of tested columns. The experimental program in this paper also included testing one column specimen reinforced with longitudinal GFRP bars, without stirrups, and one plain concrete column specimen with stirrups at the column‘ surface. All test column specimens were loaded axially until failure and the load-shortening, load-strain in longitudinal reinforcements, and the cracking and the ultimate loads were recorded. Analysis of test results showed that GFRP bars are effective in reinforcing RC columns in this research. The paper included analytical investigation that showed that the traditional equation used for predicting the axial compressive strength of steel reinforced columns warped with GFRP jackets, 3. ACI-440 2R-02 [2], predicts the axial compressive strength of the columns in this research with reasonable accuracy, but after introducing some modifications, regarding the properties of the used GFRP rebars, to the equation.

Research significance

In this work, the behavior of RC short columns reinforced by GFRP bars is studied under axial loading conditions. The variables considered in this research are, the reinforcement percentage, the type and formation of the stirrups. The study is expected to contribute in predicting the validity of reinforcing RC columns by GFRP bars and thus eliminating the steel corrosion problem of the steel reinforced columns and consequently providing more safety to RC structures and reducing their maintenance cost.

Test program

The experimental program in this research includes testing column specimens reinforced with steel and GFRP longitudinal rebars under axial load. The variables considered included the reinforcement percentage, 0.78, 1.13, and 2.01 %, these reinforcement percentages were done by reinforcing test columns by four longitudinal rebars 10, 12, 16 mm in diameter, respectively. The variables also included the type and formation of the stirrups. The used stirrups are three types. The first type is the traditional mild steel stirrups of yield and tensile strength of 2400 and 3600 kg/cm^2 respectively. The used steel stirrups are 8 stirrups per meter, 8 mm in diameter. The other two types of stirrups are 5 GFRP strip stirrups per meter, 5cm in width, installed internally in the transverse direction around the longitudinal rebars; or externally warping the outer surface of the tested columns. Also test program included testing one column specimen with GFRP longitudinal rebars, without stirrups and another specimen without reinforcement (plain concrete) and warped by external GFRP strip stirrups.

Test specimens

Eleven columns were tested in this research, specimens are coded A to K. All columns had the same dimensions, Fig. 1, Table 1, and were manufactured with column head at both ends to avoid failure by bearing stresses. Columns reinforced with steel rebars, specimens A, B, and C, are reference specimens, Fig. 2. Test specimens were manufactured in a way to include all variables considered in this research. For specimens reinforced with GFRP rebars, the used stirrups are GFRP strips, 5cm in width. Specimens D, E, and F, Fig. 3, were manufactured with GFRP stirrups installed around the longitudinal reinforcements, while the GFRP stirrups were installed around the surface of the columns, specimens G, H, I, and K, Fig.4. Figure 5 shows the details of specimen J without stirrups. Table 1 presents the details and dimensions of test specimens.

Fabricating test specimens

The fibers used in manufacturing the GFRP rebars are E-glass fibers with linear weight of roving 2400 g/km, and the used resin is polyester E.S 1319 mixed with cobalt in the ratio 1000:1, by weight. This ratio gives a setting time of about 2 hours at 160єC (320єF) which is enough for manufacturing process. The used volume fiber fraction is 60 %. The GFRP rebars used in this research were circular in cross-section, manufactured using the mechanical pultrusion process. Bars were then wrapped helically by fiber yarns in 1 cm pitch to roughen their surfaces to enhance their bond strength with concrete. Specimens were cast in anti-rust metal forms, Fig. 6. The reinforcements were first arranged, Fig. 7, and then installed in the forms. The inside surfaces of the forms were painted by thin film of hydraulic oil to ease removing specimens after hardening. The forms were manufactured in a way to provide the specimens with column head at both ends. The column head were reinforced with 4 bars 16mm diameter, in a way to make the heads capable to transfer load uniformly to the column‘ cross-section and to prevent failure by bearing stresses. All specimens were cast vertically for similarity with casting conditions in construction sites. A mechanical vibrator was used in the compaction of the columns. Specimens were removed from the forms after 3 days from casting, Fig. 8 and then they were cured by covering the specimens with wet canvas for complete 7 days. After 14 days age, GFRP stirrups were installed at the surface of the columns. Figure 9 shows the procedures of installing internal and external GFRP stirrups. All columns were capped using Gypsum paste at both ends, Fig. 10.

Test setup and instrumentation

All column specimens were tested using rigid steel loading frame. A compression hydraulic jack of 1000 kN capacity and a load cell of 1000 kN capacity with digital read out were used. For all test specimens, strains in longitudinal reinforcing bars were measured using electrical strain gauges, 5 mm length, electrical resistance

Table 1

Details of Column Specimens

Specimen	Section dimensions, cm	No of bars	Diameter	Main Reinforcement	Stirrups
A	20 x 20	4	10	Steel	Steel
B	20 x 20	4	12	Steel	Steel
C	20 x 20	4	16	Steel	Steel
D	20 x 20	4	10	GFRP	GFRP Sheets Internally
E	20 x 20	4	12	GFRP	GFRP Sheets Internally
F	20 x 20	4	16	GFRP	GFRP Sheets Internally
G	20 x 20	4	10	GFRP	GFRP Sheets Externally
H	20 x 20	4	12	GFRP	GFRP Sheets Externally
I	20 x 20	4	16	GFRP	GFRP Sheets Externally
J	20 x 20	4	12	GFRP	–
K	20 x 20	–	–	–	GFRP Sheets Externally

Fig. 6. Used metal model

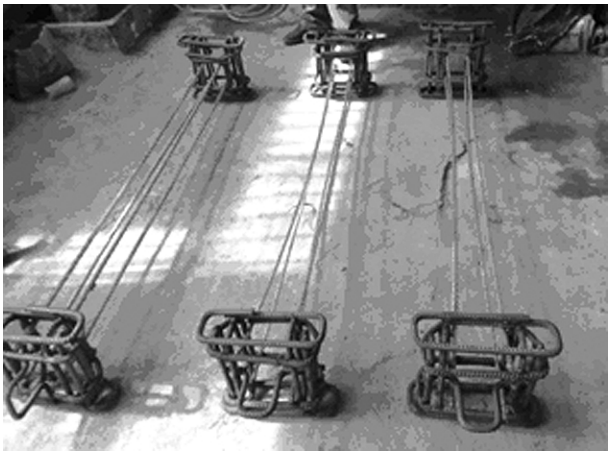


Fig. 7. Reinforcements Arrangement

Fig. 8. Test specimens

of 119.8 ± 0.20 ohms, and gauge factor (2.11±1 %). A vertical LVDT was used for measuring the linear shortening of columns during loading. Test setup was manufactured in a way to hold tested columns vertically and to prevent columns from lateral sway. Columns were plumbed vertically and adjusted to verify the axial loading conditions. Test setup is presented in Fig. 11.

Test Results and Discussion

In this research column specimens were tested to study the behavior of RC short columns reinforced with GFRP bars under axial loading. The parameters included are the reinforcement percentage and the type and formation of stirrups. The effect of these parameters was studied on, failure mode, cracking and ultimate loads, load-axial shortening in columns, and the load-strain in longitudinal reinforcements. This will be discussed in details in the following sections.

Failure Mode

Failure of steel reinforced columns is the traditional splitting ductile failure occurred at the upper or lower third of the column, Fig. 12a. The failure of all GFRP reinforced columns is splitting brittle failure, Fig. 12b, c, d. This is related to the linear brittle behavior of the GFRP stirrups compared to the ductile behavior of the steel stirrups used in the reference specimens. The plain specimen (column without reinforcement) with GFRP strip stirrups installed at the column surface, failed by crushing compression failure, Fig 12e it is clear from Fig 12 that, using GFRP strip stirrups installed internally or externally as described in this research, does not significantly affect the failure mode of tested GFRP reinforced short columns.

Cracking and Ultimate Loads

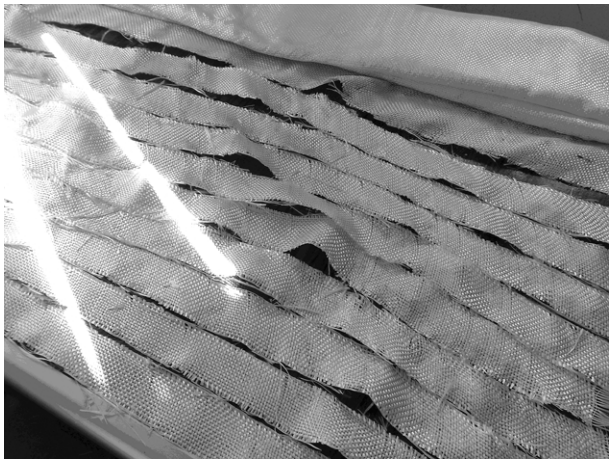
Table 2 presents the cracking and the ultimate loads of test specimens. It is shown in Table 2 that columns reinforced with GFRP reinforcements give higher cracking and ultimate loads than those given by steel reinforced columns by about 60, 25 % respectevely as an average. This is related to the effect of the confinement provided by the GFRP stirrups and the high strength of the GFRP rebars. Table 2 Also shows that using GFRP strip stirrups installed at the surface of columns as described in this research, increases their cracking and ultimate loads than using the GFRP stirrups installed aound the longitudinal reinfprcements inside the column, without singnificantely affecting their failure mode. This is related to the effect of the extra confinement provided by the GFRP stirrups intalled externally, as for specimens with internal GFRP stirrups, the stirrups were installed perior to casting concrete, Fig. 9b, and thus their confinement effect is low compared to that provided by the external stirrups those were installed on the surface of the hardened concrete of tested columns. Also it is shown that specimen without stirrups, specimen J, showed cracking and ultimate loads lower by about 50 % than cracking and the ultimate loads of similar specimens but with GFRP stirrups. Column with plain concrte and external GFRP stirrups showed ultimate load almost equal to that of specimen reinforced with 4 longitudinal 10mm-diameter bars and internal GFRP stirrups, but the ratio of the cracking to ultimate loads of the plain concrete specimen was almost close to 1. This is related to the confinement effect of the GFRP stirrups that increases the axial compressive strength of the concrete used in manufacturing this specimen without affecting the failure mode. This indicates the remarkable effect of the GFRP strip stirrups in increasing the load carrying capacity of the GFRP reinforced columns in this research.

Load-Axial Shortening in Column Specimens

A vertical LVDT was used to measure the axial shortening in tested columns. The load-shortening relationship is drawn for all test specimens. Figure 13 shows comparisons between the load-shortening relationships of tested columns. It is shown in Fig. 13 that steel reinforced columns showed higher axial stiffness than those for columns reinforced with GFRP reinforcements by about 30, 70 and 75 % as an average for reinforcement percentage 0.78, 1.31 and 2.01 % respectively. This is due to the higher stiffness of steel rebars than that for GFRP rebars. It is noticed from Fig. 13 that columns reinforced with GFRP rebars showed axial stiffness ranging in a narrow range corresponding to all reinforcement percentage considered. This is due to the effect of the high confinement provided by the GFRP stirrups that increases the apparent axial compressive strength of concrete in columns thus reducing the contribution of longitudinal reinforcements, and consequently the failure of columns is brittle mode due to the rupture of the GFRP stirrups. In Fig. 13b it is clear that the column specimen without stirrups showed axial stiffness about 1/3 that of columns with GFRP stirrups. This revealed that about 2/3 of the axial stiffness of columns reinforced with GFRP bars and GFRP stirrups in this research is achieved by the effect of the used GFRP strip stirrups.

Load-Axial Strain in Longitudinal Reinforcements

The strain in longitudinal reinforcements was recorded using strain gages and a digital readout. The load-strain relationships are drawn in Fig. 14. It is shown in Fig. 14 that steel rebars showed ductile behavior compared to the linear behavior of the GFRP rebars. Also steel rebars showed lower strains than the GFRP reinforcements. It is clear from Fig. 14 that the longitudinal reinforcements in all GFRP reinforced columns with internal or external GFRP stirrups showed identical load-strain behavior, but with different ultimate loads. This approves the conclusion revealed in the previous section in this paper that the high confinement provided by the GFRP stirrups that increases the apparent axial compressive strength of concrete in columns reduced the contribution of the longitudinal GFRP reinforcements thus the strains in rebars was controlled by the stirrups confinement.



a)

b)

c)

d)

Fig. 9. Column specimens with GFRP stirrups:
a) GFRP strip stirrups; b) GFRP stirrups installed internally; c) roughening the surface of the column;
d) installing the outside stirrups

a)

b)

Fig. 10. Capping test columns:
a) capping upper end; b) capping the lower

Analytical investigation

The ACI-440 [2] specifies that the axial compressive strength of nonslender, normal weight concrete member confined with FRP jacket may be calculated using the confined concrete strength, Eq. 1.

For nonprestressed members with existing steel spiral reinforcement:

$$\phi P_n = 0.85\phi[0.85\psi_f f'_{cc}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (1a)$$

For nonprestressed members with existing steel tie reinforcement

$$\phi P_n = 0.8\phi[0.85\psi_f f'_{cc}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}] \quad (1b)$$

The additional reduction factor in this equation, ψ_f, is recommended to be taken equal to 0.95. f'_{cc} is calculated using Eq. 2:

$$f'_{cc} = f'_c[2.25\sqrt{1+7.9\frac{f_l}{f'_c}} - 2\frac{f_l}{f'_c} - 1.25] \quad (2)$$

f_l is calculated using Eq. 3:

$$f_l = \frac{k_a \rho_f f_{fe}}{2} \quad (3)$$

k_a is calculated using Eq. 4:

$$k_a = 1 - \frac{(b-2r)^2 + (h-2r)^2}{3bh(1-\rho_g)} \quad (4)$$

and ρ_f is calculated using Eq. 5:

$$\rho_f = \frac{2nt_f(b+h)}{bh} \quad (5)$$

Where:

f'_{cc} = apparent compressive strength of confined concrete;

ψ_f = additional FRP strength-reduction factor;

A_g = gross area of section;

A_{st} = total area of longitudinal reinforcements;

f_y = specified yield strength of nonprestressed steel reinforcements;

f_l = confining pressure due to FRP jacket;

f'_c = specified compressive strength of concrete;

ϕ = strength reduction factor;

ρ_f = FRP reinforcement ratio;

f_{fe} = effective stress in the FRP, stress level attained at section failure;

k_a = efficiency factor for FRP reinforcement (based on the section geometry);

b = width of rectangular cross section;

r = 0.5 in. (13mm);

h = overall thickness of a member;

ρ_g = ratio of the area of longitudinal steel reinforcement to the cross-sectional area of a compression member;

n = number of plies of FRP reinforcement;

t_f = nominal thickness of one ply of the FRP reinforcement;

C_E = environmental-reduction factor.

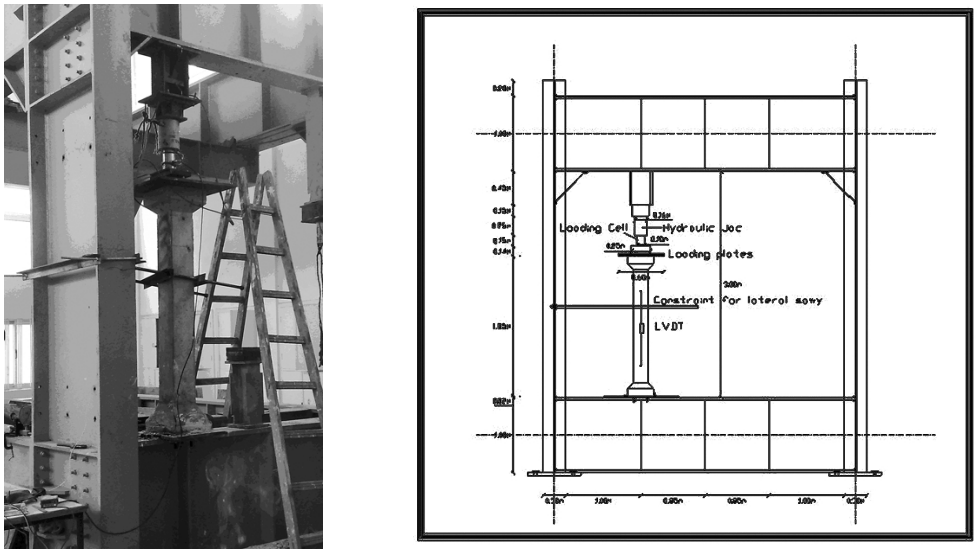
Equation 1 was used in estimating the compressive strength of column specimens with strip stirrups in this research. For this purpose, equations, 1a, and 1b were modified by replacing the yield strength of steel rebars, f_y, by the effective stress in the GFRP rebars, f_{fe}. Analytical study showed that, modified equation, Eq. 1a, predicts satisfactorily the axial compressive strength of columns reinforced with GFRP longitudinal bars and internal GFRP strip stirrups, while modified equation, Eq. 1b, predicts satisfactorily the compressive strength of columns reinforced with GFRP bars and external strip stirrups, Fig. 15, given that the environmental-reduction factor [3], C_E, is taken 0.65 for exterior GFRP stirrups, 0.8 for internal GFRP stirrups and GFRP rebars, and the strength reduction factor Φ is taken 0.8 for columns with exterior GFRP stirrups and 0.9 for columns with internal GFRP stirrups. Figure 15 shows a comparison between predicted and experimental axial compressive strengths.

Conclusions

In this paper short column specimens were tested to study the behavior of columns reinforced with GFRP reinforcements under axial loading conditions. Although Columns reinforced with GFRP reinforcements showed higher cracking and axial compressive strength than steel reinforced columns, they were characterized by lower axial stiffness and brittle failure mode. It is also shown that column specimens reinforced with external GFRP strip stirrups showed higher cracking and ultimate loads and slightly higher axial stiffness than columns reinforced with GFRP internal stirrups. Analytical investigation revealed that equation specified by the ACI 440.2R-02 for calculating axial compressive strength of nonslender, normal weight concrete member confined with FRP jacket, estimates the axial compressive strength of GFRP reinforced column in this research with reasonable accuracy.

Recommendation for futur research

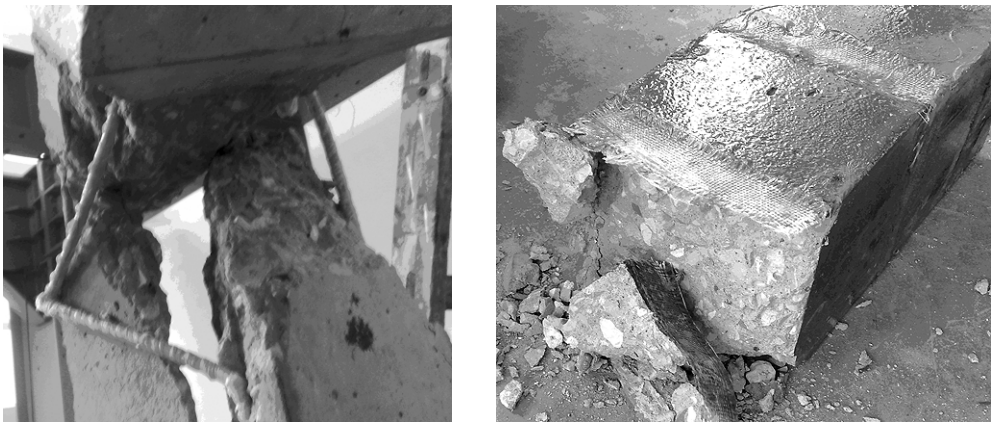
Based on the experimental work and conclusions in this paper it is recommended that future research would be directed for studying the possibility of enhancing the failure mode of GFRP reinforced columns.



a) b)

Fig. 11. Loading frame and test setup:
a) column specimen in the loading frame; b) schematic diagram for test setup and instrumentation

a) b) c)



d) e)

Fig. 12. Failure mode of test specimens:
a) steel reinforced column; b) GFRP intenal stirrups; c) GFRP external stirrups;
d) column without stirrups; e) plain specimens with External GFRP

Table 2

Cracking and ultimate loads

Specimen	Reinforcement	Cracking load (Ton)	Ultimate load (Ton)	P_{crak}/P_{ult}
A	Steel – 10 mm Steel stirrups	38	54	0.704
B	Steel – 12 mm Steel stirrups	42	58	0.724
C	Steel – 16 mm Steel stirrups	49	72	0.681
D	GFRP – 10 mm Internal sheets	57	67	0.851
E	GFRP – 12 mm Internal sheets	68	72	0.944
F	GFRP – 16 mm Internal sheets	73	77	0.948
G	GFRP – 10 mm External sheets	66	74	0.892
H	GFRP – 12 mm External sheets	71	77	0.922
I	GFRP – 16 mm External sheets	82	86	0.954
J	GFRP – 12 mm No stirrups	33	34	0.971
K	Plain concrete External sheets	64	65	0.985

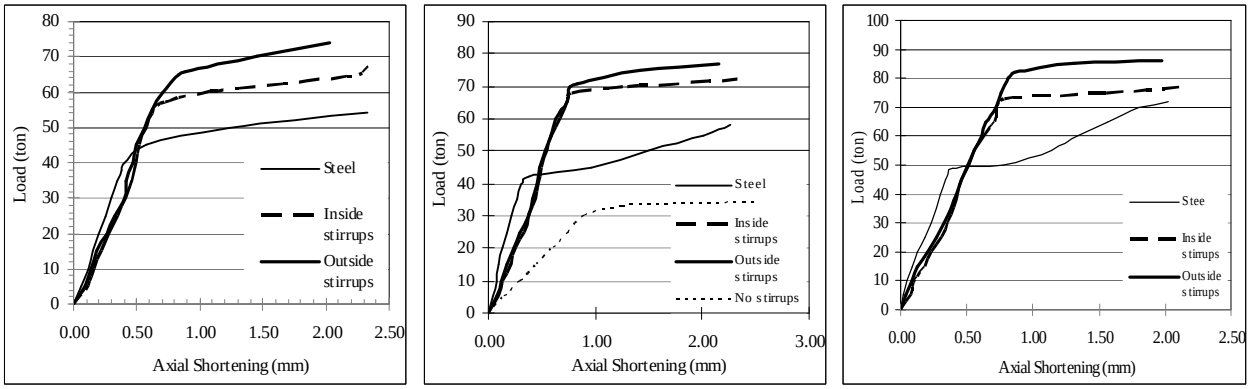


Fig. 13. Load-shortening relationships for tested columns:
a) reinforcement percentage 0.78 %; b) reinforcement percentage 1.13 %; c) reinforcement percentage 2.01 %

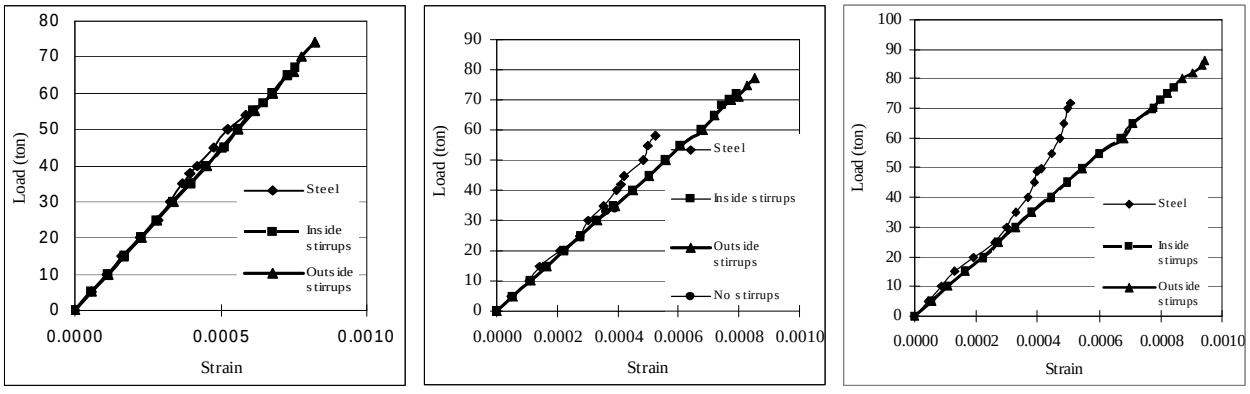


Fig. 14. Load-axial strain in longitudinal reinforcements:
a) reinforcement percentage 0.78 %; b) reinforcement percentage 1.13 %; c) reinforcement percentage 2.01 %

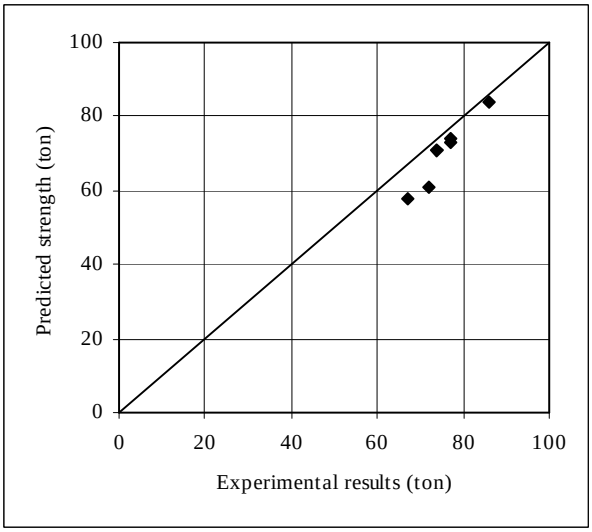


Fig. 15. Comparison of predicted and experimental axial compressive strength

Acknowledgment

The Authors would like to express their profound gratitude and deep appreciation to Professor / Sayed Abdel Baky.

References

1. Ferreira A.J.M., Camanho P.P., Marques A.T. and Fernandes A.A. Modelling of Concrete Beams Reinforced With FRP Re-bars. Faculty of Engineering, University of Porto, Rua dos Bragas, 4099 porto codex, Portugal, 2001.
2. ACI 440.2R-02. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. ACI Committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich, 2006.
3. American Concrete Institute (ACI). Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars. Report by ACI Committee, 440, November 1, 2000.
4. Ascione L., Benedetti A., Frassine R., Manfredi G., Monti G., Nanni A., Poggi C. and Sacco E. Design Guidelines for the Strengthening of Existing Structures with FRP in Italy. ACI Journal special publication, volume 230. Pages 481-4.

УДК 624.154.001.8

И.Т. Мирсаяпов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оснований и фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии

А.А. Абдуллаев – аспирант, ассистент

Тел.: 89172990155, e-mail: abdartayd@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКИХ ФУНДАМЕНТОВ

АННОТАЦИЯ

Приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований прочности и деформативности грунтовых оснований моделей глубоких фундаментов при однократном кратковременном статическом нагружении. Выявлены характерные зоны вовлечения грунтового массива в работу системы глубокий фундамент – грунтовое основание. Получены новые данные о развитии напряженно-деформированного состояния в различных зонах грунтового массива, окружающего модель глубокого фундамента.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: глубокий фундамент, прочность, грунтовое основание, плитная часть, осадка.

I.T. Mirsayapov – doctor of the technical sciences, professor, head of Bases, Foundations, Dynamics of Building and Engineering Geology department

A.A. Abdullaev – post-graduate student, assistant

Tel.: 89172990155, e-mail: abdartayd@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES OF MODELS OF DEEP FOUNDATIONS

ABSTRACT

Article shows results of experimental and theoretical studies of strength and deformability of ground bases of models of deep foundations while single phase short term static loading. Zones of ground massive involved in deep foundation's combined with ground base work are disclosed. Survey notes about development of deflected mode in different zones of ground massif, surrounding model of deep foundation are attained.

KEYWORDS: deep foundation, strength, ground base, foundation slab, deformability.

В настоящее время растущие темпы строительства высотных зданий и комплексов в стесненных условиях городской застройки и в сложных инженерно-геологических условиях обуславливают необходимость совершенствования существующих методов проектирования оснований и фундаментов, разработанных для зданий и сооружений высотой не выше 10-15 этажей, при давлениях на основание не более 300 кПа. В этом случае, как правило, усилия от надземной части здания или сооружения прикладываются на фундамент в виде распределенной нагрузки или системы сосредоточенных сил. И это позволяло с небольшой погрешностью пренебречь взаимовлиянием основания, фундамента, подземной и надземной частей сооружения. Однако, с ростом этажности здания и размеров фундаментов в плане необходимость совместного расчета напряженно-деформированного состояния системы «основание – фундамент – надземная часть здания» значительно возросла, так как в этом случае вовлекаются огромные массивы грунта, как под фундаментами, так и за ограждающей конструкцией.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость в совершенствовании методов расчета глубоких фундаментов с учетом взаимодействия с окружающим грунтовым массивом.

В настоящей работе авторами исследуется напряженно-деформированное состояние глубокого фундамента и развитие напряжений в окружающем глубокий фундамент массиве грунта.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторном лотке со следующими размерами 1,0x1,0x1,0 м.

В качестве модели глубокого фундамента использовался деревянный короб 200x200x500 мм, с деревянной плитой, расположенной в 100 мм от нижнего края стены.

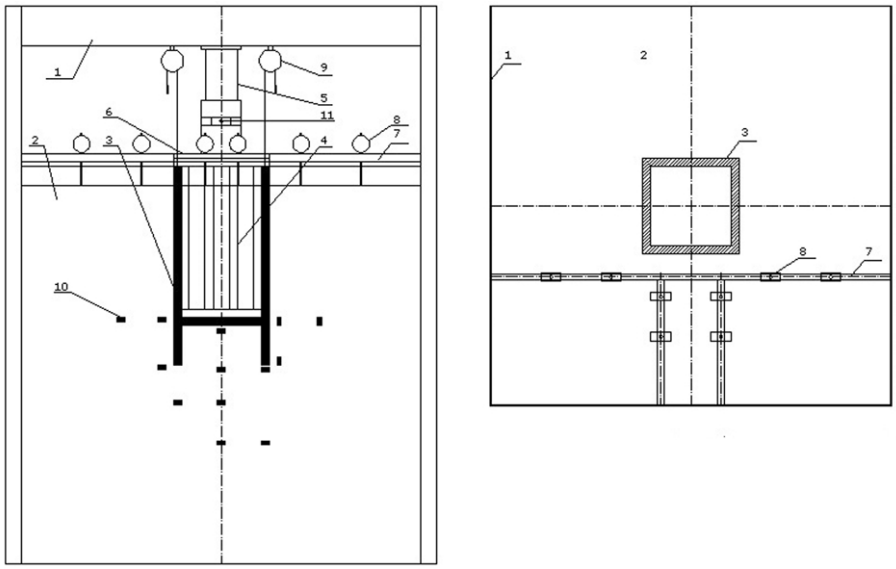


Рис. 1. Схема установки нагружения модели глубокого фундамента и расположения датчиков давления в грунте:
1 – объемный лоток; 2 – грунтовый массив; 3 – модель глубокого фундамента; 4 – устройство для передачи нагрузки на плитную часть; 5 –гидравлический домкрат; 6 – траверса; 7 – рама для установки датчиков; 8 – датчики часового типа; 9 – прогибомеры; 10 – грунтовые датчики; 11 – динамометр

Установка модели глубокого фундамента устраивалась путем послойной отсыпки грунта с послойным уплотнением трамбовкой прямоугольного сечения.

Грунтом основания являлась супесь полутвердая (модуль деформации 5,01 МПа, угол внутреннего трения 18°, удельное сцепление 4,1 кПа, плотность 1,78 т/м^3). Давление в грунтовом массиве определялось с помощью датчиков давления в грунте.

Схема глубокого фундамента и его нагружения, а также схема расположения измерительных приборов и датчиков давления в грунте приведены на рисунке 1.

1 этап нагружения (0-250 кг) (рис. 2) характеризуется уплотнением грунта в боковых зонах в уровне сочленения плиты и стены глубокого фундамента. Датчики вертикального и горизонтального давления, расположенные под пяткой модели глубокого фундамента (11, 17) сразу же после приложения нагрузки выходят из строя. Начинается формирование уплотненного ядра в основании глубокого фундамента и периферических зонах.

2 этап нагружения (250-750 кг) (рис. 3). Следует отметить образование и доуплотнение уже имеющихся уплотненных зон по бокам модели глубокого фундамента. Напряжение в зоне расположения датчика 6, расположенного под пятой модели фундамента, возрастает до возможного предела датчика. Из чего следует сделать вывод об окончании формирования уплотненного ядра в основании плитной части глубокого фундамента.

3 этап нагружения (750-1500 кг) (рис. 4) характеризуется значительным приращением перемещения в зоне, на 20 см ниже под пятой модели фундамента. Вертикальная составляющая приращения в боковых зонах вновь уменьшается. Из вышесказанного следует, что периферические уплотненные зоны сформированы и перемещения внутри этих зон минимальны.

4 этап нагружения (1500-1750 кг) (рис. 5) характеризуется равномерным значительным приращением давления во всех наблюдаемых точках грунтового массива. Осадка модели фундамента происходит непрерывно – сформировалось уплотненное ядро в основании глубокого фундамента и уплотнились периферические зоны, происходит осадка всего сформированного массива.

Характер развития осадки фундамента глубокого заложения окружающего грунтового массива приведен на рис. 6.

На основании вышеизложенного процесса деформирования грунтов основания предлагается расчетная модель глубокого фундамента.

Основываясь на выдвинутой гипотезе, можно представить следующие две расчетных схемы фундамента глубокого заложения.

Исходя из выдвинутой гипотезы об образовании уплотненных зон и, следовательно, концепции распределения нагрузок в периферическом пространстве фундамента глубокого заложения, следует определять несущую способность фундамента глубокого заложения следующим образом.

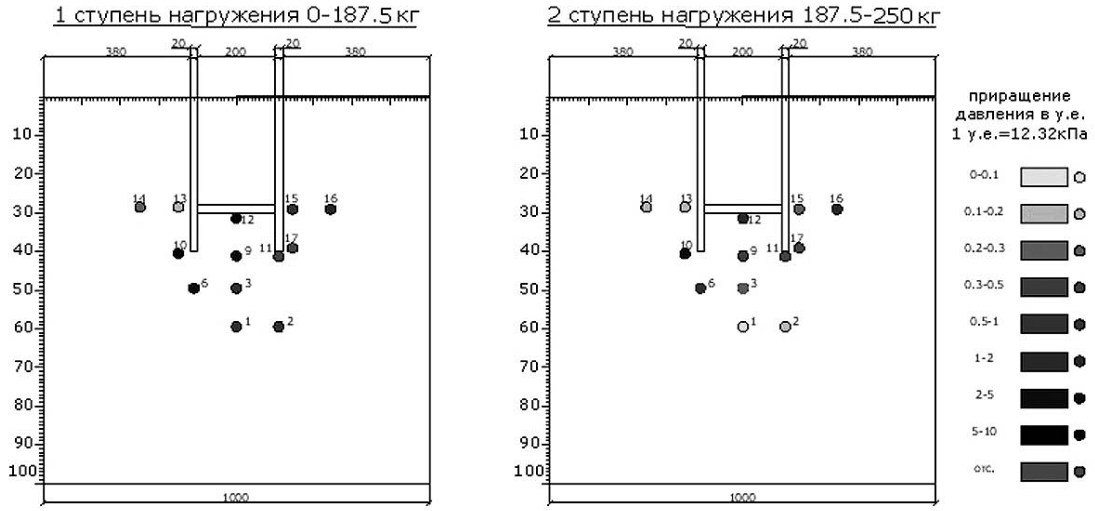


Рис. 2. Приращения давления в различных точках грунтового массива на 1 и 2 ступени приложения нагрузки

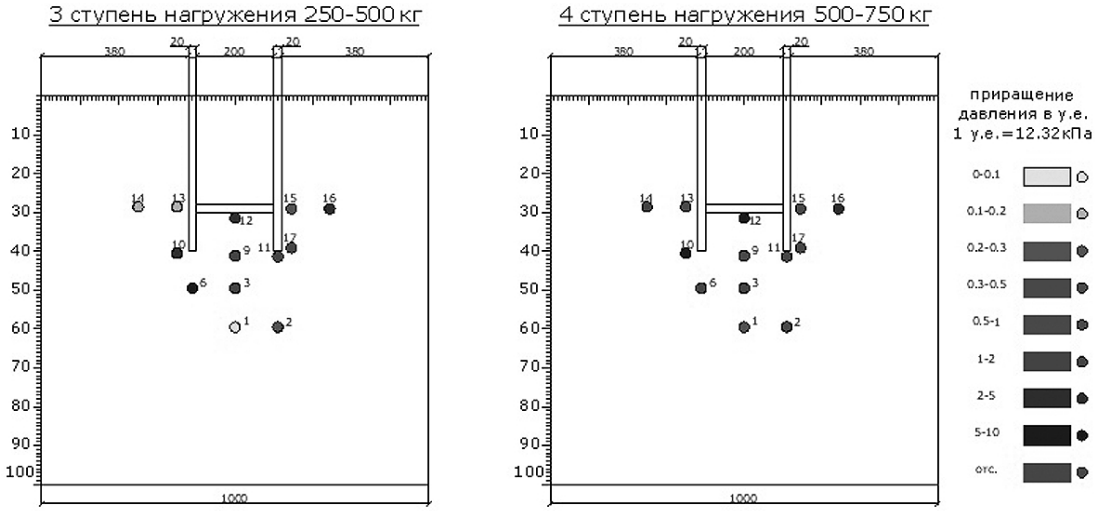


Рис. 3. Приращения давления в различных точках грунтового массива на 3 и 4 ступени приложения нагрузки

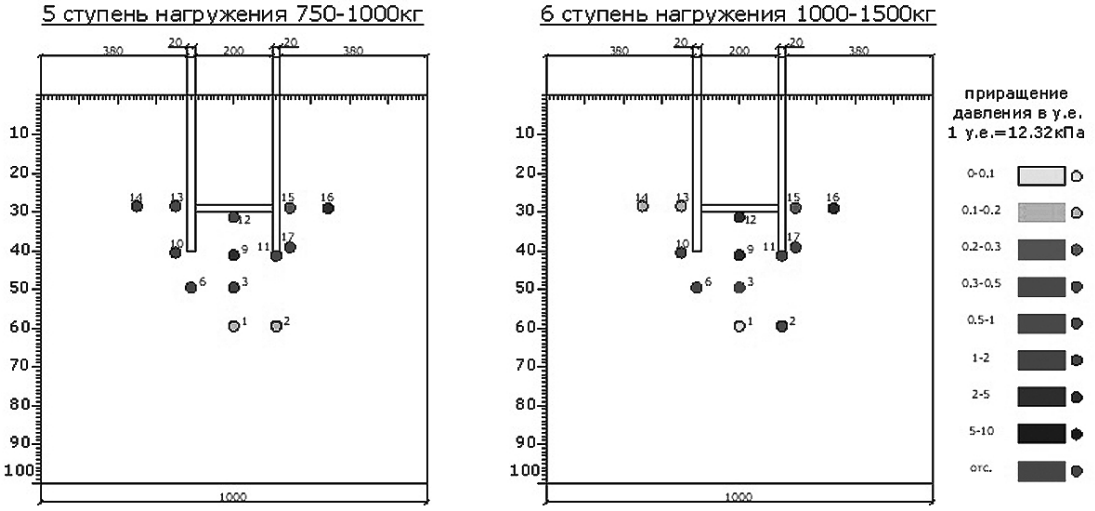


Рис. 4. Приращения давления в различных точках грунтового массива на 5 и 6 ступени приложения нагрузки

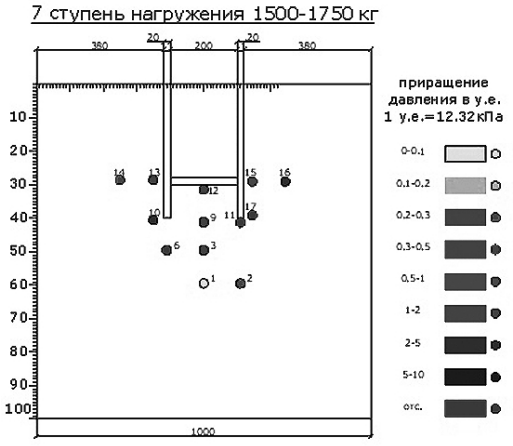


Рис. 5. Приращения давления в различных точках грунтового массива на 7 ступени приложения нагрузки

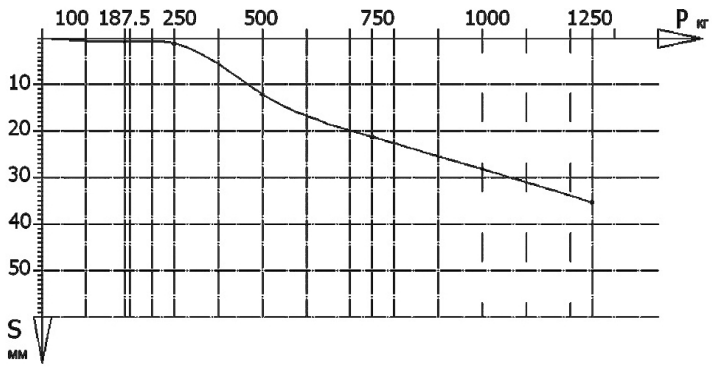


Рис. 6. График зависимости “нагрузка-осадка”

Рис. 7. Фотографии образовавшегося уплотненного ядра после проведения эксперимента

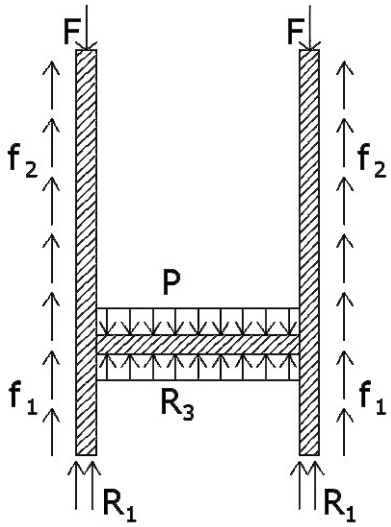


Рис. 8. Расчетная схема ФГЗ при давлении до 50 кПа:
P – распределенная нагрузка на фундамент;
F – сосредоточенная нагрузка на фундамент;
R_1 – сопротивление грунта под пятой фундамента;
R_3 – сопротивление грунта под плитой фундамента;
f_1 – сопротивление трению грунта ненарушенной структуры;
f_2 – сопротивление трению грунта нарушенной структуры

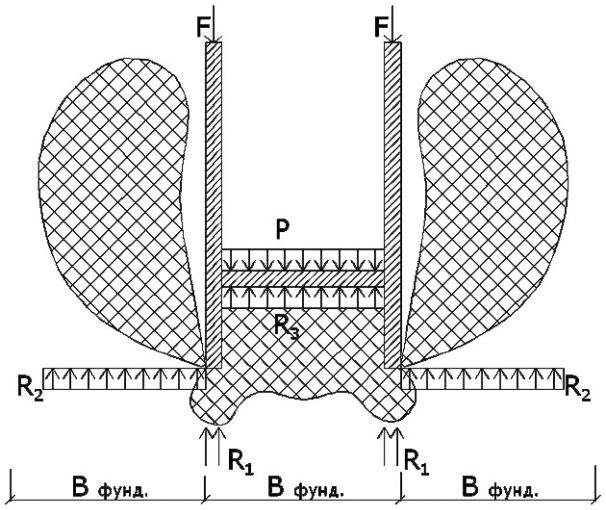


Рис. 9. Расчетная схема ФГЗ при давлении свыше 50 кПа: R_2 – сопротивление грунта под условным фундаментом

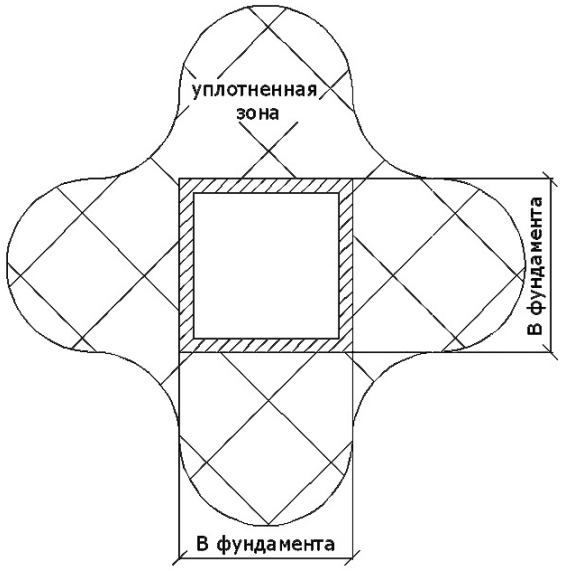


Рис. 10. Условная схема образования уплотненных зон в массиве грунта, окружающем глубокий фундамент

Таблица

Сопоставление расчетной и экспериментальной несущей способности моделей ФГЗ

№ модели	$F_{плиты}$	$F_{лоб.}$	$F_{пер.}$	$F_{общ.}$	$F_{эксп.}$	Δ
ФГЗ-1	684	410	273	1367	1500	9.73
ФГЗ-2	608	365	243	1216	1250	2.79

Выражение для расчета несущей способности ФГЗ можно записать в виде:

$F_{общ}=F_{пл}+F_{лоб}+F_{пер}$

$F_{общ}$ – общая несущая способность ФГЗ;

$F_{пл}$ – несущая способность плиты;

$F_{лоб}$ – лобовое сопротивление стены в грунте;

$F_{пер}$ – периферийная несущая способность уплотненной зоны;

$F_{пл} = R_3 ЧА_{пл}$

R_3 – сопротивление грунта под плитной частью фундамента, при объемном сжатии грунта;

$A_{пл}$ – площадь плитной части фундамента;

$F_{лоб} = R_1 ЧА$

R_1 – определяется по табл. 6.2 [6]

$F_{пер} = R_2 Ч4A_{пл} Н" k_{экс}(R_1+R_3)$ Ч4$A_{пл}$;

$k_{экс}$ – экспериментальный коэффициент, примерно равный 0.25.

После проведения расчетов по предложенным формулам для двух моделей глубокого фундамента, данные были занесены в таблицу.

Результаты сопоставления и расчетных данных по предложенной методике, приведенные в таблице, показывают хорошую сходимость.

Литература

1. Тер-Мартиросян З.Г. Основы расчета осадок высотных зданий, возводимых в глубоких котлованах // «ОФМГ», 2003, № 5. – С. 27-30.
2. Тер-Мартиросян З.Г. Геомеханические проблемы высотного строительства // «ОФМГ», 2006, № 2. – С. 15-19.
3. Цытович Н.А. Доклады к V Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению. – М.: Госстройиздат, 1961.
4. ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация.
5. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений / Госстрой. – М.: Стройиздат, 1985. – 40 с.
6. СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты. Нормы проектирования. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 42 с.
7. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов. – М.: Госстрой России, 2004. – 82 с.

УДК 624.131.522:691.4

И.Т. Мирсаяпов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оснований и фундаментов, динамики сооружений и инженерной геологии

И.В. Королева – аспирант, старший преподаватель.

Тел.: (843) 510-47-89, e-mail: prepod-irina@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ТРЕХОСНОМ СЖАТИИ

АННОТАЦИЯ

Приводятся результаты экспериментальных исследований прочности и деформативности глинистых грунтов в условиях трехосного осесимметричного сжатия ($\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$) при длительном статическом нагружении. Получены новые данные о развитии линейных и объемных деформаций, соответствующих модулей деформаций глинистых грунтов при увеличении напряжений и времени действия статического нагружения. Выявлены характер и механизм разрушения опытных образцов грунтов, закономерности изменения плотности грунта в характерных зонах опытных образцов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: длительная прочность, глинистый грунт, трехосное сжатие.

I.T. Mirsayapov – doctor of the technical sciences, professor, head of Bases, Foundations, Dynamics of Building and Engineering Geology department

I.V. Koroleva – post-graduate student, senior lecturer

Tel.: (843) 510-47-89, e-mail: prepod-irina@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

STUDY OF STRONG AND DEFORMABILITY CLAY SOIL FOR LONG TRIAXIAL COMPRESSION

ABSTRACT

The article shows the results of experimented studies of strength and deformability of clayey soil, while applied long triaxial compression ($\sigma 1 > \sigma 2 = \sigma 3$). New data on development of linear and volumetric deformations is obtained. Also development of linear and volumetric deformations modules for clayey soil, while increasing tension is shown. The character and mechanism of experimented models destruction, and regularities of soil density variation in basis zones are revealed.

KEYWORDS: strong, clay soil, triaxial compression.

Глинистые грунты обладают выраженными реологическими свойствами, которые проявляются в виде ползучести, релаксации напряжений и снижения прочности при длительном действии нагрузок. Исследованию реологических свойств грунтов посвящено сравнительно большое количество работ, однако вопросы изменения прочности и деформативности глинистых грунтов в результате длительного воздействия на них статических нагрузок остаются малоизученными [1…4].

По классической теории упругости напряжённо-деформированное состояние тела определяется величиной нагрузки и способом ее приложения; если эта нагрузка не меняется, то остаются неизменными и возникшие в теле напряжения и деформации. В реальных телах, особенно в грунтах, напряженно-деформированное состояние меняется со временем и зависит от истории предшествующего загружения. Соответственно, соотношение между напряжением и деформацией не является однозначным, а изменяется, даже если одна из этих величин – напряжение или деформация – остается постоянной, другая будет изменяться во времени.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость установления закономерностей изменения прочности и деформативности грунтов. С этой целью были проведены испытания глинистых грунтов в условиях сложного напряженного состояния, что более всего отвечает его работе в природных условиях и дает более надежные результаты при определении его механических характеристик.

Для проведения серии экспериментов использован прибор, разработанный авторами, в котором давление на грунт передается при помощи механических

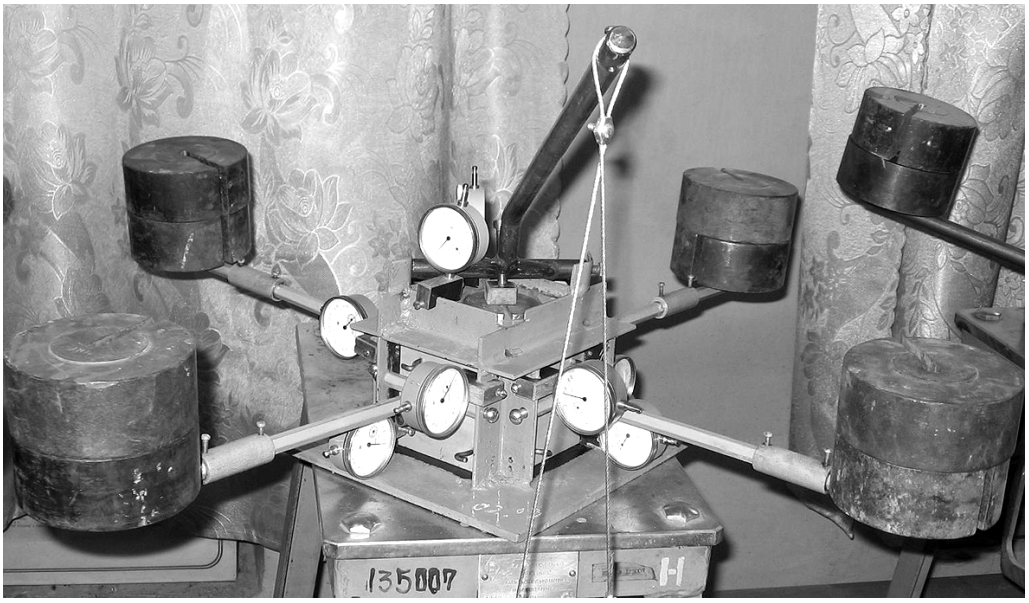


Рис. 1. Общий вид прибора трехосного сжатия

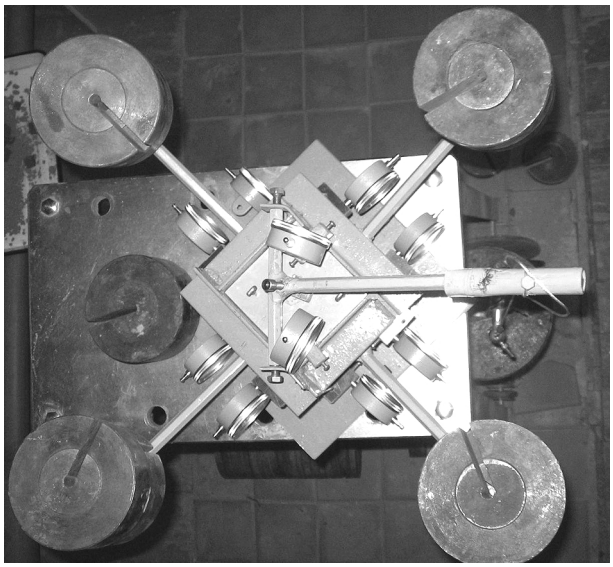


Рис. 2. Прибор трехосного сжатия (вид сверху)

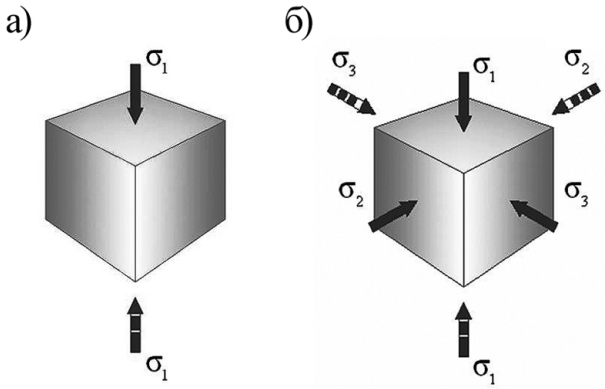


Рис. 3. Схемы нагружения глинистого грунта:
а – одноосное сжатие, б – трехосное сжатие

рычагов. Все стенки камеры прибора являются жесткими и подвижными. Нагрузка передается через рычаг, что обеспечивает поддержание постоянства давления. Испытания проводятся при различных значениях среднего нормального напряжения σ_m. При этом вертикальные σ_1 и боковые $\sigma_2 = \sigma_3$ напряжения прикладывались к образцу независимо.

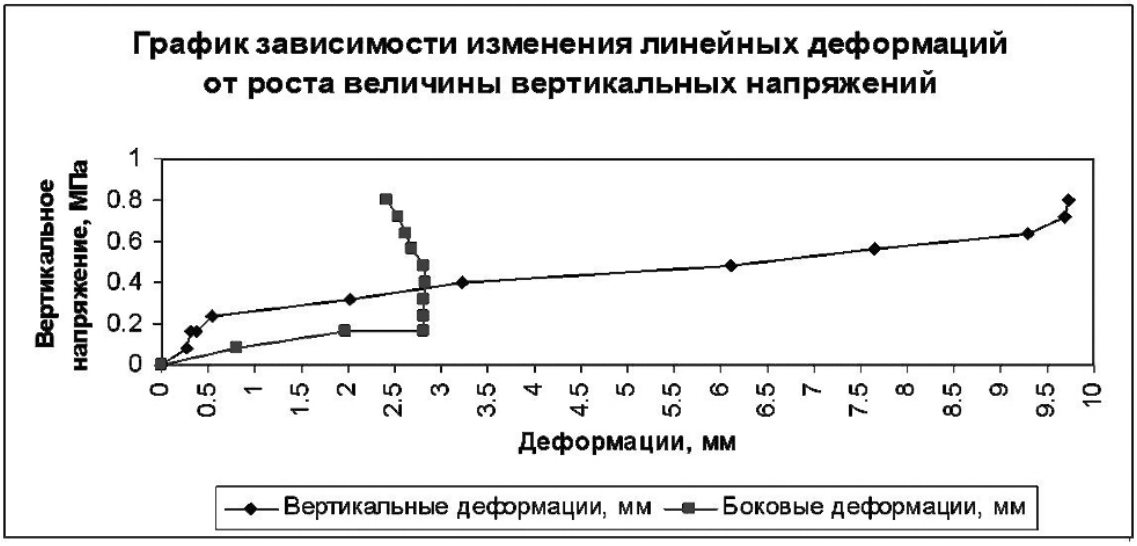
Внешний вид прибора трехосного сжатия приведен на рисунках 1 и 2.

Для испытаний применялись искусственно приготовленные образцы глинистого грунта нарушенной структуры, имеющие форму куба с размерами 100 х 100 х 100 мм, с заданными характеристиками: плотность $\rho = 1{,}95$ г/см^3; плотность скелета $\rho_s = 2{,}73$ г/см^3; влажность $W = 0{,}235$; влажность на границе текучести $W_L = 0{,}401$; влажность на границе раскатывания $W_P = 0{,}228$; число пластичности $I_p = 0{,}173$.

Схемы нагружения приведены на рисунке 3.

Для установления предела прочности грунта при одноосном сжатии к образцу ступенями прикладывалась вертикальная нагрузка (боковые стенки отсутствовали). Получены результаты: максимальное напряжение, при котором произошло разрушение, $\sigma_{1разр}^{*} = 225$ кПа, предельные вертикальные деформации образца при этом составили $\varepsilon_{ult}^{*} = 7{,}30$ %.

а)



б)

Рис. 4. График зависимости изменения линейных деформаций от роста величины вертикальных напряжений: а – при кратковременных трехосных испытаниях; б – то же при длительных испытаниях

Была проведена серия испытаний образцов грунта при заданном значении всестороннего давления для установления предела прочности при кратковременных трехосных нагружениях $\sigma_{1разр}$.

Замер перемещений осуществлялся в направлении действия главных напряжений при помощи индикаторов часового типа. Величины главных деформаций определялись расчетом.

Испытания проводились по следующей методике. На начальном этапе образец грунта подвергался всестороннему обжатию $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = 160$ кПа. После стабилизации осевых деформаций при постоянных значениях боковых напряжений $\sigma_2 = \sigma_3 = 160$ кПа к образцу равными по величине ступенями прикладывалась вертикальная нагрузка. Каждая ступень нагружения выдерживалась до стабилизации деформаций, но не более 10 минут, затем прикладывался следующий уровень нагрузки до достижения предела прочности.

Длительные испытания проводились по вышеизложенной методике, однако максимальное значение вертикальных напряжений принималось равным $\sigma_1 = (0{,}6\ldots0{,}9)\ \sigma_{1разр}$. Деформации образца фиксировались через определенные интервалы времени до момента разрушения.

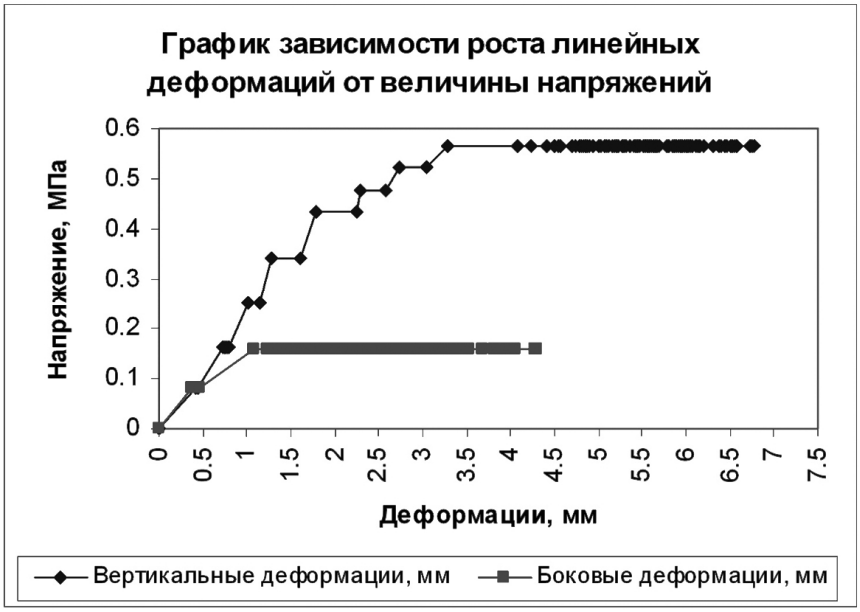


Рис. 5. График развития линейных деформаций при длительных трехосных испытаниях

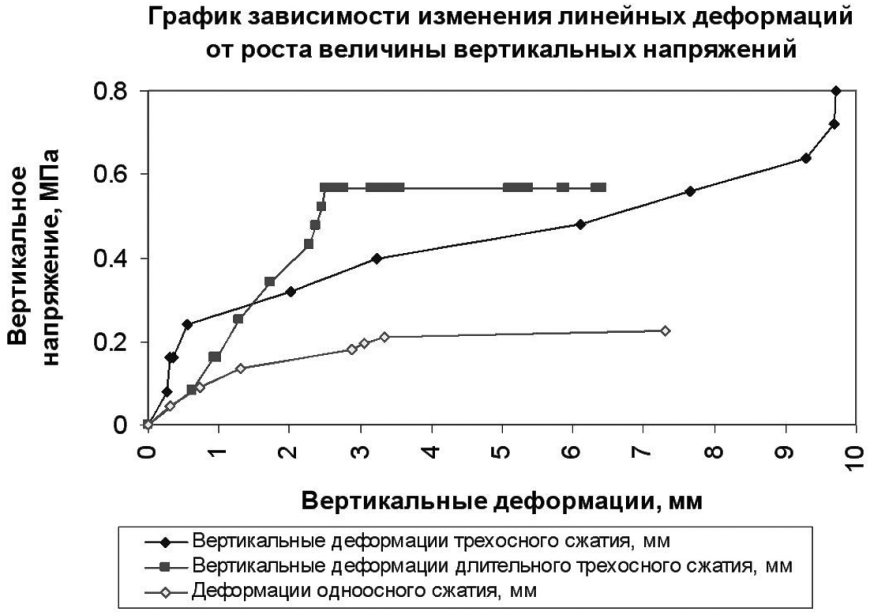


Рис. 6. График зависимости изменения линейных деформаций при испытаниях

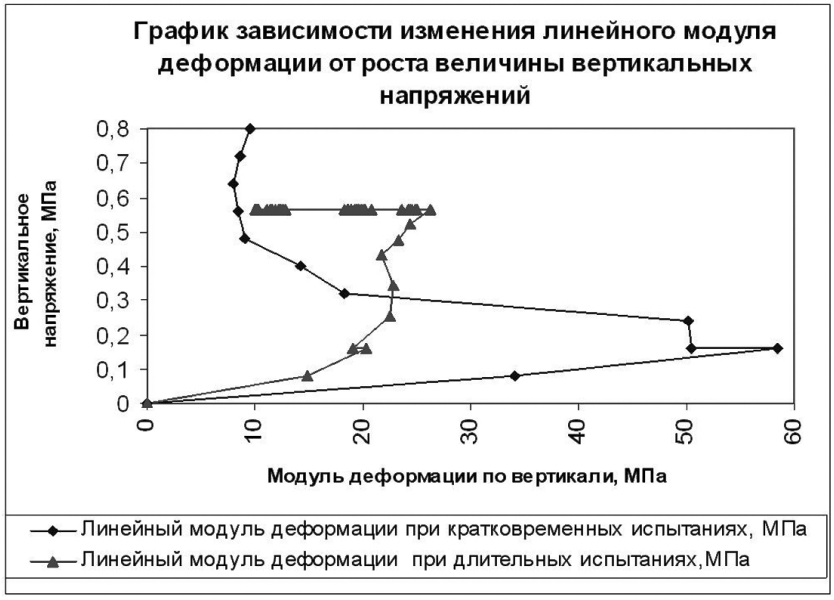
Графики, построенные по результатам трехосных испытаний, приведены на рисунке 4.

Анализируя процесс деформирования грунта при одноосном сжатии можно отметить, что на первых ступенях нагружения деформации растут пропорционально прикладываемой нагрузке, при дальнейшем нагружении ($\sigma_1 > 0{,}5\ \sigma_{1разр}$) скорость развития деформаций образца увеличивается, а при $\sigma_1 = 0{,}9\ \sigma_{1разр}$ наблюдается значительный прирост деформаций, который составляет более 50 % от величины максимальных деформаций при разрушении образца.

Из графиков трехосных кратковременных испытаний видно, что на этапе всестороннего обжатия боковые деформации растут интенсивнее, максимальная величина боковых деформаций достигается в момент, когда вертикальные деформации составляют 25-30 % от величины предельных деформаций при разрушении. Скорость роста вертикальных деформаций начинает увеличиваться при $\sigma_1 > 0{,}3\ \sigma_{1разр}$.

При действии длительных статических нагрузок происходит увеличение деформаций образца грунта. Деформации с различной интенсивностью развивались

а)



б)

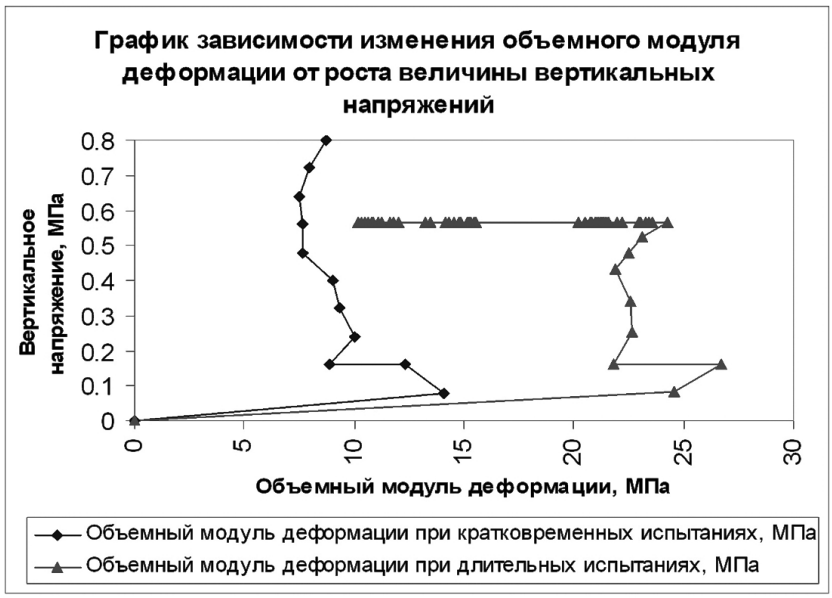


Рис. 7. Графики зависимости изменения модуля деформации от величины вертикальных напряжений

на всем протяжении испытаний. Необходимо отметить, что наиболее интенсивное развитие боковых деформаций происходило на первых этапах нагружения. Значительный прирост вертикальных деформаций произошел, когда $\varepsilon_1 = 0{,}5\ \varepsilon_{1ult}$.

Степень увеличения деформаций зависит от скорости приложения и от уровня нагрузки. При высоких уровнях вертикальной нагрузки длительность испытаний уменьшается. При низких и средних значениях вертикальной нагрузки скорость деформирования образца уменьшается, а время до разрушения увеличивается. Так, для образцов, испытанных при $\sigma_1 = 0{,}8\ \sigma_{1разр}$, испытание продлилось 28 суток, а при $\sigma_1 = 0{,}6\ \sigma_{1разр}$ длительность эксперимента составляет более 70 суток.

Характер изменения деформаций представлен на рисунке 5. На графике наглядно показано нарастание деформаций при длительных нагружениях при постоянных значениях нагрузки.

На рисунке 6 приведен сопоставительный график данных прочности и деформативности, полученных по результатам одноосных и трехосных кратковременных испытаний (образец был разрушен за 3 часа), а также длительных трехосных испытаний (продолжительность эксперимента составила 28 суток).

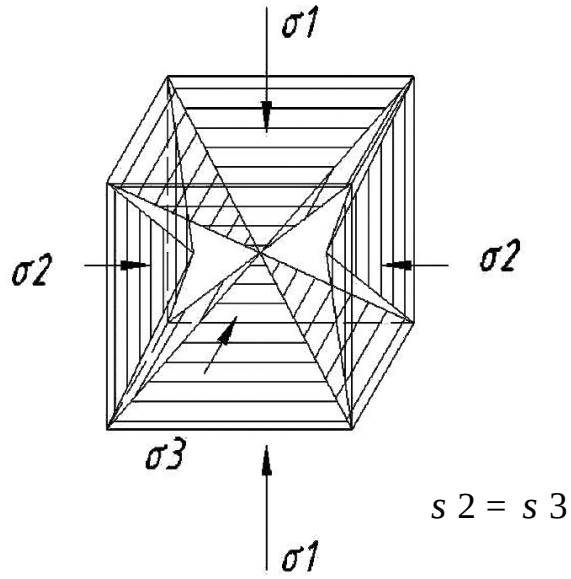


Рис. 8. Характер напряженно-деформированного состояния

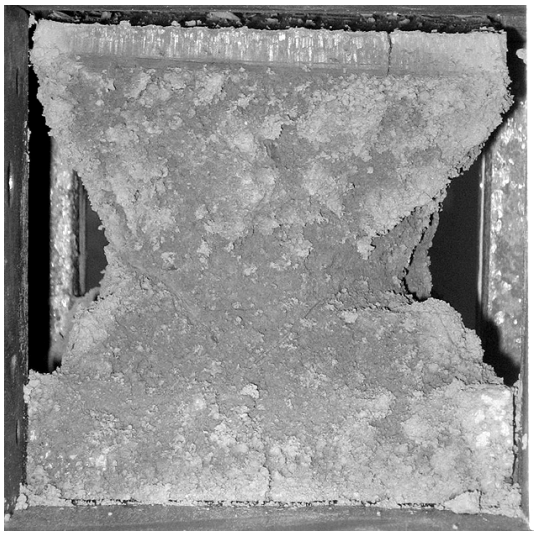


Рис. 9. Внешний вид образовавшейся уплотненной зоны после разрушения образца

Анализ результатов испытаний позволяет сделать вывод о том, что при длительных нагружениях, как и при кратковременных испытаниях, разрушение образцов происходит при достижении грунтом предельных значений деформаций.

Изменения модулей деформации при различных режимах испытаний приведены на рисунке 7. Наблюдается сложная зависимость между модулями деформации образца и значениями вертикальных напряжений.

В процессе испытаний установлен механизм разрушения опытных образцов, который заключается в следующем: при поэтапном увеличении нагрузки образуются уплотненные зоны в виде пирамид: сверху, в нижней части образца и у боковых граней. Размеры последних значительно меньше по сравнению с вертикальными (рис. 8). Верхняя и нижняя пирамиды в ходе дальнейших нагружений объединяются с образованием фигуры из двух усеченных пирамид (рис. 9).

Плотность грунта в верхней пирамиде достигла величины 2,161 г/см^3, в зоне пересечения пирамид – 2,121 г/см^3, в нижней пирамиде – 2,165 г/см^3.

Литература

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. – М.: Высш. школа, 1978. – 447 с., ил.
2. Месчан С.Р. Механические свойства грунтов и лабораторные методы их определения (с учетом времени): Учеб. пособие для строительных вузов. – М.: Недра, 1974. – 206 с., ил.
3. Месчан С.Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. – М.: Недра, 1985. – 341 с., ил.
4. Тер-Мартиросян З.Г. Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений. – М.: Стройиздат, 1990. – 200 с., ил.

УДК 532.5:621.694
С.Ю. Антонов – старший преподаватель
А.В. Антонова – кандидат физико-математических наук, доцент
Тел.: (843) 519-42-83
Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)
Я.Д. Золотоносов – доктор технических наук, профессор
Тел.: (843) 510-47-35, e-mail: zolotonosov@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНФИГУРАЦИИ ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ПРУЖИННО-ВИТЫХ КАНАЛОВ ТЕПЛООБМЕННЫХ УСТРОЙСТВ

АННОТАЦИЯ

В работе предложена математическая модель широкого класса конфигураций пружинно-витых теплообменных каналов, изменение параметров уравнений которой позволяет исследовать и в дальнейшем оптимизировать внутреннюю геометрию проточной части таких каналов. Построенная модель может быть использована при разработке программного обеспечения для процесса компьютерного управления технологией намотки. Кроме того, проведена сравнительная оценка металлоемкости пружинно-витых каналов в зависимости от угла наклона проволоки и подъема намотки с известным гладкотрубным теплообменным элементом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидромеханика, теплообменные аппараты, пружинно-витой канал.

S.Y. Antonov – senior lecturer
A.V. Antonova – candidate of physical-mathematical sciences, associate professor
Tel.: (843) 519-42-83
Kazan State Energy University (KSEU)
Ya.D. Zolotonosov – doctor of technical sciences, professor
Tel.: (843) 510-47-35, e-mail: zolotonosov@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

MATHEMATICAL MODEL OF THE CONFIGURATIONS ELLIPTICAL SPRING-CURLY CHANNELS OF HEAT EXCHANGE EQUIPMENT

ABSTRACT

In work the mathematical model of a wide class of configurations spring-curly heat exchange of channels is offered, the change of parameters of which equations allows to investigate and further to optimize internal geometry of a flowing part of such channels. The developed model can be used as the software during computer management of spring-curly technology of winding. Besides the comparative estimation of metal consumption of channels is carried out depending on a corner of rise of winding with known smooth pipes heat exchange by an element.

KEYWORDS: hydromechanics, heat exchange equipment, spring-curly channel.

Введение

Одним из путей интенсификации процессов теплообмена является создание малогабаритных теплообменных элементов, позволяющих обеспечивать требуемые значения коэффициентов теплопередачи в условиях высоких плотностей теплового потока.

Ранее в работах [1, 2] были предложены варианты геометрических конфигураций эллиптических пружинно-витых каналов, отмечены перспективность их использования при разработке и проектировании современной теплообменной аппаратуры.

Данная работа является продолжением ранее проведенных теоретических исследований и посвящена разработке математических моделей широкого класса конфигураций эллиптических пружинно-витых каналов. При этом предлагаемая математическая модель за счет изменения параметров в уравнениях модели позволяет изменять внутреннюю геометрию канала, описывать трубы змеевиковой конфигурации с различным шагом и углом подъема навивки.

Теоретическая часть

Математическая модель строится на базе фундаментальных положений аналитической и дифференциальной геометрии.

Рассматриваемый нами канал представляет собой тугую пружину с жестко скрепленными витками, каждый виток которой является аналогом пружинной (гроверной) шайбы.

Процесс образования таких каналов может быть реализован путем намотки проволоки эллиптического сечения с большой полуосью *c* и малой полуосью *d* на подложку, выполненную в виде эллиптического цилиндра с большой полуосью *a* и малой полуосью *b*, причем угол наклона α проволоки к поверхности подложки и угол намотки γ этой проволоки на подложку могут быть различны, но не меняются в течение всего процесса намотки (рис. 1).

Если при этом намотка плотная, то после микроплазменной или лазерной сварки витков и удаления подложки получается изолированный пружинно-витой канал.

Для описания витка такого канала выберем систему координат *Oxyz* так, чтобы ось *Oz* совпадала с осью симметрии канала, а оси *Ox* и *Oy* были направлены по большой и малой осям основания подложки соответственно.

Напомним, что параметрическое уравнение эллипса $\frac{y^2}{d^2}+\frac{z^2}{c^2}=1$ ($0<d\le c$) в системе координат *O'y'z'* (рис. 2) имеет вид [3]:

$$y'=\frac{d\cos\psi}{(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^{1/2}};\quad z'=\frac{d\sin\psi}{(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^{1/2}};$$

$\psi\in[0,2\pi]$, где $\varepsilon_2=\sqrt{1-\frac{d^2}{c^2}}$ – эксцентриситет эллипса. Обозначим его эллипс 1 (эл1).

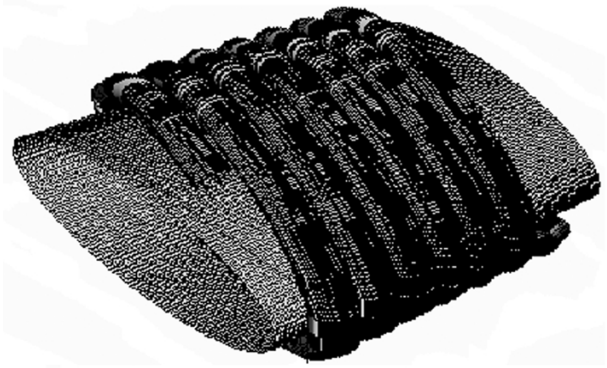


Рис. 1. Намотка эллиптической проволоки на эллиптический цилиндр

Если эллипс 1 повернуть вокруг своего центра *O'* на угол $\beta=\frac{\pi}{2}-\alpha$ против часовой стрелки, то полученный эллипс 2 (эл2) в координатах *O'y'z'* записывается уравнением

$$\frac{(y'\sin\alpha+z'\cos\alpha)^2}{d^2}+\frac{(z'\sin\alpha-y'\cos\alpha)^2}{c^2}=1,$$

причем явная зависимость *y'* от *z'* имеет вид:

$$y'_{1,2}=\frac{-(d^2-c^2)z'\sin\alpha\cos\alpha}{c^2\sin^2\alpha+d^2\cos^2\alpha}\pm$$

$$\pm\frac{dc(c^2\sin^2\alpha+d^2\cos^2\alpha-z'^2)^{1/2}}{c^2\sin^2\alpha+d^2\cos^2\alpha}. \qquad (1)$$

Для нахождения координат точки касания *K* используем условие $|y'_1-y'_2|=0$. Отсюда $z'^2=c^2\sin^2\alpha+d^2\cos^2\alpha$. Исходя из рис. 2, заключаем, что

$$z'_K=-(c^2\sin^2\alpha+d^2\cos^2\alpha)^{1/2}=-d\sqrt{\frac{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}{1-\varepsilon_2^2}}, \qquad (2)$$

$$y'_K=\frac{\sin\alpha\cos\alpha(c^2-d^2)}{(c^2\sin^2\alpha+d^2\cos^2\alpha)^{1/2}}=$$

$$=\frac{d\varepsilon_2^2\sin\alpha\cos\alpha}{\sqrt{(1-\varepsilon_2^2)(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}}. \qquad (3)$$

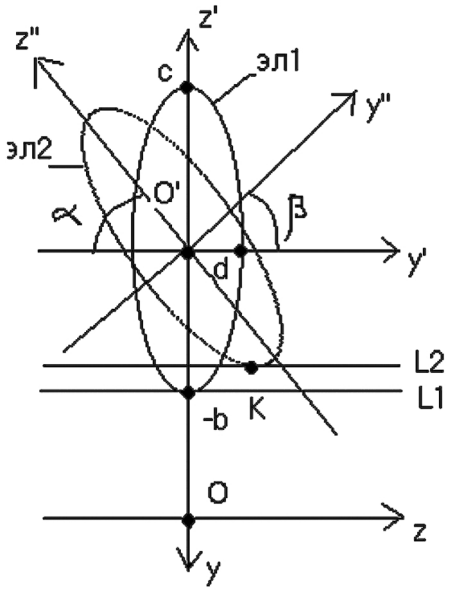


Рис. 2. Поворот эллипса вокруг своего центра

При этом расстояние от прямой l_1 до эллипса 2 равно:

$$l = c + z'_K = \frac{d}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2}} - d\sqrt{\frac{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}{1-\varepsilon_2^2}}.$$

Пусть M – произвольная точка эллипса 2, параметрическое уравнение которого в системе координат $O'y''z''$ имеет вид:

$$y'' = \frac{d\cos\psi}{(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^{1/2}};$$

$$z'' = \frac{d\sin\psi}{(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^{1/2}};\ \psi\in[0,2\pi].$$

Найдем координаты точки M в системе координат $O'y'z'$. Учитывая, что переход в эту систему координат осуществляется по формуле: $y' = y''\sin\alpha - z''\cos\alpha$; $z' = y''\cos\alpha + z''\sin\alpha$, получаем:

$$y'_M = \frac{d\sin\alpha\cos\psi}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}} - \frac{d\sin\psi\cos\alpha}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}} = \frac{d\sin(\alpha-\psi)}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}};$$

$$z'_M = \frac{d\cos\alpha\cos\psi}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}} + \frac{d\sin\psi\sin\alpha}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}} = \frac{d\cos(\alpha-\psi)}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}}.$$

Используя формулы (2), (3), получаем:

$$\overline{KM} = \overline{OM} - \overline{OK} =$$

$$= \left(\frac{-d\sin(\psi-\alpha)}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}} - \frac{d\varepsilon_2^2\sin\alpha\cos\alpha}{\sqrt{(1-\varepsilon_2^2)(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}}, \right.$$

$$\left. \frac{d\cos(\psi-\alpha)}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}} + d\sqrt{\frac{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}{1-\varepsilon_2^2}} \right),$$

а в системе координат Oyy'

$$\overline{KM} = \left(\frac{-d\cos(\psi-\alpha)}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}} - d\sqrt{\frac{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}{1-\varepsilon_2^2}}, \right.$$

$$\left. \frac{d\sin(\psi-\alpha)}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}} + \frac{d\varepsilon_2^2\sin\alpha\cos\alpha}{\sqrt{(1-\varepsilon_2^2)(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}} \right). \quad (4)$$

Сделаем теперь параллельный перенос эллипса 2 вдоль оси Oy до точки касания с прямой l_1, обозначив новый эллипс через эллипс 3 (эл3), затем эллипс 3 сдвинем параллельно оси Oz так, чтобы полученный при этом эллипс 4 имел с эллипсом 3 единственную общую точку T (рис. 3).

Используя формулу (4), легко показать, что расстояние h между точками K и K' вычисляется по формуле:

$$h = \frac{2d}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}}. \quad (5)$$

Найдем теперь в системе координат $Oxyz$ уравнение поверхности Φ, которую заметает эллипс 3, плоскость расположения которого остается все время перпендикулярной плоскости Oxy, в случае, когда точка касания K движется по сложной траектории, определяемой следующим образом:

1) точка K движется по эллиптическому цилиндру Φ_1, параметрическое уравнение которого имеет вид:

$$x = \frac{b\cos\varphi}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi}},$$

$$y = \frac{b\sin\varphi}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi}}, \quad (6)$$

$z=u$, $\varphi\in[0,2\pi]$, $u\in R$;

1) точка K движется в плоскости Π, которая в свою очередь движется поступательно в направлении оси Oz с постоянной скоростью v, причем при $v=0$ плоскость Π определяется следующими положениями K на поверхности Φ_1:

$$K = K(0) = \left(\frac{b}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2}}, 0, 0 \right);$$

$$K_1 = K\left(\frac{\pi}{2}\right) = \left(0, b, \frac{b\,tg\,\gamma}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2}} \right);$$

$$K_2 = K(\pi) = \left(\frac{-b}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2}}, 0, \frac{2b\,tg\,\gamma}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2}} \right),$$

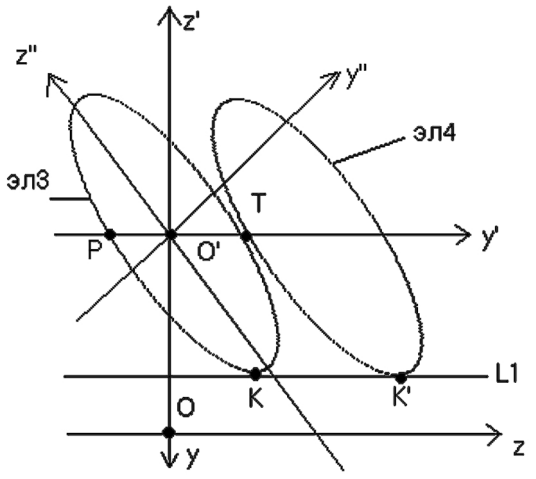


Рис. 3. Параллельное смещение эллипса вдоль оси Oz

где γ – заданный угол подъема точки *K*. Уравнение этой плоскости *П* при скорости v=0 имеет вид:

$$z = tg\,\gamma\left(\frac{b}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2}} - x\right). \qquad (7)$$

Из уравнений (6), (7) и поступательного движения точки *K* в направлении оси *Oz* с постоянной скоростью *v* находим, что в системе координат *Oxyz* траектория движения точки *K* описывается уравнениями вида:

$$x = \frac{b\cos\varphi}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi}};$$

$$y = \frac{b\sin\varphi}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi}};$$

$$z = v\varphi + b\,tg\,\varphi\left(\frac{1}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2}} - \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi}}\right);$$

$\varphi \in R$ (при $\varphi = 0$ луч *OK* совпадает с лучом *Ox*). Учитывая эти уравнения, а также формулу (4) и то, что $y'_M \le 0$ в системе координат *O'yy'*, получим, что параметрические уравнения одного витка поверхности *Ф* имеют вид:

$$x = \left(\frac{b}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi}} + d\sqrt{\frac{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}{1-\varepsilon_2^2}} + \frac{d\cos(\psi-\alpha)}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}}\right)\cos\varphi;$$

$$y = \left(\frac{b}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi}} + d\sqrt{\frac{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}{1-\varepsilon_2^2}} + \frac{d\cos(\psi-\alpha)}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi}}\right)\sin\varphi;$$

$$z = v\varphi + b\,tg\,\gamma\left(\frac{1}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2}} - \frac{\cos\varphi}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi}}\right) - \qquad (8)$$

$$-d\left(\frac{\sin(\psi-\alpha)}{\sqrt{1-\varepsilon_1^2\sin^2\psi}} + \frac{\varepsilon_2^2\sin 2\alpha}{2\sqrt{(1-\varepsilon_2^2)(1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha)}}\right);$$

$\varphi, \psi \in [0, 2\pi]$.

Из формулы (5) следует, что для практической реализации намотки проволоки эллиптического сечения на эллиптический цилиндр Φ_1 с углом подъема γ и углом поворота $\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$ необходимо, чтобы выполнялось неравенство: $v \ge v_0 = \frac{d}{\pi\sqrt{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}}$.

При этом если $v = v_0$, то получается плотная намотка (изолированный канал).

Обозначим через S_{in}, S_{ex}, S площади соответственно внутренней, внешней и полной поверхности *Ф*, определяемой параметрическими уравнениями (8). Элемент площади $d\Phi$ найдем по формуле:

$$d\Phi = \sqrt{EG - F^2}\,d\varphi d\psi,$$

где $E = x_\varphi^2 + y_\varphi^2 + z_\varphi^2$, $G = x_\psi^2 + y_\psi^2 + z_\psi^2$, $F = x_\varphi x_\psi + y_\varphi y_\psi + z_\varphi z_\psi$. Вычисляя соответствующие частные производные, мы найдем выражение для $EG - F^2$, которое представим в виде: $S_0 + S_1 + S_2$, где

$$S_0 = G\left(\frac{b^2\sin^2\varphi + b^2(1-\varepsilon_1^2)^2\cos^2\varphi}{(1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi)^3} + \right.$$

$$+\frac{2bd}{(1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi)^{1/2}}\cdot\left(\sqrt{\frac{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}{1-\varepsilon_2^2}} + \frac{\cos(\psi-\alpha)}{(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^{1/2}}\right) +$$

$$\left. + d^2\left(\sqrt{\frac{1-\varepsilon_2^2\cos^2\alpha}{1-\varepsilon_2^2}} + \frac{\cos(\psi-\alpha)}{(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^{1/2}}\right)^2\right) -$$

$$-\frac{\varepsilon_1^4 b^2 d^2\sin^2\varphi\cos^2\varphi(\varepsilon_2^2\sin\psi\cos\alpha - \sin(\psi-\alpha))^2}{(1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi)^3(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^3};$$

$$S_1 = v^2\left(G - \frac{d^2(\varepsilon_2^2\sin\psi\sin\alpha - \cos(\psi-\alpha))^2}{(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^3}\right) -$$

$$-\frac{v\varepsilon_1^2 bd^2\sin 2\varphi}{(1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi)^{3/2}(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^3}\times$$

$$\times(\varepsilon_2^2\sin\psi\cos\alpha - \sin(\psi-\alpha))(\varepsilon_2^2\sin\psi\sin\alpha - \cos(\psi-\alpha));$$

$$S_2 = \frac{tg^2\gamma\cdot b^2 d^2\sin^2\varphi)}{(1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi)^3(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^3}\times$$

$$\times(\sin^2(\psi-\alpha) + \varepsilon_2^4\sin^2\psi\cos^2\alpha + 2\sin\psi\sin\alpha\cos(\psi-\alpha) +$$

$$+\frac{2\varepsilon_1^2 b^2 d^2\sin^2\varphi\cos\varphi\,tg\,\gamma}{(1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi)^3(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^3}\times$$

$$\times(\varepsilon_2^2\sin\psi\cos\alpha - \sin(\psi-\alpha))(\varepsilon_2^2\sin\psi\sin\alpha - \cos(\psi-\alpha)) +$$

$$+\frac{2bd^2\sin\varphi\,tg\,\gamma\cdot v}{(1-\varepsilon_1^2\cos^2\varphi)^{3/2}(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^3}\times$$

$$\times(\sin^2(\psi-\alpha) + \varepsilon_2^4\sin^2\psi\cos^2\alpha + 2\sin\psi\sin\alpha\cos(\psi-\alpha));$$

$$G = \frac{d^2\cos^2\psi + d^2(1-\varepsilon_2^2)^2\sin^2\psi}{(1-\varepsilon_2^2\sin^2\psi)^3};$$

Тогда справедливы равенства:

$$S_{in} = \iint\limits_{P_1} \sqrt{S_0 + S_1 + S_2}\, d\varphi d\psi;$$

$$S_{ex} = \iint\limits_{P_2} \sqrt{S_0 + S_1 + S_2}\, d\varphi d\psi;$$

$$S = \iint\limits_{P} \sqrt{S_0 + S_1 + S_2}\, d\varphi d\psi.$$

Пределы интегрирования для нахождения площади внутренней и внешней поверхностей найдем из рис. 3 и формулы (1). В системе координат *O'y'z'* имеем, что

$$P = (y_1(0),0) = \left(\frac{-d}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2 \cos^2 \alpha}}, 0 \right);$$

$$T = (y_2(0),0) = \left(\frac{d}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2 \cos^2 \alpha}}, 0 \right).$$

Тогда в системе координат O'y"z"

$$P = \left(\frac{-d \sin\alpha}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2 \cos^2 \alpha}}, \frac{d \cos\alpha}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2 \cos^2 \alpha}} \right);$$

$$T = \left(\frac{d \sin\alpha}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2 \cos^2 \alpha}}, \frac{-d \cos\alpha}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2 \cos^2 \alpha}} \right).$$

Отсюда находим соответствующие им углы:

$$\psi_P = \pi - arctg\, ctg\, \alpha = \frac{\pi}{2} + \alpha;$$

$$\psi_T = 2\pi - arctg\, ctg\, \alpha = \frac{3\pi}{2} + \alpha.$$

Тогда пределы интегрирования

$$P_1 = \left\{ (\varphi,\psi) : \varphi \in [0,2\pi], \psi \in \left[\frac{\pi}{2} + \alpha, \frac{3\pi}{2} + \alpha \right] \right\};$$

$$P_2 = \left\{ (\varphi,\psi) : \varphi \in [0,2\pi], \psi \in \left[\alpha - \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} + \alpha \right] \right\};$$

$$P = \{ (\varphi,\psi) : \varphi \in [0,2\pi], \psi \in [0,2\pi] \}.$$

Заметим, что в случае, когда $\varepsilon_1 = \nu = \gamma = 0$, справедливо равенство:

$$S = 2\pi l \left(b + d \sqrt{\frac{1-\varepsilon_2^2 \cos^2 \alpha}{1-\varepsilon_2^2}} \right),$$

где $l = \int\limits_0^{2\pi} \sqrt{G}\, d\psi$ – длина движущегося эллипса.

На базе теоретических исследований была осуществлена проверка адекватности математической модели методом компьютерного эксперимента. На рис. 4 приведен общий вид пружинно-витого канала следующих геометрических размеров:

$$b=5,\ d=1,\ \varepsilon_1=0.8,\ \varepsilon_2=0.9,\ \alpha=0,\ \gamma=\frac{\pi}{6}.$$

Сравнение металлоемкости. Для сравнения металлоемкости эллиптического гладкого и пружинно-витого каналов заметим, что отношение масс материала, требуемого для изготовления труб одинаковой длины, равно отношению площадей поперечных сечений этих каналов (рис. 5):

$$\frac{M_{гладкой}}{M_{эллиптич}} = \frac{\rho l S_{гладкой}}{\rho l S_{эллиптич}} = \frac{S_{ABCD}}{S_{эллипса}}.$$

Используя формулы (2), (3), (5), получим, что $S_{ABCD} = \frac{4d^2}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2}}$, а площадь эллипса $S_{эллипса} = \frac{\pi d^2}{\sqrt{1-\varepsilon_2^2}}$.

Сравнение соответствующих масс показывает, что их отношение не зависит ни от угла наклона проволоки к поверхности подложки, ни от угла намотки на подложку и равно $\frac{M_{гладкой}}{M_{эллиптич}} = \frac{4}{\pi} = 1.27$, что говорит о 27 %

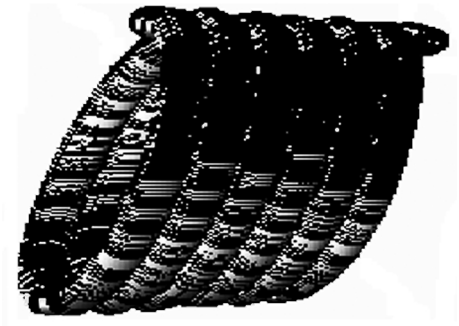


Рис. 4. Компьютерная реализация эллиптического пружинно-витого канала

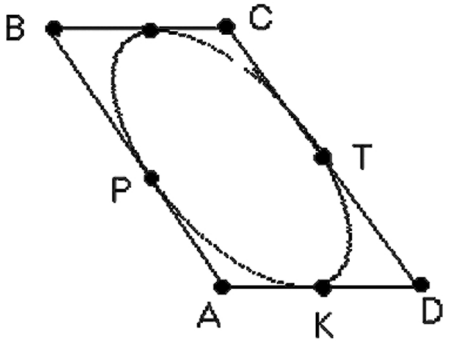


Рис. 5. Сравнение поперечного сечения эллиптической проволоки и поперечного сечения аналога витка гладкого канала

экономии потребности металла при изготовлении пружинно-витых труб по сравнению с гладкими трубами. Этот же результат был получен в работе [2] для угла намотки $\frac{\pi}{2}$. Таким образом, металлоемкость конструкции теплообменного элемента, выполненного в виде пружинно-витых труб, снижается на 27 %.

Заключение

Предложена математическая модель эллиптического пружинно-витого канала, виток которого представляет собой аналог пружинной (гроверной) шайбы, позволяющей описывать широкий класс каналов с различной геометрией проточной части.

Построенная модель позволит использовать ее при разработке программного обеспечения для процесса компьютерного управления технологией изготовления подобных каналов.

Расчеты показали, что разработанные нами пружинно-витые каналы позволяют снизить металлоемкость конструкций в среднем на 27 % по сравнению с гладким эллиптическим каналом.

Литература

1. Антонов С.Ю., Антонова А.В., Золотоносов Я.Д. Определение коэффициента теплопередачи эллиптических пружинно-витых каналов в теплообменных аппаратах // Сб. трудов XVII школы-семинара молодых ученых и специалистов “Проблемы газодинамики и тепломассообмена в аэрокосмических технологиях”. – Жуковский: ЦАГИ, т. 1, 2009. – С. 280-283.
2. Антонов С.Ю., Антонова А.В., Золотоносов Я.Д. Определение коэффициентов теплопередачи через стенку эллиптических гладких и пружинно-витых каналов теплообменных аппаратов // Известия КазГАСУ, 2009, № 1 (11). – С.158-164.
3. Воднев В.Т. Математический словарь высшей школы: Общ. часть. – М.: Изд-во МПИ, 1988. – 527 с.

УДК 66.047:536.24
М.Г. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент
А.М. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент
Тел.: 89274268348, e-mail: mjihan@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)
А.В. Дмитриев – кандидат технических наук, доцент
Нижнекамский химико-технологический институт (НХТИ)

РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АППАРАТОВ С ФОНТАНИРУЮЩИМ СЛОЕМ ПОЛИДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА. ЧАСТЬ 1. РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ СИСТЕМЫ

АННОТАЦИЯ

Сопоставляются условия фонтанирования моно- и полифракционного материала. Проведен анализ действующих сил, составлен энергетический баланс, получен безразмерный комплекс потери устойчивости неподвижного полидисперсного слоя. Предложены расчетные соотношения для определения характерного размера частиц, лимитирующих переход в режим фонтанирования. Показана возможность корректировки существующих зависимостей на основе предложенных соотношений и расчетного определения параметров фонтанирования полидисперсного материала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: фонтанирующий слой, расчетные соотношения, полидисперсная система, потеря устойчивости.

M.G. Ziganshin – candidate of technical sciences, associate professor
A.M. Ziganshin – candidate of technical sciences, associate professor
Tel.: 89274268348, e-mail: mjihan@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)
A.V. Dmitriev – candidate of the technical sciences, associate professor
Nignekamsk institute of chemical technology (NICT)

THE REGIME PARAMETERS OF WITH THE POLYDISPERSE MATERIAL SPOUTED BED DEVICES. PART 1. ANALYSIS OF POLYDISPERSE SYSTEM STABILITY LOSS

ABSTRACT

A monofractional and a polyfractional material of spouting conditions are compared. The analysis of operating forces is lead, the power balance is made, the dimensionless complex of an immobile polydisperse layer stability loss is received. Settlement parities for definition the in a spouting mode transition limiting of the particles characteristic size are offered. The opportunity of existing dependences updating on the basis of the offered parities and opportunity of a polydisperse material spouting parameters calculation is shown.

KEYWORDS: spouted bed, settlement parities, polydisperse system, stability loss.

Аппараты с взвешенным слоем сыпучего материала часто находят применение в области стройиндустрии, а также в системах обработки газовоздушных потоков производственных зданий. Среди устройств с различными способами организации взвешенного слоя (кипящий слой, восходящий пневмотранспорт) установки с фонтанирующим материалом обладают рядом преимуществ. Основное из них заключается в обеспечении стабильности взвешенного слоя для полидисперсного материала в широком диапазоне размеров частиц (ориентировочно от $30 \cdot 10^{-6}$ до $30 \cdot 10^{-3}$ м). Однако в последнее время распространение аппаратов с фонтанирующим слоем в различных областях техники заметно замедлилось, а в сфере стройиндустрии всегда имел место значительный резерв их внедрения. Одна из сдерживающих причин заключается в недостаточной надежности расчетной базы применительно к реальным процессам, хотя со времени первых исследований режимов фонтанирования, выполненных К.Б. Мазуром (K.B. Mathur) с соавторами, прошло более полувека.

Фонтанирующий режим образуется при центральной подаче струи газа под слой зернистого материала в конических и цилиндроконических аппаратах. Для их оптимального конструирования и

эффективной эксплуатации необходима достоверная информация о параметрах стадий фонтанирования. Наиболее характерными параметрами являются: расход и максимальное давление газа при фильтрации через неподвижный слой; давление и минимальная скорость газа в начале фонтанирования; давление и максимальная скорость газа перед пневмотранспортом. Теоретические и эмпирические зависимости, позволяющие определять их, получены, как правило, для слоев из элементов одинакового размера и формы.

Достаточно полные обобщения экспериментов и теории фонтанирования представлены в [1, 2]. Много работ посвящено объяснению характерного пика давления перед началом фонтанирования. С позиций аэродинамики потока и механики сыпучих материалов изучены условия потери устойчивости. Исследованы границы режимов фонтанирования. Вместе с тем в строительной сфере для реальных производственных процессов характерно использование полифракционного сыпучего материала. Полидисперсность предлагается учитывать через медианный диаметр засыпки. Однако расчеты по среднему размеру засыпки приводят к расхождению с опытными результатами определения параметров полидисперсной фонтанирующей системы на 250...400 % и более, что можно объяснить следующим.

Расчеты по среднему диаметру предполагают, что искомое свойство неоднородной системы адекватно определяется по правилу аддитивности, что может быть справедливо при расчетах экстенсивных свойств, например, плотности смеси. Таким характерным свойством сыпучего материала в режимах фильтрации и перехода к фонтанированию является насыпная плотность, а в режиме устойчивого фонтанирования – кажущаяся. Однако в засыпке из полидисперсного материала на насыпную плотность сильно влияет фактор случайности первичной упаковки и последующего переуплотнения. В общем случае насыпная плотность смеси не будет соответствовать величине, вычисленной по сумме долей от насыпной плотности каждой фракции, пропорциональных их содержанию. Поэтому средний диаметр не может служить параметром, адекватно характеризующим условия потери устойчивости такого слоя. Кажущаяся плотность частиц среднего размера также не может адекватно отображать инерционных свойств полидисперсной системы, т.к. средний размер взвешенных частиц стохастическим образом изменяется во времени. Подсчет режимных параметров по среднему диаметру этого не учитывает.

Размеры частиц, определяющих параметры фонтанирования полидисперсного материала, специфичны для каждого режима. Для развитого фонтанирования это размер наибольшей фракции, а для режима с максимальной скоростью – наименьшей. Размер частиц, лимитирующих переход от фильтрации к фонтанированию, для полидисперсной смеси заранее неизвестен. В целом, вопрос о параметрах, определяющих свойства полидисперсной смеси в процессе фонтанирования, пока разработан недостаточно, что показывает и сравнение результатов расчетов с опытом.

Максимальные давления при переходе полидисперсного слоя, рассчитанные по эмпирическим зависимостям для монодисперсных слоев, завышены в 2,5-4 и более раз по сравнению с экспериментально наблюдаемыми. Но при одинаковой высоте масса полидисперсной засыпки практически всегда больше, чем монодисперсной. Поэтому наблюдаемые давления должны были бы превосходить рассчитанные по среднему диаметру. Следовательно, он не является адекватной характеристикой свойств полидисперсной засыпки, лимитирующих переход в подвижное состояние. Достоверное нахождение лимитирующего размера полидисперсной системы должно обеспечить адекватность вычисления параметров ее фонтанирования.

Меньшие значения экспериментально наблюдаемых давлений в полидисперсном слое указывают также на меньшую затрату энергии при перестройке его структуры по сравнению с монодисперсным. Внешняя сила механического воздействия газового потока на неподвижный сухой сыпучий материал при отсутствии других внешних воздействий уравновешивается силой, создаваемой тяжестью и межмолекулярным взаимодействием. Доля внешней силы и силы тяжести передается на межмолекулярные связи, вызывая рост амплитуд и частот колебаний поверхностных ионов, их поляризацию, деформацию поверхностных слоев, и в итоге – рост адгезии частиц. Влияние межмолекулярного взаимодействия существенно для субмиллиметровых фракций частиц и возрастает с уменьшением их размера.

Равномерно упакованная система одинаковых сферических элементов требует максимальной затраты работы на нарушение связей, удерживающих ее в равновесии. В полидисперсной хаотически упакованной системе внешние силы распределяются неравномерно. Для нарушения равновесия системы достаточно нарушить слабейшую связь. Легче поддались бы эрлифту самые мелкие фракции засыпки, но сила их межмолекулярного взаимодействия максимальна в данной системе (ориентировочно она обратно пропорциональна шестой степени отношения диаметров частиц). Крупные же фракции обладают наибольшей скоростью витания. Очевидно, при начальном минимальном усилии будут приведены в движение частицы промежуточного или минимального размера. Их место займут более крупные частицы. Затем система может обрести новое состояние равновесия или перейти в режим фонтанирования, что зависит от материала, формы и дисперсного состава частиц, величины внешней энергии, параметров газа и других факторов.

Характеристики режима фильтрации газа, подготавливающего структуру слоя к фонтанированию, специфичны для совокупностей частиц различных материалов и размеров. Основные свойства конкретных фракций полидисперсной системы и частиц усредненного размера не тождественны. Вместе с тем учет специфичных свойств каждой фракции в теории и на практике затруднителен. Размеры частиц, адекватно определяющих параметры перехода в режим фонтанирования, можно получить из условия нарушения равновесия между внешней силой и силами тяжести и межмолекулярного взаимодействия. Для реальных условий, при обработке влажного материала или газа, будет существенным и вклад капиллярных сил.

Нарушение равновесного состояния полидисперсной засыпки начнется с частиц некоторого лимитирующего размера $D_{\lim}$, скорость витания которых окажется ниже действительной скорости потока по месту их расположения в неподвижном слое. Энергии потока должно быть достаточно и для преодоления аутогезионного взаимодействия частиц этого размера. При их эрлифте частицы следующего, более крупного, размера $D_{\lim+1}$, еще остаются неподвижными, но имеют уже достаточную порозность. Исходя из этого, можно принять, что сила, необходимая для нарушения равновесия, должна превосходить силы тяжести и всех взаимодействий частиц фракции, включающей лимитирующий размер, но остается еще меньше силы тяжести частиц более крупной фракции.

Между частицами субмиллиметрового диапазона можно считать существенными межмолекулярные и капиллярные взаимодействия. Форму зависимости энергии вандерваальсовых взаимодействий E_{VdW} от расстояния получают из приближенного решения задачи о нулевых колебаниях атомов водорода как квантующихся осцилляторов: $E_{VdW} = \mathbf{h}\omega(1 - Cl^{-n})$ Дж. В этом выражении l, м – расстояние между центрами взаимодействующих молекул как колеблющихся мультиполей; $\mathbf{h}\omega$, Дж – постоянная Липшица – Ван дер Ваальса, значение которой зависит от вида взаимодействующих веществ; значения показателя степени n и коэффициента C подбираются эмпирически. По [3], для твердых материалов в воздушной среде $\mathbf{h}\omega = (1{,}6\text{-}16)\cdot 10^{-19}$ Дж на пару взаимодействующих элементов, или $\mathbf{h}\omega_N = (4{,}8\text{-}48)\cdot 10^{7}$ Дж на 1 кмоль таких пар. Необходимо также учесть, что пары контактирующих структурных единиц материала (атомов, ионов) располагаются на поверхностях частиц. Доля поверхностных единиц по отношению к их общему числу в пределах размеров частиц 60-700 мкм согласно [4] $s = 10^{-6}\text{-}0{,}7\cdot 10^{-8}$. В [5] указывается на ослабление вандерваальсового взаимодействия из-за того, что вследствие неровностей не все пары поверхностных элементов соприкасающихся частиц находятся на равновесных расстояниях. С учетом коэффициента ослабления $l = 5\cdot 10^{-2}\text{–}10^{-1}$ и числа взаимодействующих пар $N = (N_A/2)\cdot s\cdot l$ получим для засыпки из частиц размером 700 мкм $\mathbf{h}\omega = \mathbf{h}\omega_N \cdot s_{700} \cdot l_{700} = 3{,}36\cdot 10^{-2}\text{–}3{,}36\cdot 10^{-1}$ Дж/кмоль, и частиц размером 60 мкм $\mathbf{h}\omega = \mathbf{h}\omega_N \cdot s_{60} \cdot l_{60} = 2{,}4\text{-}24$ Дж/кмоль. Используем еще из ([5]) эмпирическую зависимость силы взаимодействия между частицами радиусом R от расстояния r между ними: $F_{VdW} = RE_{VdW}/(4r^2)$. Со значением $E_{VdW} = \mathbf{h}\omega\left(2-\sqrt{2}\right)\Big/2$, полученным из уточненного решения задачи о нулевых колебаниях ([6]), представим:

$$F_{VdW} = R\,E_{VdW}\Big/(4r^2) = R\mathbf{h}\omega\left(2-\sqrt{2}\right)\Big/\left(8r^2\right). \quad (1)$$

При фильтрации влажного воздуха возможна конденсация пара с образованием в местах контакта прослоек капельной жидкости. Капиллярное взаимодействие, удерживающее частицы за счет поверхностного натяжения σ, Н/м: $F_\sigma = 8\sigma R$ ([3]). При влажности более 80 % оно может стать больше вандерваальсового, а их совместная сила – превзойти силу тяжести частиц.

В общем случае величина внешней силы, необходимой для нарушения равновесия полидисперсной системы, $F = F_{VdW} + F_\sigma + P_{\lim} < P_{\lim+1}$, или, с использованием выражения (1),

$$R_{\lim}\mathbf{h}\omega\left(2-\sqrt{2}\right)\Big/8r^2 + 8\sigma R_{\lim} +$$

$$+ 4\pi R_{\lim}^3\rho_{\lim}g\Big/3 < 4\pi R_{\lim+1}^3\rho_{\lim+1}g\Big/3, \quad (2)$$

где $P_{\lim}$, $P_{\lim+1}$, $R_{\lim}$, $R_{\lim+1}$, $\rho_{\lim}$, $\rho_{\lim+1}$ – соответственно, вес, Н, радиусы, м и насыпные плотности, кг/м^3, частиц лимитирующей и последующей фракций.

Равновесные расстояния вандерваальсового взаимодействия значительно меньше размеров частиц, ввиду чего считаем расстояние между их центрами r приблизительно равным $2R$. Приняв еще, что для одного материала $\rho_{\lim} = \rho_{\lim+1} = \rho_p$, и обозначив $R_{\lim+1}/R_{\lim} = \varphi$, преобразуем **(2)** и получим условие нарушения равновесия полидисперсной системы в энергетическом представлении:

$$4\pi R_{\lim}^4\rho_p g\left(\varphi^3-1\right)\Big/3 - 8\sigma R_{\lim}^2 - \mathbf{h}\omega\left(2-\sqrt{2}\right)\Big/32 > 0. \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет получить условие потери устойчивости неподвижной полидисперсной системы в виде безразмерного параметра

$$LS = 2244{,}76R_{\lim}^4\rho_p\left(\varphi^3-1\right)\Big/\left(437{,}02\sigma R_{\lim}^2 + \mathbf{h}\omega\right) > 1. \quad (4)$$

При продувке неувлажненных измельченных материалов осушенным газом наиболее существенны вандерваальсовы взаимодействия и силы тяжести частиц. Тогда выражение **(4)** можно представить в виде:

$$LS = 2244{,}76R_{\lim}^4\rho_p\left(\varphi^3-1\right)\Big/\mathbf{h}\omega > 1. \quad (5)$$

При высокой влажности частиц и/или продуваемого газа капиллярное взаимодействие может стать больше вандерваальсового. Тогда потерю устойчивости слоя можно оценивать по энергии, необходимой для разрыва связей капиллярного взаимодействия, и механической энергии потока на преодоление силы тяжести. Выражение **(4)** преобразуется в

$$LS = 5{,}14R_{\lim}^2\rho_p\left(\varphi^3-1\right)/\sigma > 1. \qquad (6)$$

Условие потери устойчивости полидисперсной системы позволяет также находить соотношение определяющих размеров частиц минимальной и последующей фракций R_{lim} и R_{lim+1}. Если преимущественно капиллярное взаимодействие, то в соответствии с **(6)**

$$R_{\lim} > \pm 0{,}44\sqrt{\sigma/\left[\rho_p\left(\varphi^3-1\right)\right]}. \qquad (7)$$

При преимущественно вандерваальсовом взаимодействии, из **(5),**

$$R_{\lim} > \pm 0{,}145\left\{\hbar\omega/\left[\rho_p\left(\varphi^3-1\right)\right]\right\}^{0,25}. \qquad (8)$$

В общем случае

$$R_{\lim} > \pm 0{,}312\sqrt{\frac{\sigma \pm \sqrt{\sigma^2 + 0{,}047\rho_p\left(\varphi^3-1\right)\hbar\omega}}{\rho_p\left(\varphi^3-1\right)}}. \qquad (9)$$

Из 4 корней зависимостей (8, 9) два комплексных и один действительный отрицательный. Но при $\varphi>1$ каждое из выражений дает по одному действительному положительному корню, что удовлетворяет физическим условиям решаемой задачи.

При φ, близком к 1, зависимости (7, 8, 9) могут давать недостаточно объективные результаты. Такие случаи характерны для сыпучего материала, гранулометрический состав которого приближается к монодисперсному, что может иметь место, например, при обработке воздуха адсорбентом в виде гранул или таблеток, при сушке зерновых культур и т.д. Тогда $R_{\lim}$ в соответствии с (9) может стать математически неопределенным. Однако значение $\varphi=1$ не соответствует условиям поставленной задачи. В данной работе рассматриваются характеристики полидисперсной засыпки, значение φ для которой существенно отличается от 1. Для определения режимных характеристик фонтанирования монодисперсных или близких к ним по гранулометрическому составу сыпучих материалов рассчитывать значение $R_{\lim}$ не имеет смысла. Характерный размер элементов подобных засыпок, используемых для расчетов требуемых параметров, известен заранее. Для них также известен ряд проверенных многими исследователями и ставших классическими расчетных соотношений, таких как эмпирическая зависимость скорости начала фонтанирования w_b от характеристик частиц твердой фазы, предложенная К.Б. Мазуром ([7]):

$$w_b = \left(D_p/D\right)\left(d_0/D\right)^{0,33}\sqrt{2gH_0\left(\rho_p-\rho_G\right)/\rho_G}, \qquad (10)$$

где D_p, D – диаметр частиц и верхнего основания слоя, м; ρ_p, ρ_G – плотность частиц и газа, кг/м^3; H_0 – высота слоя, м.

Выражение $\sqrt{2gH_0}$ в (10) должно представлять величину начальной скорости, которую имеет частица до преодоления слоя высотой H_0. Однако в традиционных конструкциях конических и цилиндроконических аппаратов скорости частиц у основания конуса равны нулю вследствие изменения направления движения на противоположное.

Величину сопротивления фонтанирующего слоя для практических расчетов М.И. Рабиновичем с авторами ([2]) предлагается принимать по соотношению:

$$\Delta P_f = Cg\rho_a H_0, \qquad (11)$$

где ρ_a – насыпная плотность частиц кг/м^3, C = (0,64-0,75) – коэффициент.

В (11) также очевидно присутствует начальная скорость $\left(\sqrt{2gH_0}\right)^2$. Поэтому модели, принятые в ([2, 7]), при составлении зависимостей (10, 11) могут использоваться для аппаратов, в которых сопло, подводящее поток воздуха, выступает над основанием конической части. Тогда на уровне среза сопла начальная скорость за счет инжектирующего эффекта не будет равна нулю. У таких аппаратов при расчетах соответствующих параметров по формулам (10, 11) высоту слоя неподвижной засыпки H_0 необходимо отсчитывать от уровня среза сопла. Эти зависимости применимы при нахождении характеристик фонтанирования полидисперсного слоя в подобных аппаратах, но нуждаются в эмпирических поправках. Так, в выражении (11) необходимо введение корректирующей поправки к численному параметру C. Он получен, по данным авторов ([2]), при испытаниях аппаратов с крупной засыпкой. Инжекция потоком крупных частиц, начиная с миллиметрового диапазона, могла бы заметно повлиять на результаты опытов при скорости потока на срезе сопла, сопоставимой со скоростью витания, т.е. выше 10-20 м/с. Поэтому инжектирующий эффект в параметре C выражения **(11)** не учтен.

В [1] для определения w_{cr} и w_b предложена эмпирическая зависимость, построенная на другом принципе:

$$\mathrm{Re}_{cr(b)} = B\cdot\mathrm{Re}_t\left(\frac{D}{d_0}-1\right)^{0,82}\left(\mathrm{tg}\frac{\theta}{2}\right)^{0,1}, \qquad (12)$$

где Re_t – критерий Рейнольдса, подсчитываемый по скорости витания частиц w_t диаметром D_p; B –

эмпирический коэффициент, значение которого 0,364 для Re_{cr} и 0,706 для Re_b; D, d_0 – диаметры верхнего основания слоя и нижнего основания конуса, м; θ – угол раскрытия конуса.

Отмеченная модель физически корректно, через скорость витания, связывает w_{cr} и w_b с размером отдельной частицы. Характеристики засыпки как совокупности частиц (насыпная плотность, высота слоя, силы взаимодействия и др.) однозначно фиксируются в ней эмпирическими параметрами. Если указанные характеристики отличаются от имевших место в работе [1], то до применения выражения (12) к полидисперсному материалу необходима его опытная корректировка.

В заключении теоретической части исследования можно сделать следующие выводы. Классические зависимости (10, 11, 12) физически корректно описывают процесс фонтанирования монофракционного материала и могут служить основой расчетных соотношений для аналогичных параметров полидисперсной засыпки. Выражения (10, 11) учитывают и некоторые конструктивные особенности, обеспечивающие энергоэкономичность аппаратов с фонтанирующим материалом. Составлен энергетический баланс с учетом вандерваальсовых и капиллярных сил, из условия нарушения которого получен безразмерный параметр потери устойчивости слоя *LS*. Он позволяет находить размер частиц фракции, лимитирующей начало фонтанирования, если соотношение размеров соседних фракций φ существенно отличается от 1. Для проверки положений, разработанных в теоретической части, необходимо выполнение соответствующих экспериментальных исследований.

Литература

1. Романков П.Г., Рашковская Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Л.: Химия, 1979. – 272 с.
2. Рабинович, М.И. Тепловые процессы в фонтанирующем слое. – Киев: Наукова думка, 1977. – 174 с.
3. Ейтс, Дж. Основы механики псевдоожижения с приложениями. – М.: Мир, 1986. – 288 с.
4. Губин С.П. Химия кластеров. Основы классификации и строение. – М.: Наука, 1987. – 263 с.
5. Massimila L., Donsi G. Powder Tech., 1976, 15, p. 253.
6. Зиганшин М.Г. Теоретические основы пылегазоочистки. – Казань: Изд-во КазГАСУ, 2005. – 262 с.
7. Mathur K.B., Gishler P.E., Amer. Inst. Chem. Eng. J., 1955, v.1, № 2, p. 157.

УДК 66.047:536.24
М.Г. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент
А.М. Зиганшин – кандидат технических наук, доцент
Тел.: 89274268348, e-mail: mjihan@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)
А.В. Дмитриев – кандидат технических наук, доцент
Нижнекамский химико-технологический институт (НХТИ)

РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АППАРАТОВ С ФОНТАНИРУЮЩИМ СЛОЕМ ПОЛИДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА. ЧАСТЬ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФОНТАНИРОВАНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты опытного исследования аппарата с фонтанирующим слоем полидисперсного материала. Скорректированные на их основе теоретические соотношения позволили получить расчетные зависимости для нахождения режимных параметров подобных устройств. Результаты исследований обеспечивают возможность оптимизации их конструкций и режимных параметров при проектировании и эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: опытное исследование, зависимости, режимные параметры, проектирование, эксплуатация, фонтанирующий слой.

M.G. Ziganshin – candidate of technical sciences, associate professor
A.M. Ziganshin – candidate of technical sciences, associate professor
Tel.: 89274268348, e-mail: mjihan@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)
A.V. Dmitriev – candidate of the technical sciences, associate professor
Nignekamsk institute of chemical technology (NICT)

THE REGIME PARAMETERS OF WITH THE POLYDISPERSE MATERIAL SPOUTED BED DEVICES. PART 2. OF THE POLYDISPERSE MATERIAL SPOUTING PARAMETERS DEFINITION

ABSTRACT

The experimented researches of the with a polydisperse material spouting bed device are resulted. The on their basis corrected theoretical parities the dependences for a finding of similar devices regime parameters receiving have allowed. Results of researches provide an opportunity of their designs and regime parameters optimization at designing and operation.

KEYWORDS: experimented research, dependences, regime parameters, designing, operation, spouting bed.

С целью уточнения теоретических разработок, представленных в части 1 настоящего исследования, проведено экспериментальное изучение процесса фонтанирования в контактном аппарате, предназначенном для обработки вентиляционных выбросов и сушки диспергированного материала. Эксперименты проводились с двумя типами засыпок: материала, близкого к монофракционному (узкая фракция порошка γ-оксида железа Fe_3O_4 с отношением размеров частиц соседних фракций менее 1,1), и полидисперсного (шамотная крошка размером от 63 до 710 мкм).

Схема установки приведена на рис. 1. Воздух подавался вентилятором 1 через сопло 2 в коническую часть контактного аппарата 3, где располагался слой сыпучего материала. Расход выбросов определялся при помощи диафрагмы 4 и микроманометра 5, а перепад давления фонтанирующего слоя – при помощи U-образного манометра 6. Через штуцер 7 по необходимости производилась добавка материала.

Несмотря на цилиндроконическую геометрию аппарата, он испытывался как конический. Цилиндрическая часть аппарата не заполнялась. В основном ее предназначение заключалось в обеспечении ряда технических условий, таких как: увеличение времени контакта потока и частиц, уменьшение их уноса, возможность установки фильтра для мелких фракций. Одновременно обеспечивалось и свободное развитие фонтанирующего слоя. После контактного аппарата выбросы подавались на дальнейшую ступень обработки или удалялись.

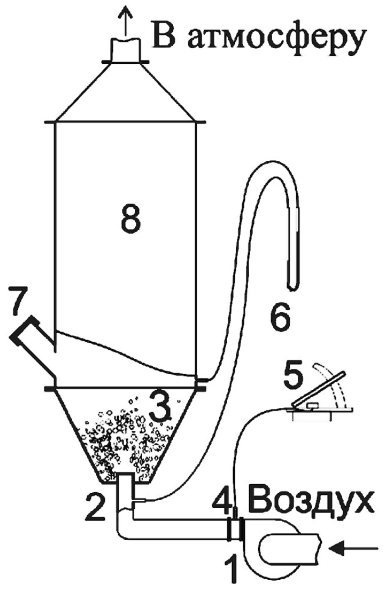


Рис. 1. Схема контактного аппарата с фонтанирующим полидисперсным материалом:
1 – вентилятор, 2 – сопло, 3 – коническая часть с фонтанирующим слоем, 4 – диафрагма, 5 – микроманометр, 6 – U-образный манометр, 7 – патрубок для подачи материала, 8 – цилиндрическая часть

С целью энергосбережения при подаче газового потока входная часть аппарата выполнена с двумя конструктивными отличиями от традиционных устройств. Для создания эффекта инжекции сопло, формирующее поток газа, установлено на 5 мм выше основания конуса. Входная часть отличается также тем, что поток подается под слой не по всему сечению нижнего основания диаметром d_1 = 38 мм, а через сопло диаметром d_0 = 25 мм. Поэтому первичные процессы – фильтрация и увеличение порозности слоя – распространяются только на часть неподвижного слоя.

Основными параметрами, характеризующими энергозатраты в начале режима фонтанирования, являются критическая скорость w_{cr}, соответствующая пику давления, и скорость начала фонтанирования w_b. Они зависят от физических характеристик твердой фазы, конструктивных параметров аппарата (геометрических характеристик слоя) и др.

В представленном аппарате проведено исследование режимов фонтанирования двух типов засыпок – с монофракционным и полидисперсным материалами. Испытания монофракционного материала – порошка γ-оксида железа Fe_3O_4, состоящего из игольчатых частиц средним размером 0,1 мм, – проводились как тестовые с целью эмпирического учета особенностей исследуемого аппарата и слоя, отличающих их от условий классических испытаний. Результаты испытаний приведены на рис. 2 (кривая *а*). Началу фонтанирования соответствует точка *A* при скорости потока w_b = 0,7 м/с и сопротивлении слоя 235 Па. При этом пика давления не обнаружено. Увеличение скорости газа до 1,2 м/с привело к росту давления до 243 Па (точка В). При дальнейшем увеличении скорости газа сопротивление фонтанирующего слоя оставалось практически постоянным (точки С, Д, Е).

Качественные и количественные отличия опытного графика по сопротивлению фонтанирующего слоя от описанных в литературе вызваны отмеченными конструктивными особенностями контактного аппарата. Инжектирующий эффект в области выхода газового потока из сопла обеспечил частицы начальной кинетической энергией, в связи с чем происходила более плавная перестройка структуры слоя и с меньшими энергозатратами.

Сравним результаты экспериментов с расчетными данными по соотношениям (10, 11, ч. 1), включающим в себя величину начальной скорости частицы в виде $\sqrt{2gH_0}$. В соответствии с (11, ч. 1) при насыпной плотности частиц ρ_a = 2810 кг/м^3 и H_0 = 0,05 м получим: ΔP_f = (882-1033) Па (рис. 2, кривая *б*). По экспериментальным данным (рис. 2, кривая *а*) в режиме развитого фонтанирования максимальная величина давления ΔP_f = 250 Па (точки С и Д), т.е. расчетная величина давления в 3,5-4 раза выше экспериментальных данных. Коэффициенты рекомендуемого для расчетов выражения (11, ч. 1) устанавливались по результатам испытаний аппаратов традиционных конструкций. Поэтому для рассматриваемой конструкции необходима опытная корректировка коэффициентов.

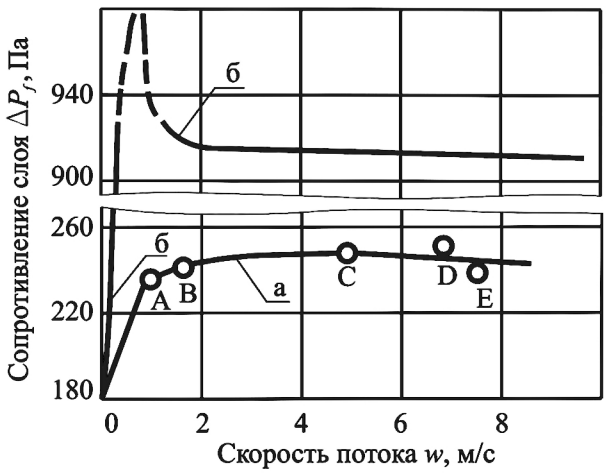


Рис. 2. Параметры режима фонтанирования порошка γ-оксида железа Fe_3O_4:
а – экспериментальные, б – рассчитанные по формуле (11, ч. 1). Высота слоя 60 мм. Точки на экспериментальной кривой: А – начало фонтанирования при скорости потока *w* = 0,7 м/с и сопротивлении слоя ДP_f=235 Па; В, С, Д, Е – промежуточные контрольные точки в режиме устойчивого фонтанирования с параметрами: 1,2 м/с, 243 Па; 4,9 м/с, 247 Па; 6,8 м/с, 250 Па; 7,5 м/с, 238 Па

По (10, ч. 1) скорость начала фонтанирования при медианном диаметре частиц D_m = 0,1 мм, D = 70 мм, d_0 = 25 мм, плотности материала частиц ρ_p = 7301,2 кг/м^3 составляет w_b=0,078 м/с, что на порядок ниже экспериментальных данных.

Определим также скорости критическую и начала фонтанирования по обобщенной на основе закономерности движения частиц в восходящем потоке воздуха эмпирической зависимости (12, ч. 1), представив ее в виде:

$$w_{cr} = 0,364 w_t \left(\frac{D}{d_0} - 1\right)^{0.82} \left(\mathrm{tg}\frac{\theta}{2}\right)^{0,1};$$

$$w_b = 0,706 w_t \left(\frac{D}{d_0} - 1\right)^{0.82} \left(\mathrm{tg}\frac{\theta}{2}\right)^{0,1}, \qquad (1)$$

где w_t – скорость витания частиц, м/с; θ = 30° – угол раскрытия конуса испытанного контактного аппарата.

В воздухе при нормальных условиях скорость витания w_t частиц с размером 0,1 мм и плотностью ρ_p = 7300 кг/м^3 равна 2,1 м/с. Тогда, в соответствии с (1), w_{cr} = 1,09 м/с, и w_b = 2,1 м/с. Следовательно, по соотношениям (12, ч. 1, 1), в которых отсутствует учет инжекции частиц потоком, скорости завышены по сравнению с экспериментом более чем на 250 %.

По сравнению с экспериментальными данными результаты расчета w_b для слоя порошка оксида железа по выражению (10, ч. 1) занижены на порядок. Это объясняется тем, что оно основано на данных экспериментов с монофракциями частиц сферической формы и размером в несколько миллиметров. Для вычисления по (10, ч. 1) параметров фонтанирования фракций частиц меньшего размера необходима поправка на размер $\Delta=[(\delta - D_p) / (D_p)]^2$, а частиц некомпактной формы – и на форму Ф. Для частиц, форма которых сильно отличается от компактной, потребуется эмпирический подбор поправки Ф. При этом целесообразно принять ее в виде обычно используемого в таких случаях коэффициента формы, определенного, например, в [1] как «площадь поверхности сферы, объем которой равен объему частицы, отнесенная к площади поверхности частицы», с эмпирическим корректирующим коэффициентом k.

Необходимо также учесть еще одну отмеченную выше конструктивную особенность исследуемого аппарата. Выражение (10, ч. 1) составлено для устройств, в которых поток подается через все нижнее основание конуса. Если в нем установлено приподнятое сопло равного диаметра, то за счет инжекции будут приобретать начальную скорость $w_0 = \sqrt{2gH_0}$ и приходить в движение все частицы неподвижного слоя по периметру сопла. Диаметр сопла d_0 в исследованном аппарате меньше диаметра нижнего основания конуса d_1= 38 мм. Поэтому на частицы, расположенные в кольце площадью $Q = 0,785\left(d_1^2 - d_0^2\right)$ на уровне сопла и выше у конусных стенок, инжектирующий эффект в начальный момент не распространится, что может послужить причиной возрастания значения начальной скорости. Для учета этой особенности в величину $\sqrt{2gH_0}$ необходимо внести поправку в виде безразмерного конструктивного симплекса Ξ = (1 – Q_r), в котором $Q_r = \left(d_1^2 - d_0^2\right) \Big/ d_0^2$ – относительная площадь. Очевидно, при равенстве диаметров сопла и нижнего основания конуса Ф = 1. Преобразуем (10, ч. 1) с учетом вышесказанного:

$$w_b = \Delta \cdot k\Phi \frac{D_p}{D}\left(\frac{d_0}{D}\right)^{0,33} \sqrt{2gH_0 \Xi \frac{\rho_p - \rho_G}{\rho_G}} =$$

$$= \frac{\Delta \cdot k\Phi D_p d_1}{D^{1.33} d_0^{0.67}} \sqrt{2gH_0 \frac{\rho_p - \rho_G}{\rho_G}}. \qquad (2)$$

Для исследованного случая Ф≈0,5, а Δ·k изменяется в пределах от 12 до 20; здесь средние размеры частиц по литературным данным δ≈2,1 мм, по опытным данным D_p = 0,1 мм, опытное значение k = (0,03-0,05). В соответствии с (2), при опытных значениях D = 70 мм, H_0 = 55 мм значение w_b = (0,72-1,2) м/с. Таким образом, тестовые испытания на монофракционном материале позволили подобрать эмпирические соотношения параметров, учитывающих отличия проводимого эксперимента от классического, типичные и для реальных процессов.

Для экспериментального исследования параметров фонтанирования полидисперсного материала была использована шамотная крошка. Измельченный шамот классифицировали на ситах по размерам фракций от 0,063 до 0,71 мм, из сочетаний которых составляли различные варианты засыпок. Насыпная плотность слоя ρ_a≈1500 кг/м^3, плотность шамота ρ_p = 2800 кг/м^3. На рис. 3 приведены результаты испытаний режимов фонтанирования композиции из равных массовых долей фракций с размерами частиц 0,4-0,5, 0,5-0,63 и 0,63-0,71 мм (медианный диаметр D_m = 0,55 мм, среднее значение φ = 1,22).

В исследованных режимах (на рис. 3 им соответствуют линии и индексы 1, 2, 3) количество материала в засыпках соотносилось как 1:2:4. При этом конусная часть аппарата заполнялась на высоту 40, 60 и 80 мм. Параметры точек a_i, b_i соответствуют началу фильтрации и максимальному сопротивлению слоя, c_i, d_i – началу и концу устойчивого фонтанирования. Кривые $a_i f_i$, $f_i b_i$ соответствуют фильтрации через неподвижный слой с начальной структурой и возросшей порозностью, кривая 4 – сопротивлению ΔP_a конусной части пустого аппарата.

Рис. 3. Зависимость аэродинамического сопротивления от скорости потока

Определим размер частиц, лимитирующих потерю устойчивости слоя, по (8, ч. 1) для осушенного воздуха, считая существенным только вандерваальсово взаимодействие. Зависимость постоянной Липшица – Ван дер Ваальса от лимитирующего радиуса частиц $\mathbf{h}\omega_R = f\left(R_{\lim}\right)$ в интервале размеров полидисперсной смеси испытанного состава $2R_{\lim}=710\cdot10^{-6}$-$400\cdot10^{-6}$ м получим, используя найденные в части 1 значения $\mathbf{h}\omega = 3{,}36\cdot10^{-2}$-24 Дж/кмоль для интервала размеров $2R_{\lim}=710\cdot10^{-6}$-$60\cdot10^{-6}$ м. Интерполированием в указанных пределах получим: $\mathbf{h}\omega_R = 26{,}179 - 36871{,}385\cdot 2R_{\lim}$ Дж/кмоль. Для количества вещества M_p кмоль в частице искомого размера $R_{\lim}$:

$$\mathbf{h}\omega_p = \mathbf{h}\omega_R M_p = 4\pi\mathbf{h}\omega_R R_{\lim}^3 \rho_p / 3M =$$

$$= \left(109{,}65 - 154446{,}35\cdot 2R_{\lim}\right) R_{\lim}^3 \rho_p / M, \quad (3)$$

где M = 102 кг/кмоль – молекулярная масса вещества частицы, принятая по шамоту (Al_2O_3).

Используем (3) в (8, ч. 1):

$$R_{\lim} = 0{,}145\sqrt[4]{\frac{\mathbf{h}\omega_p}{\rho_p\left(\varphi^3-1\right)}} =$$

$$= 0{,}145\sqrt[4]{\frac{\left(109{,}65 - 154446{,}35\cdot 2R_{\lim}\right)R_{\lim}^3}{M\left(\varphi^3-1\right)}}. \quad (4)$$

Из (4) получим $R_{\lim}=220{,}5\cdot10^{-6}$ м и $D_{\lim}=441\cdot10^{-6}$ м. Сопоставим результаты экспериментов и расчета по соотношениям (10, 11, 12, ч. 1), используя значения медианного и лимитирующего диаметров.

Расчет по (11, ч. 1) на основе $D_{\lim}$ для 1, 2 и 3 слоев (рис. 3) дает значения ΔP_f в пределах (375-440) Па, (560-660) Па и (750-880) Па соответственно. Это в 1,5-2 раза превышает экспериментальные данные (рис. 3), что объясняется наличием инжекции частиц потоком у среза сопла. Вместе с тем влияние этого эффекта зависит от размера частиц. Поэтому в расчетах ΔP_f полидисперсного материала выражение (11, ч. 1) может использоваться при условии корректировки опытной зависимостью, учитывающей дисперсность. Ранее было показано, что при использовании в (11, ч. 1) медианного диаметра засыпки расхождение с опытом может превзойти 350 %. Более характерным показателем полидисперсности слоя в рассматриваемом случае (при поиске параметра, связанного с началом фонтанирования) может служить лимитирующий размер частиц. Приведенные экспериментальные данные позволяют составить на его основе необходимую поправочную зависимость. Для аппаратов рассматриваемого типа она аппроксимируется с достоверностью 94,5 % в виде $f(D_{\lim}) = 0{,}25\ \ln\left(D_{\lim}\right) + 0{,}895$. Используя ее, можно представить соотношение (11, ч. 1) для расчета максимального давления полидисперсного слоя как

$$\Delta P_f = \left(0{,}64...0{,}75\right)\left(0{,}25\ \ln D_{\lim} + 0{,}895\right) g\rho_a H_0. \quad (5)$$

Характеризующий энергозатраты на потерю устойчивости слоя лимитирующий диаметр частиц полидисперсной засыпки $D_{\lim}$ подсчитывается по выражению (4).

Скорость w_b для полидисперсной засыпки вначале определена по формуле (10, ч. 1), с использованием значения медианного диаметра частиц $D_p = D_m = 0{,}55$ мм. Для 1, 2 и 3 слоев (рис. 3) диаметр верхнего основания D составляет 59, 70 и 80 мм, а высота слоя над срезом сопла H_0 – 35, 55 и 75 мм соответственно. При d_0 = 25 мм и ρ_p = 2800 кг/м^3 значение w_b для 1, 2 и 3 слоев составит 0,281; 0,281 и 0,274 м/с соответственно, что более чем на порядок ниже экспериментального. Аналогичный расчет выполнен по выражению (2). Поправочный коэффициент k и коэффициент формы Ф теперь близки к 1. При $D_p = D_m = 0{,}55$ мм поправка $\Delta = 7{,}94$, и w_b для 1, 2 и 3 слоев составит 3,27; 3,26 и 3,19 м/с. Приняв за D_p лимитирующий диаметр $D_{\lim} = 0{,}441$ мм, получим $\Delta = 14{,}15$, а w_b для 1, 2 и 3 слоев составит 4,67; 4,66 и 4,56 м/с. По сравнению с D_m использование $D_{\lim}$ улучшает результат на 50 %. При этом расчетные и экспериментальные данные для 1 слоя различаются лишь на 5 %. Тем самым результатами опытов подтверждается, что характеристики фонтанирования полидисперсного материала представляются значительно точнее лимитирующим диаметром частиц засыпки. Следовательно, характерным параметром полидисперсного слоя в рассматриваемом случае может служить не медианный, а лимитирующий диаметр.

В то же время для 2 и 3 слоев расчетная скорость еще остается заметно меньше экспериментальной. Причина этого заключается в некорректном учете высоты слоя засыпки как выражением (10, ч. 1), так и

полученным из него уточнением (2). С ее увеличением w_b снижается, а экспериментальные значения w_b существенно растут. Причина расхождения с опытом в том, что в формулу (10, ч. 1) высота слоя H_0 включена с показателем степени 0,5, а пропорциональный ей размер D – с показателем степени (-1,33). Итоговый показатель H_0 близок к (-0,83), что и приводит к снижению w_b при его увеличении.

Для оптимизации выражения (2) может быть использована структура формул (12, ч. 1, 1), полученных на основе обобщения результатов классических исследований фонтанирования монофракционной засыпки [1]. Вначале по (1) был проведен расчет начальной w_b и критической w_{cr} скорости фонтанирования с использованием медианного и лимитирующего диаметров частиц. Скорость витания частиц рассчитывалась по формуле Стокса $w_t = D_p^2\left(\rho_p - \rho_G\right)g\big/(18\eta)$. Полученные значения w_{cr}, w_b сопоставлены с данными эксперимента по полидисперсному слою и приведены в таблице. Результаты расчетов показывают увеличение w_b с ростом высоты слоя. Однако темп увеличения w_b по опытным данным постоянен (изменение около 3 %, что в пределах погрешности опытов), а по (1) проявляется тенденция к его снижению. Кроме того, расчеты с медианным диаметром дают более чем 4-х кратное превышение экспериментальных данных.

Расчеты с $D_{\lim}$ позволяют сократить ошибку в 1,5 раза. Это показывает, что характерным параметром на стадии фонтанирования частиц полидисперсного слоя может служить лимитирующий, а не медианный диаметр. Вместе с тем и при использовании $D_{\lim}$ расчетные результаты еще значительно выше опытных. Конструкция ввода потока в исследуемом аппарате обеспечивает меньшие энергозатраты на начальный сдвиг неподвижного конического слоя за счет инжекции потоком частиц, расположенных в его основании. Поэтому соотношения (12, ч. 1, и 1) непосредственно в представленном виде неприменимы для расчетов параметров фонтанирования полидисперсной засыпки в аппарате с отмеченной конструктивной особенностью.

Для рассмотренного сочетания конструктивных особенностей исследованного аппарата и полидисперсного материала принципы составления соотношений (12, ч. 1) и (10, ч. 1) являются взаимодополняющими, а каждый в отдельности недостаточен. В соотношении (12, ч. 1), корректно описывающем параметры фонтанирования отдельных зерен засыпки через скорости витания, отсутствуют параметры, характеризующие инжекционное воздействие потока на зерна в слое. Выражение (10, ч. 1), учитывающее инжекционный эффект, дает адекватный результат только в диапазоне частиц выше миллиметрового, т.е. для условий, в которых были получены эти выражения. Поэтому при составлении корректного расчетного соотношения для определения w_b необходимо основываться на обоих принципах. Введем в (2) сообразно с формулой (10, ч. 1) соотношение $(D/d_0\text{-}1)^m$ и изменим показатели степени в выражении $\left(D^n d_0^l\right)$. Константы m, n, l скорректированы по опытным данным с учетом соблюдения условия $\partial w_b/\partial H_0 = 0$; $\partial w_b/\partial D = 0$: m=1,1; n=1,63; l=0,37. При этом среднеквадратичное отклонение от опытных данных находится в пределах 20 %. С учетом стохастического характера процесса можно считать эту сходимость удовлетворительной. Представим расчетное выражение для w_b в окончательном виде:

$$w_b = \frac{\Delta \cdot k\Phi D_p d_1}{D^{1,63} d_0^{0,37}}\left(D/d_0 - 1\right)^{1,1}\sqrt{2gH_0\left(\rho_p - \rho_G\right)/\rho_G}\,. \quad (6)$$

В целом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. Их результаты показали, что классические соотношения (10, 11, 12, ч. 1), составленные по данным опытных исследований фонтанирования монофракционной засыпки, могут быть использованы в качестве основы расчетных соотношений для полидисперсного материала. При этом расчеты должны проводиться по

Таблица

Рассчитанные по формулам 12, ч. 1 и 1 ([2]) и экспериментальные значения критической и начальной скорости фонтанирования

Используемый в расчетах размер частиц	Диаметр, м	Скорость витания частиц w_t, м/с	Скорость фонтанирования w_{cr}/w_b, м/с при диаметре верхнего основания слоя D, м		
			0,059	0,07	0,08
медианный диаметр D_m	$0{,}55\cdot10^{-3}$	26,1	10,7/20,8	13,5/26,2	15,9/30,8
лимитирующий диаметр	$0{,}441\cdot10^{-3}$	16,8	7,0/13,6	8,8/17,1	10,4/20,2
По опытным данным (рис. 3)			3,7/4,9	3,8/6,0	4,8/7,6

лимитирующему, а не по медианному размеру частиц размер частиц. Лимитирующий размер является характерным параметром процесса фонтанирования полидисперсной засыпки. Он соответствует диаметру частиц, с которых начинается нарушение ее устойчивости, и может быть определен из баланса сил, возникающих между соприкасающимися частицами в слое, включая силы поверхностного межмолекулярного взаимодействия. Если аппараты конструктивно отличаются от традиционных, то формулы (10, 11, 12, ч. 1) необходимо дополнить корректирующими коэффициентами и соотношениями. В данной работе такие зависимости получены для аппаратов с исследованными конструктивными особенностями и полидисперсной засыпкой (формулы 5, 6). Сравнение результатов экспериментальных исследований с величинами, рассчитанными по соотношениям для монофракционных систем, показывает также, что переход полидисперсных систем в фонтанирующий режим происходит при меньших затратах энергии газового потока. Использование этого свойства имеет очевидное прикладное значение в смысле снижения энергозатрат при работе технологических и очистных устройств с фонтанирующим адсорбентом. Контактный аппарат исследованной конструкции с полидисперсным адсорбентом использован в системе комплексной обработки технологических и вентиляционных галогенсодержащих выбросов, обеспечивающей их радикальное обезвреживание [1]. В связи с особым значением предотвращения загрязнения атмосферы подобными веществами, обусловленным международными обязательствами России по Рамочной конвенции ООН об изменениях климата (UN FCCC), разработанный способ комплексной очистки рекомендован к использованию в Государственном докладе [2] о состоянии окружающей среды по Республике Татарстан.

Литература

1. Ейтс Дж. Основы механики псевдоожижения с приложениями. – М.: Мир, 1986. – 288 с.
2. Романков П.Г., Рашковская, Н.Б. Сушка во взвешенном состоянии. – Л.: Химия, 1979. – 272 с.
3. Зиганшин М.Г., Зиганшин А.М., Дмитриев А.В. Аппараты и режимы комплексной обработки выбросов с галогенсодержащими загрязнителями // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2009, № 4. – С. 34-37.
4. О состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2007 году // Государственный доклад. – Казань, 2008. – С. 459.

УДК 532.5:621.694

А.Я. Золотоносов – аспирант
Я.Д. Золотоносов – доктор технических наук, профессор
Тел.: (843) 510-47-35, e-mail: zolotonosov@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)
Т.В. Белавина – старший научный сотрудник
Тел.: 89050383528, e-mail: belavina_tv@mail.ru
ООО «Прогресс»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В ДЛИННОМ РЕБРЕ ПЕРЕМЕННОЙ ВЫСОТЫ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ ТЕПЛООБМЕНА

АННОТАЦИЯ
В работе приведены математическая модель и алгоритм численного решения уравнения теплопроводности для длинного продольного ребра переменной высоты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидродинамика, сопряженный теплообмен, поле температур.

A.Ya. Zolotonosov – post-graduate student
Ya.D. Zolotonosov – doctor of technical sciences, professor
Tel.: (843) 510-47-35, e-mail: zolotonosov@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)
T.V. Belavina – senior staff scientist
Tel.: 89050383528, e-mail: belavina_tv@mail.ru
LLC «Progress»

MATHEMATICAL MODEL OF HEAT CONDUCTIVITY IN THE LONG EDGE OF VARIABLE HEIGHT TAKING INTO ACCOUNT CHANGE OF CONDITIONS OF HEAT EXCHANGE

ABSTRACT
In work the mathematical model and algorithm of the numerical decision of the equation of heat conductivity for a long longitudinal edge of variable height are resulted.

KEYWORDS: hydrodynamics, interfaced heat exchange, field of temperatures.

Введение

В современных теплообменных устройствах для интенсификации процессов теплопередачи и сокращения габаритов теплообменной аппаратуры широко используются оребренные (развитые) поверхности [1], оребрение которых обычно реализуется со стороны меньшего коэффициента теплоотдачи [2].

Когда требуется уменьшить размеры теплообменника, а значения коэффициентов теплоотдачи с обеих сторон малы, оребрение производится с обеих сторон [3].

При оребрении стремятся к выполнению условия $\alpha_1 F_c \approx \alpha_2 F_{p.c}$, при этом отношение величин оребренной поверхности $F_{p.c}$ и гладкой F_c называют коэффициентом оребрения и выбирают обычно в пределах конструктивных возможностей от 4 до 10.

Следует отметить, что плоскость ребра всегда должна быть направлена по движению рабочей жидкости, а при свободном движении – вертикально.

В настоящее время в мировой практике применяются ребристые теплообменники с ребрами самой разнообразной конфигурации, изготовляемые по различной технологии [1, 4], в том числе: в виде прямых и кольцевых пластин, а также шипов различного профиля для оребрения круглых труб в воздухоохладительных установках кондиционирования воздуха и калориферах; проволочные в охладителях масла силовых трансформаторов; в виде непрерывной спирали на трубах радиаторно-вентиляторных установок для охлаждения компримируемого газа, масла и воды газомотокомпрессоров, радиаторов и калориферов; винтовой накатки моно- и биметаллических труб со сплошными или

разрезными ребрами; плавниковые для труб паровых котлов и теплообменников типа «труба в трубе» для оребрения внутренних и наружных труб [5]; полизональные для теплообменников специального назначения; в виде пластин с зигзагами и волнами для труб радиаторов транспортных двигателей.

Подробная оценка целесообразности использования оребрения и методов определения их эффективности приведена в работах [6].

Уравнение теплопроводности для длинного продольного ребра переменной высоты

В инженерной практике наибольшее распространение получил метод теплового расчета оребренных поверхностей по одномерной модели, который исходит из системы уравнений баланса тепловых потоков, передаваемых через оребренную поверхность [6, 7]. Одним из основных допущений при анализе процессов по одномерной модели является одномерность поля температур, при этом температура изменяется лишь в направлении высоты ребра.

Точные решения с учетом двухмерности температурного поля, когда учитываются изменения температуры в ребре и несущей стенке (для случая прямоугольных [8], кольцевых ребер, а также шипов различного профиля [1]), позволяют выяснить ограничения, связанные с использованием одномерной модели [9], и строятся на базе дифференциального уравнения второго порядка в виде уравнения Лапласа [1].

Существенно возрастает сложность математического описания процесса переноса тепла в длинных ребрах переменной высоты в условиях высоких плотностей теплового потока и изменении температуры по длине ребра, что имеет место в оребренной внутренней проточной части каналов теплообменных устройств типа «труба в трубе» с вращающейся поверхностью «конфузор-диффузор» (рис. 1).

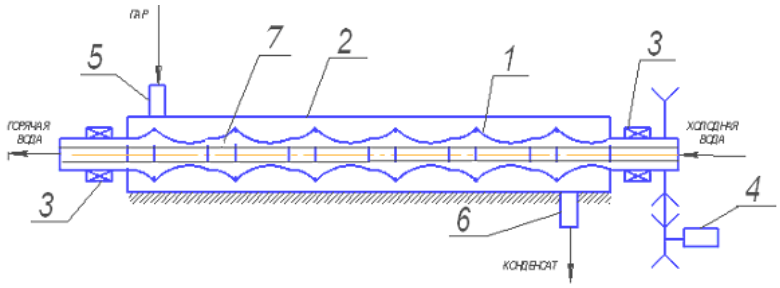


Рис. 1. Схема теплообменника с вращающейся волнистой трубой типа «конфузор-диффузор»: 1 – труба типа «конфузор-диффузор»; 2 – внешняя труба; 3 – подшипники; 4 – электродвигатель; 5 – патрубок для пара; 6 – патрубок для конденсата; 7 – ребра

Оребрение в таких каналах вызвано требованиями дальнейшей интенсификации процесса теплообмена (со стороны меньшего коэффициента теплоотдачи), поскольку с водной стороны среднее значение $\overline{a}_{в}$ = 1300 Вт/м²К, а со стороны пара, вследствие срыва конденсатной пленки с поверхности вращающегося канала и перехода с пленочного режима конденсации в «пленочно-капельный» режим конденсации, $\overline{a}_{п}$ = 21000 Вт/м²К [10].

Тепловой расчет длинных ребер, когда необходимо учитывать изменение температуры ребра и потока жидкости в направлении ее течения, строится на нелинейном дифференциальном уравнении второго порядка в виде уравнения Пуассона [11].

При выводе данного уравнения делаются следующие допущения: процесс стационарен, теплопроводность материала ребра постоянна, внутренние источники тепла отсутствуют, толщина ребра мала по сравнению с высотой и соответственно градиент температуры в направлении, перпендикулярном боковой поверхности пренебрежимо мал; теплоотдачей с торца можно пренебречь; средний коэффициент теплоотдачи от поверхности ребра к жидкости считается величиной постоянной. Принимается также, что физические свойства жидкости постоянны и перенос тепла в жидкости по средствам теплопроводности отсутствует.

Рассмотрим процесс распространения тепла в длинном ребре переменной высоты (рис. 2).

Уравнение теплопроводности для ребра и переноса тепла в трубе (общей длины $L_{тр}$) с потоком жидкости запишем в виде

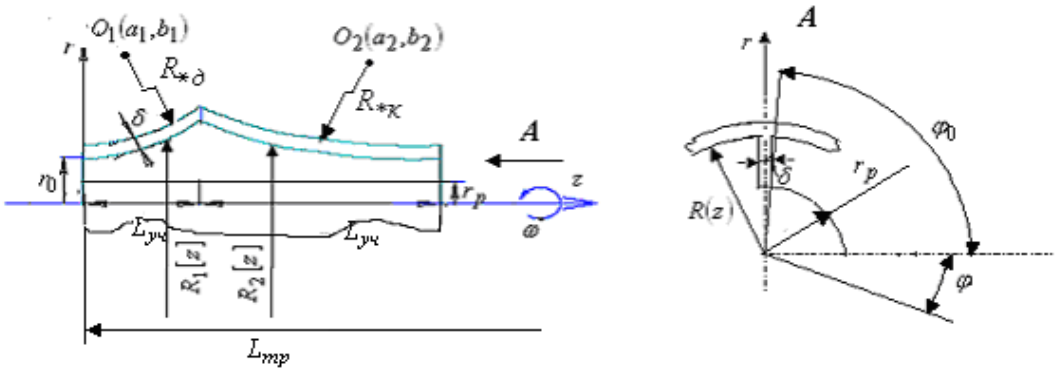


Рис. 2. Конфузорно-диффузорный элемент

$$\frac{\partial^2 T_p}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial T_p}{\partial r}+\frac{\partial^2 T_p}{\partial z^2}=\frac{2\bar{a}}{l\,d}\left(T_p-T_{ж}\right). \tag{1}$$

Здесь $\bar{a}$ - средний коэффициент теплоотдачи.

В качестве условий однозначности для уравнения (1) зададим граничные условия на ребре:

$$z=0: \quad T_p(0,r)=T_{ср}; \tag{2}$$

$$z=L_{уч}: \quad l_p\frac{\partial T_p}{\partial z}\left(L_{уч},r\right)=\bar{a}\left(T_p-T_{ж}\right); \tag{3}$$

$$z=L_{тр}: \quad \frac{\partial T_p}{\partial z}\left(L_{тр},r\right)=0; \tag{4}$$

$$j=j_0: \quad T_p(z,j_0,r)=T_{ж};\ l_p\frac{\partial T_p}{\partial r}(z,j_0,r)=l\frac{\partial T_{ж}}{\partial r}(z,j_0,r); \tag{5}$$

$$r=r_p: \quad T_p\left(z,r_p\right)=T_{ж}; \tag{6}$$

$$r=R(z): \quad T_p\left(z,R(z)\right)=T_c. \tag{7}$$

Используя преобразования координат, отобразим физическую область течения с криволинейными границами. Для этого произведем в уравнении теплопроводности для ребра замену переменных:

$$\bar{r}=\frac{r}{R(z)};\quad \bar{z}=\frac{z}{L_{уч}};$$

где функция $r=R(z)=-\sqrt{R_*^2-(z-a)^2}+b$ определяет конфигурацию твердых стенок канала; $L_{уч}$ – длина участка трубы (конфузор $l_к$ или диффузор l_∂).

Кроме того, введем в уравнение (1) безразмерные переменные и параметры:

$$\bar{a}=\frac{a}{R_*};\ \bar{b}=\frac{b}{R_*};\quad z_*=\frac{z}{R_*};\ \bar{R}=\frac{R(z)}{L_{уч}};\quad \bar{r}=\frac{r_p}{R(z)}.$$

Решение уравнения будем искать в виде:

$$T_p(\bar{z},\bar{r})=T_c\,t_p(\bar{z},\bar{r});\ T_{ср}(\bar{z},\bar{r})=T_c\,t^*(\bar{z},\bar{r});\ T_{ж}(\bar{z},\bar{r})=T_c\,\bar{t}(\bar{z},\bar{r}).$$

Тогда краевая задача нахождения температуры ребра для области $\Omega=\{(\bar{r},j,\bar{z})/\bar{r}\le\bar{r}\le 1,0\le\bar{z}\le 1\}$ с граничными условиями (2) – (7) примет вид:

$$\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r}^2}+\frac{1}{\bar{r}}\frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}+\bar{r}\frac{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}\left((z_*-\bar{a})^2+1\right)-\bar{b}}{\left(1-(z_*-\bar{a})^2\right)^{3/2}}\frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}+\left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\right)^2\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r}^2}-$$
$$-\frac{2\bar{r}\bar{R}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}}+\bar{R}^2\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{z}^2}=\frac{2\bar{a}}{l\,d}\left(t_p-t_{ж}\right), \tag{8}$$

Граничные условия для уравнения (8) преобразуются к виду:

$$\bar{z}=0: \quad t_p(0,\bar{r})=t^*; \tag{9}$$

$$\bar{z}=1: \quad l_p\frac{\partial t_p}{\partial \bar{z}}(1,\bar{r})=\bar{a}\left(t_p-t_{ж}\right); \tag{10}$$

$$\bar{z}=1: \quad \frac{\partial t_p}{\partial \bar{z}}(1,\bar{r})=0; \tag{11}$$

$$j=j_0: \quad t_p(\bar{z},j_0,\bar{r})=t_{ж};\ l_p\frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}(\bar{z},j_0,\bar{r})=l_{ж}\frac{\partial t_{ж}}{\partial r}(\bar{z},j_0,\bar{r}); \tag{12}$$

$$\bar{r}=\bar{r}: \quad t_p(\bar{z},\bar{r})=\bar{t}; \tag{13}$$

$$\bar{r}=1: \quad t_p(\bar{z},1)=1. \tag{14}$$

Уравнение (8) с граничными условиями (9) – (14) составляет полную математическую модель задачи переноса тепла в длинном продольном ребре переменной высоты.

Для получения алгебраического уравнения используется метод Галеркина [13]:

$$\int_V[\Phi]^T\left(\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r}^2}+\frac{1}{\bar{r}}\frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}+\frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial^2 t_p}{\partial j^2}+\bar{r}\frac{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}\left((z_*-\bar{a})^2+1\right)-\bar{b}}{\left(1-(z_*-\bar{a})^2\right)^{3/2}}\frac{\partial t_p}{\partial \bar{r}}+\right. \tag{15}$$
$$\left.+\left(\frac{\bar{r}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\right)^2\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r}^2}-\frac{2\bar{r}\bar{R}(z_*-\bar{a})}{\sqrt{1-(z_*-\bar{a})^2}}\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{r}\partial \bar{z}}+\bar{R}^2\frac{\partial^2 t_p}{\partial \bar{z}^2}\right)dV=\frac{2\bar{a}}{l\,d}\int_V[\Phi]^T\left(t_p-t_{ж}\right)dV.$$

Для численного решения рассматриваемой задачи применяется метод конечных элементов (МКЭ) [13, 14], заключающийся в сведении исходных дифференциальных уравнений в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям, решаемым обычными методами. Основным преимуществом данного метода является его индифферентность в отношении расчетных областей.

Для построения конечно-элементной модели рассматриваемую область разбивают на конечное число непересекающихся четырехугольных элементов $\Omega^{(e)}$ (индекс *e* означает номер элемента) таким образом, что пересечение различных элементов является либо пустым множеством, либо общей частью граничных поверхностей этих элементов.

Приближенные значения неизвестных компонентов внутри каждого элемента представляются следующими пробными аппроксимациями [14]:

$$t_p^{(e)}(\bar{z},\bar{r})=\sum_{i=1}^{4}t_{p_i}^{(e)}\Phi_i^{(e)}(\bar{z},\bar{r}) \tag{16}$$

или в матричной форме:

$$t_p^{(e)} = [\Phi]\{t_p\}.$$

Здесь $[\Phi] = \left[\Phi_1^e(\bar{z},\bar{r}), \Phi_2^e(\bar{z},\bar{r}), \Phi_3^e(\bar{z},\bar{r}), \Phi_4^e(\bar{z},\bar{r})\right]$ – вектор-строка базисных функций, $\{t_p\}$ – вектор-столбец неизвестных узловых значений функций:

$$\{t_p\} = \left[t_{p_1}^{(e)}, t_{p_2}^{(e)}, t_{p_3}^{(e)} t, {}_{p_4}^{(e)}\right]^T.$$

Нижние индексы означают локальную нумерацию узлов, верхний – номер элемента. В дальнейшем для упрощения записи верхний индекс будем опускать.

Каждая из базисных функций $\Phi_i^{(e)}(\bar{z},\bar{r})$ принимает значение, равное 1 в i-м узле, и значение, равное нулю в других узлах. Кроме того, функции $\Phi_i^e(\bar{z},\bar{r})$ отличны от нуля только в тех элементах, которые содержат i-й узел, а в остальной области они равны нулю.

Подставляя в уравнение (15) формулу преобразования (16) и учитывая преобразования интегралов, содержащих вторые производные, в интегралы, содержащие только первые производные, получим:

$$\int_V \left(\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar{r}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{r}} + \frac{1}{\bar{r}^2}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial j}\frac{\partial[\Phi]}{\partial j} + \left(\frac{\bar{r}(z_* - \bar{a})}{\sqrt{1-(z_* - \bar{a})^2}}\right)^2 \frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar{r}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{r}} - \frac{2\bar{r}\bar{R}(z_* - \bar{a})}{\sqrt{1-(z_* - \bar{a})^2}}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar{r}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{z}} + \right.$$

$$\left. + \bar{R}^2\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar{r}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{r}}\right)\{t_p\}dV - \int_V [\Phi]^T\left(\frac{1}{\bar{r}}\frac{\partial[\Phi]}{\partial\bar{r}} + \bar{r}\frac{\sqrt{1-(z_* - \bar{a})^2}\left((z_* - \bar{a})^2 + 1\right) - \bar{b}}{\left(1-(z_* - \bar{a})^2\right)^{3/2}}\frac{\partial[\Phi]^T}{\partial\bar{r}}\right)\{t_p\}dV +$$

$$+ \frac{2\bar{a}}{l\,d}\int_V [\Phi]^T[\Phi]\left(\{t_p\} - \{t_{ж}\}\right)dV = 0. \quad (17)$$

Уравнение (15) решаем в системе, содержащей уравнения движения, энергии и теплопроводности стенок канала. Линеаризация полученной системы выполняется методом Ньютона. Для решения системы линейных алгебраических уравнений применяется метод сопряженных градиентов.

В практических расчетах вместо точной формулы (8) с граничными условиями (9)-(14) можно использовать упрощенные выражения. Для этого количество теплоты, передаваемое через ребристую поверхность, можно представить в виде [12]:

$$Q = k_{p.c}\left(t_{ср1} - t_{ср2}\right)F_{p.c}.$$

Коэффициент теплопередачи через ребристую стенку равен:

$$k_{p.c} = \frac{1}{\left(\frac{1}{a_1} + \frac{d_c}{l_c}\right)\frac{F_{p.c}}{F_c} + \frac{1}{a_{2пр}} + R_{заг}},$$

где a_1 – коэффициент теплоотдачи с гладкой стороны; $a_{2пр}$ – приведенный коэффициент теплоотдачи со стороны ребристой поверхности; $R_{заг}$ – термическое сопротивление загрязненной ребристой поверхности; $t_{ср1}$ и $t_{ср2}$ – средние температуры теплоносителей; d_c и l_c – толщина и коэффициент теплопроводности материала стенки; F_c – площадь гладкой поверхности стенки;

$F_{p.c} = F_p + F_n$ – площадь ребристой поверхности стенки, равная сумме площади ребер F_p и площади стенки в промежутках между ребрами F_n.

Приведенный коэффициент теплоотдачи со стороны ребристой поверхности a_{2np} определяется из уравнения:

$$a_{2np} = a_2 \left(\frac{F'_p q_0}{F'_{p.c} q_1} + \frac{F'_n}{F'_{p.c}} \right),$$

в котором a_2 – коэффициент теплоотдачи от поверхности, свободной от ребер, определяемый по критериальному уравнению, соответствующему условиям теплообмена стенки со средой; F'_p – поверхность ребер на 1 м длины; F'_n – внешняя поверхность, не занятая ребрами на 1 м длины; $F'_{p.c}$ – полная внешняя поверхность 1 м длины теплообменного аппарата; q_1 – разность между температурами основной поверхности теплообменного аппарата и среды; q_0 – разность между температурами поверхности ребер и среды, меньшая, чем q_1, вследствие изменения температуры на поверхности ребер. Отношение q_0 / q_1 находится как функция конкретных условий обтекания ребристой поверхности a_2, материала ребер l_p и их геометрии (толщины, высоты и расположения на оребренной поверхности) [12].

Заключение

Продольное оребрение проточной части каналов конфузорно-диффузорного типа является целесообразным и позволит увеличить эффективность теплообмена со стороны меньшего коэффициента теплоотдачи.

Разработана математическая модель теплопроводности для ребра, записанная в цилиндрической системе координат, с учетом переноса тепла с потоком жидкости и условий однозначности, что позволит расширить представление о процессе переноса тепла в продольном ребре с учетом изменения условий теплообмена по его длине.

Предложен алгоритм численной реализации математической модели, позволяющий определить поле температур в ребре и уточнить метод теплового расчета оребренных поверхностей по сравнению с двумерной моделью в виде уравнения Лапласа.

Литература

1. Ройзен Л.И., Гулькин И.Н. Тепловой расчет оребренных поверхностей. – М.: Энергия, 1977. – 256 с.
2. Щербаков В.К., Босый В.В. Условия выгодности оребрения и влияние ребер на температуру охлаждаемой стенки // Теплофизика и теплотехника, Вып. 23. – Киев: «Наукова думка». 1973. – С. 49-125.
3. Керн Д., Краус А. Развитые поверхности теплообмена. – М.: Энергия, 1947. – 461 с.
4. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверетов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. – М.: Машиностроение, 1989. – 365 с.
5. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил. – М.: Машиностроение, 1970. – 350 с.
6. Harper D.R., Brown W.B. Mathematical Equations for Heat Conduction in the Fins of Air-Cooled Engines. – «Naca Rep», 1922, № 158. – 32 p.
7. Эккерт Э.Р., Дрейк Р.М. Теория тепло- и массообмена. –М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 680 с.
8. Безродный М.К. Приближенное решение двумерной задачи теплопроводности для плоской стенки с прямоугольными ребрами // Теплофизика и теплотехника, Вып. 27, 1974. – С. 95-99.
9. Айри Р.К. Погрешности одномерных решений для ребра // Теплопередача, 1968, том 90, № 1. – С. 147-149.
10. Пантелеева Л.Р. Теплообмен при ламинарном течении вязкой жидкости в теплообменных устройствах

типа «труба в трубе» с вращающейся поверхностью «конфузор-диффузор» // Дис. канд. техн. наук. – Казань, 2009. – 116 с.
11. Цесарский И.Б., Мотин Э.А. Стационарное поле температур при теплоотводе от плоской оребренной поверхности с учетом изменения условий теплообмена по длине ребра // В кн.: Исследования по теплопроводности. – Минск: Наука и техника, 1967. – 569 с.
12. Теплотехническое оборудование и теплоснабжение промышленных предприятий/ Голубков Б.Н., Данилов О.Л., Зосимовский Л.В. – М.: Энергия, 1979. – 544 с.
13. Формалеев В.Ф., Ревизников Д.Л. Численные методы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 400 с.
14. Сегерлинд Д. Применение метода конечных элементов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

УДК 541.49, 546.562
Н.Н. Комлева – кандидат химических наук, доцент
Тел.: 89178666010
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТОСОДЕРЖАЩИХ ЛИГАНДОВ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены теоретические аспекты комплексообразующих реагентов, используемых для отмывки латунных деталей теплоэнергетического оборудования от коррозионных пленок. Спектрофотометрическим методом с применением математического моделирования изучено комплексообразование в системах Cu^{II} – Dien (диэтилентриамин), Cu^{II} – Dien – L (L – En (этилендиамин), NH_3, CH_3NH_2) в широкой области концентраций компонентов и pH среды. Пониженная устойчивость комплексов $[Cu(DienH)]^{3+}$, $[Cu(Dien)(DienH)]^{3+}$ и $[Cu(DienH)(En)]^{3+}$ по сравнению соответственно с $[Cu(En)]^{2+}$, $[Cu(Dien)_2]^{2+}$ и $[Cu(En)_2]^{2+}$ объяснена наличием внутримолекулярной водородной связи в $DienH^+$. Из сопоставления электронных спектров поглощения сделан вывод, что в соединениях $[Cu(Dien)(DienH)]^{3+}$, $[Cu(Dien)_2]^{2+}$ и $[Cu(Dien)(En)]^{2+}$ один лиганд Dien координирован тридентатно в экваториальной плоскости, а второй – бидентатно в аксиальном и экваториальном положениях. По УФ-спектрам установлена мостиковая координация гидроксил-иона в комплексе $[Cu_2(Dien)_2OH]^{3+}$.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: комплексообразование, устойчивость комплексных соединений, спектр поглощения.

N.N. Komleva – candidate of chemical sciences, associate professor
Tel.: 89178666010
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

POSSIBILITY OF THE USE OF INTROGENOUS LIGANDS IN HEAT ENERGY INDUSTRY

ABSTRACT

The theoretical aspects of application of nitrogenous complexing reagents are considered for washing of brass details of heat energy equipment from corrosive films. By means of the spectrophotometrical method and the mathematical modeling the complex formation in the diethylenetriamine (Cu^{II} – Dien) and ethylene – diamine ((Cu^{II} – Dien – L)(L – En, NH_3, CH_3NH_2)) systems in wide concentration range of the components and the pH – medium is studied. The low stability of the $[Cu(Dien)H]^{3+}$, $[Cu(Dien)(DienH)]^{3+}$, and $[Cu(DienH)(En)]^{3+}$, complexes relative to $[Cu(En)]^{2+}$, $[Cu(Dien)_2]^{2+}$ and $[Cu(En)_2]^{2+}$ is resulted from the intramolecular hydrogen bond in Dien H^+. The deduction that in the $[Cu(Dien)(DienH)]^{3+}$, $[Cu(Dien)_2]^{2+}$ and $[Cu(Dien)(En)]^{2+}$ complexes there exist the equatorial tridentate Dien ligand and the equatorial and axial bidentate Dien ligand is drown on the basis of the absorption spectra comparison. For the UV – spectra the hydroxide ion bridge bond in the $[Cu_2(Dien)_2OH]^{3+}$ complex is determined.

KEYWORDS: complex formation, the stability complexes, the absorption spectra.

Применение комплексообразующих реагентов в различных отраслях хозяйственной деятельности человека многогранно [1]. Их используют для устранения мешающего действия катиона металлов или, наоборот, введения металлов в определенную систему [2]. Многие из них, в частности этилендиамин и диэтилентриамин, используют для синтеза комплексонов [3, 4]. Комплексообразующие реагенты применяются для отмывки различного оборудования: химического, теплоэнергетического [5].

Так для отмывки от продуктов коррозии теплообменных поверхностей, выполненных из латуни, используются различные композиции на основе комплексообразующих реагентов, потому что из-за больших концентраций ионов Fe^{3+} и Cu^{2+} отмывка хлороводородной кислотой затруднена. При одновременном присутствии железосодержащих и медьсодержащих отложений очистка проводится в два этапа. На первом этапе удаляются оксиды (или соединения меди, pH ≈ 7), на втором этапе (pH ≈ 4) – оксиды железа или его соединения [6]. Одновременное удаление меди и железа невозможно, поскольку ионы железа образуют более устойчивые комплексы с ЭДТА, чем медь. Комплексные соединения меди (II) с этилендиамином и диэтилентриамином в нейтральной и особенно в слабощелочной среде являются довольно

Таблица

Константы устойчивости и спектральные параметры комплексов меди(II) с диэтилентриамином при 298 К и $c_{кс1}$=1,0 моль/л

Комплекс	lg β	$\lambda_{макс}$, нм	$\varepsilon_{макс}$, моль$^{-1}$·л·см$^{-1}$	$\lambda_{пл}$, нм	$\varepsilon_{пл}$, моль$^{-1}$·л·см$^{-1}$
$[Cu(DienH)]^{3+}$	8,73±0,04	700	50		
$[Cu(Dien)]^{2+}$	15,91+0,03	615	76		
$[Cu(Dien)OH]^{+}$	20,98±0,04	600	77		
	(20,62+0,08) *				
$[Cu(Dien)(DienH)]^{3+}$	20,03±0,03	610	117	840	54
$[Cu(Dien)_2]^{2+}$	21,28+0,04	630	115	850	80
$[Cu_2(Dien)_2OH]^{3+}$	40,66+0,04	600	76		
	(40,20±0,06) *	325	147		
$[Cu(DienH)(En)]^{3+}$	18,84±0,04	580	86		
$[Cu(Dien)(En)]^{2+}$	21,56+0,03	630	96	860	68
$[Cu(Dien)NH_3]^{2+}$	19,19+0,09	580	90		
$[Cu(Dien)CH_3NH_2]^{2+}$	19,29±0,04	580	103		
$[Cu(En)]^{2+}$	10,75	670	36		
$[Cu(En)_2]^{2+}$	20,07	545	67		

устойчивыми. Можно предположить, что этилендиамин и диэтилентриаммин могут быть использованы в качестве добавок в композиции для отмывки оборудования выполненного на основе медных сплавов.

При взаимодействии лигандов с катионами металлов образуются комплексные соединения. При этом необходимо учитывать прочность гомо- и гетеролигандных комплексов, их растворимость, кинетику комплексообразования, эффекты стабилизации при образовании разнолигандных комплексов.

В данной работе схемы и константы равновесий комплексообразования рассчитывали из зависимостей молярного коэффициента экстинкции $\bar{e}$ от pH среды при заданных концентрациях металла и лиганда и нескольких длинах волн. Необходимые для расчетов значения логарифмов ступенчатых констант протонирования аминов при ионной силе 1 и T = 298 К заимствованы из литературы и составляют для Dien – 4,87; 9,36 и 10,03 [7, 8], En – 7,49 и 10,17 [9], CH_3NH_2 – 10,75 [10], NH_3 – 9,50 [11].

Опираясь на результаты предыдущей работы [12], провели сравнительное изучение устойчивости и электронных спектров поглощения диэтилентриаминовых гомолигандных комплексов и гетеролигандных с моно- и диаминами. В качестве последних были выбраны аммиак, метиламин и этилендиаммин. Исследование выполнено методом спектрофотометрии.

На рис. 1 приведены зависимости $\bar{e}$ от pH при различных концентрациях металла в УФ-области спектра (рис. 2). Моделирование кривых на рис. 1 однозначно свидетельствует, что при подщелачивании раствора доминирующей формой становится вначале $[Cu_2(Dien)_2OH]^{3+}$, а затем $[Cu(Dien)OH]^{+}$. Зависимости $\bar{e}$ от pH в системах Cu^{II} – Dien – NH_3 и Cu^{II} – Dien – CH_3NH_2 (рис. 2) адекватно описываются при учете наряду с гомолигандными также и гетеролигандных комплексов, соответственно $[Cu(DienH)(En)]^{3+}$, $[Cu(Dien)(En)]^{2+}$, $[Cu(Dien)NH_3]^{2+}$ и $[Cu(Dien)CH_3NH_2]^{2+}$.

Константы устойчивости и спектральные параметры всех обнаруженных комплексов приведены в таблице. Там же для сравнения представлены характеристики соединений $[Cu(En)]^{2+}$ и $[Cu(En)_2]^{2+}$, заимствованные из работы [13].

Приведенные в таблице данные позволяют сделать заключение о способах координации лигандов в диэтилентриаминовых комплексах меди(II).

Комплекс $[Cu(Dien)(DienH)]^{3+}$ характеризуется меньшей устойчивостью, коротковолновым сдвигом $\lambda_{макс}$ и меньшей интенсивностью длинноволнового плеча по сравнению с $[Cu(Dien)_2]^{2+}$, что отвечает более слабой аксиальной координации Dien H^+ по сравнению с Dien, т.е. аксиальное положение в первом комплексе часть времени остается свободным. Особое поведение формы Dien H^+ обусловлено, очевидно, наличием в ней внутримолекулярной водородной связи,

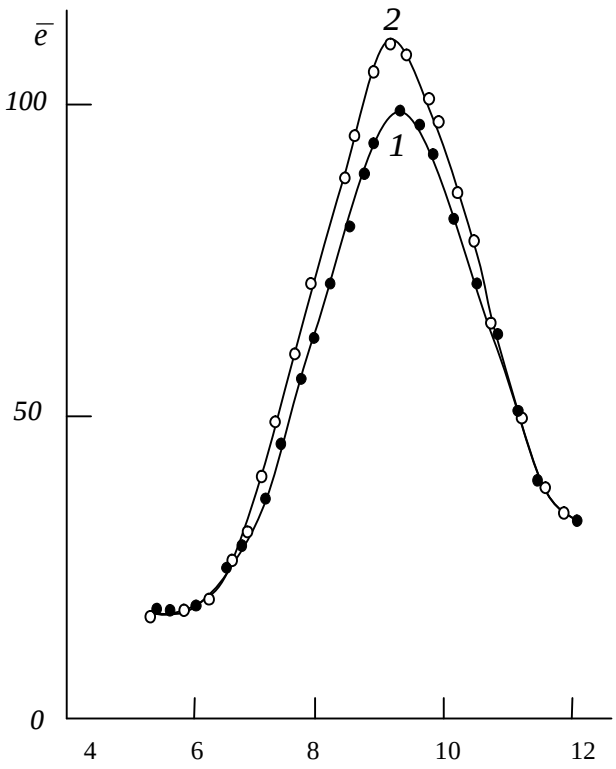


Рис. 1. Зависимости $\bar{e}$ от pH в растворах меди (II) с диэтилентриамином:
1 – $c_{Cu^{II}}$ = *3,00 · 10*$^{-3}$ моль/л, c_{Dien} = 3,07 · 10^{-3} моль/л; 2 – $c_{Cu^{II}}$ = 4,97 · 10^{-3} моль/л, , c_{Dien} = 4,97 · 10^{-3} моль/л;
c_{KNO_3} = 1,0 моль/л, l = 330 нм

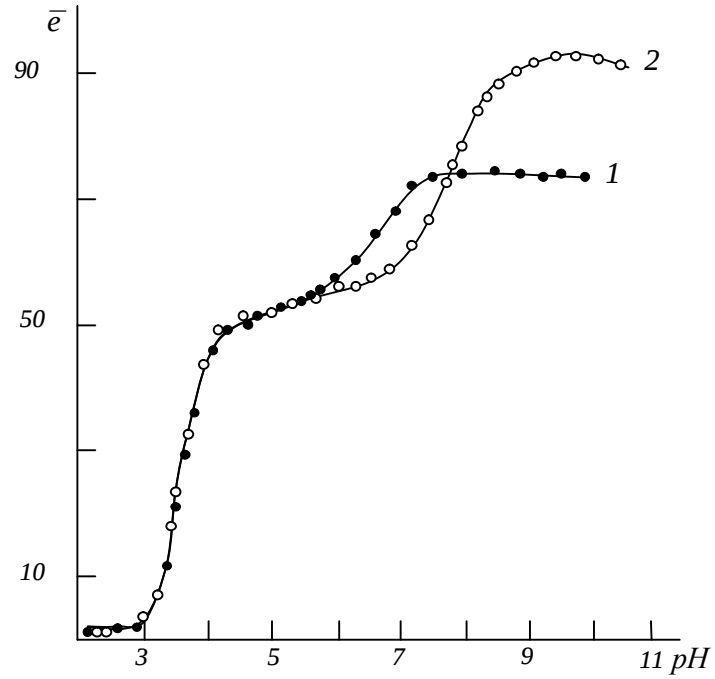


Рис. 2. Зависимости $\bar{e}$ от pH в системах Cu^{II} – Dien –NH_3 *(1)* и Cu^{II} – Dien – CH_3NH_2 (2):
$c_{Cu^{II}}$ = 4,97 · 10^{-3} моль/, c_{Dien} = 5,00 · 10^{-3} моль/л; c_{NH_3} = 0,504 моль/л, $c_{CH_3NH_2}$ = 0,490 моль/л;
c_{KCL} = 1,0 моль/л, l = 550 нм

ослабляющей координацию двух из трех атомов азота диэтилентриамина. По той же причине комплексы $[Cu(Dien\ H)]^{3+}$ и $[Cu(DienH)(En)\ ]^{3+}$ гораздо менее устойчивы, чем $[Cu(En)]^{2+}$ и $[Cu(En)_2]^{2+}$ соответственно (см. таблицу).

В биядерном комплексе $[Cu_2(Dien)_2OH]^{3+}$ в качестве мостикового лиганда выступает OH^--ион, на что указывает интенсивная полоса поглощения в ближней УФ-области спектра (см. таблицу). Подобная полоса характерна для димерных карбоксилатов, μ – диалкоксо- и μ – дигидроксокомплексов меди(II) [14, 15-18].

Правильный подбор лигандов и их концентрационных соотношений может обеспечить повышение металлоемкости и другие положительные свойства композиции для отмывки технических узлов изготовленных на основе медных сплавов.

Литература

1. Дятлова Н.М. ЖВХО. Т. 29. – М., 1984. – С. 256.
2. Дятлова Н.М., Темкина В.Я., Колпакова И.Д. Комплексоны. – М.: Химия, 1970. – 417 с.
3. Яшукский В.Г., Самойлова О.И. Усп. хим. Т. 45. – М., 1976. – С. 1537.
4. Темкина В.Я., Цирульникова Н.В., Ластовский Р.П. ЖВХО. Т. 29. – М., 1984. – С. 293.
5. Дятлова Н.М., Темкина В.Я., Попов К.И. Комплексоны и комплексонаты металлов.– М.: Химия, 1988. – 554 с.
6. Дятлова Н.М., Терехин С.Н., Маклакова В.П. и др. Применение комплексонов для отмывки и ингибирования солеотложения в различных энерго- и теплосистемах. – М.: НИИ ТЭХИМ, 1986. – С. 34.
7. Evtimova B., Scharff J.P., Paris M. // Bull. Soc. chim. France. 1969. № 1. P. 81.
8. Evtimova B., Paris M.R. // Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci. 1969. V. 22. № 4. P. 443.
9. Bjerrum J., Nielsen E.J. // Acta Chem. Scand. 1948. № 2. P. 297.
10. Arishima T., Hamada K., Takamoto S. // Nippon Kagaku Kaishi. 1973. № 6. P. 1119.
11. Ilcheva L., Bjerrum J. //Acta Chem. Scand. 1976. V. A30. № 5. P. 343.
12. Штырлин В.Г., Захаров А.В., Евгеньева И.И. Журн. неорган. химии, Т. 28, 1983, № 2. – С. 435.
13. Bjerrum J., Nielsen E.J. // Acta Chem. Scand. 1948. № 2. P. 297.
14. Bjerrum J., Ballhausen C.J., Jorgensen C.K. // Acta Chem. Scand. 1954. V. 8. № 7. P. 1275.
15. Duggan M., Hathaway B.J., Mullane J.I. / J. Chem. Soc., Dalton Trans., 1980. № 4. P. 690.
16. Dubickl L. // Austral. J. Chem. 1972. V. 25. № 6. P. 1141.
17. Kida S., Nishida J., Sakamoto M. // Bull. Chem. Soc. Japan, 1973. V. 46. № 8. P. 2428.
18. Sakamoto M., Kida S. // Bull. Chem. Soc. Japan. 1973. V. 46. № 10. P. 3298.

УДК 697.7(470.343)
К.В. Котлов – аспирант
Тел.: 89035249553, e-mail: kotlov24@mail.ru
Московский государственный строительный университет (МГСУ)

ПАССИВНЫЕ ГЕЛИОСИСТЕМЫ ТЕПЛООБЕСПЕЧЕНИЯ ЗДАНИЙ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ НА ПРИМЕРЕ "СТЕНЫ-КОЛЛЕКТОРА ТРОМБА"

АННОТАЦИЯ

Проблема рационального использования энергоресурсов в стране является одной из главных задач XXI века. В данной статье рассматривается вопрос о возможности внедрения пассивной гелиосистемы "стены-коллектора Тромба" в качестве альтернативного источника отопления для климатической зоны республики Марий Эл. Произведенные исследования радиационного (количества прямой и рассеянной солнечной радиации) и температурного режима, а также расчет стены позволили сделать вывод, что за счет исследуемой пассивной гелиосистемы можно компенсировать часть энергии, расходуемой на отопление зданий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергоэффективные здания, солнечная радиация, пассивные гелиосистемы.

K.V. Kotlov – post-graduate
Tel.: 89035249553, e-mail: kotlov24@mail.ru
Moscow state construction university (MGSU)

PASSIVE HELIOSYSTEMS FOR HEATING BUILDINGS IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF REPUBLIC MARI EL ON AN EXAMPLE «OF A WALL-COLLECTOR BY TROMB»

ABSTRACT

The problem of rational use of power resources in the country is one of the main tasks XXI of century. In given clause the question on an opportunity of introduction passive heliosystem "of a wall-collector by Tromb" is considered as an alternative source of heating for a climatic zone of republic Mari El. The made researches radiating (quantity of direct and absent-minded solar radiation) and temperature mode, and also account of a wall, have allowed to make a conclusion, that at the expense of researched passive heliosystem it is possible to compensate a part of energy spent on heating of buildings.

KEYWORDS: energyeffective buildings, solar radiation, passive heliosystems.

Актуальность данного исследования обусловлена, в первую очередь, проблемой рационального использования энергоресурсов в стране и республике Марий Эл, в частности. Социальная, экологическая, экономическая, а особенно энергетическая ситуация в республике в начале XXI века характеризуется острым дефицитом топлива, постоянным повышением тарифов на электроэнергию, высокими ценами на жилье и высокими эксплуатационными затратами на его содержание.

Основная задача исследования – рассмотреть возможность внедрения пассивной гелиосистемы "стена-коллектор Тромба" в качестве альтернативного источника отопления в условиях умеренно-континентального климата республики Марий Эл.

$h = 3{,}0$ *м* – высота стены;

$a = 3{,}3$ *м* – ширина стены;

$b = 0{,}1$ *м* – ширина зазора между массивной стеной и наружным остеклением (ширина зазора воздушной прослойки).

Площадь наружной поверхности "стены-коллектора Тромба" определяется по формуле:

$A = h \cdot a = 3 \cdot 3{,}3 \approx 10$ *м*^{2} – площадь поверхности стены;

$a_в = 8{,}7 \frac{Bm}{м^{2 \cdot 0} C}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, принимаемых по табл. 4* [2];

Для решения системы балансовых уравнений необходимо ввести коэффициент теплообмена между поверхностью и воздухом $a'_в$, определяемый в

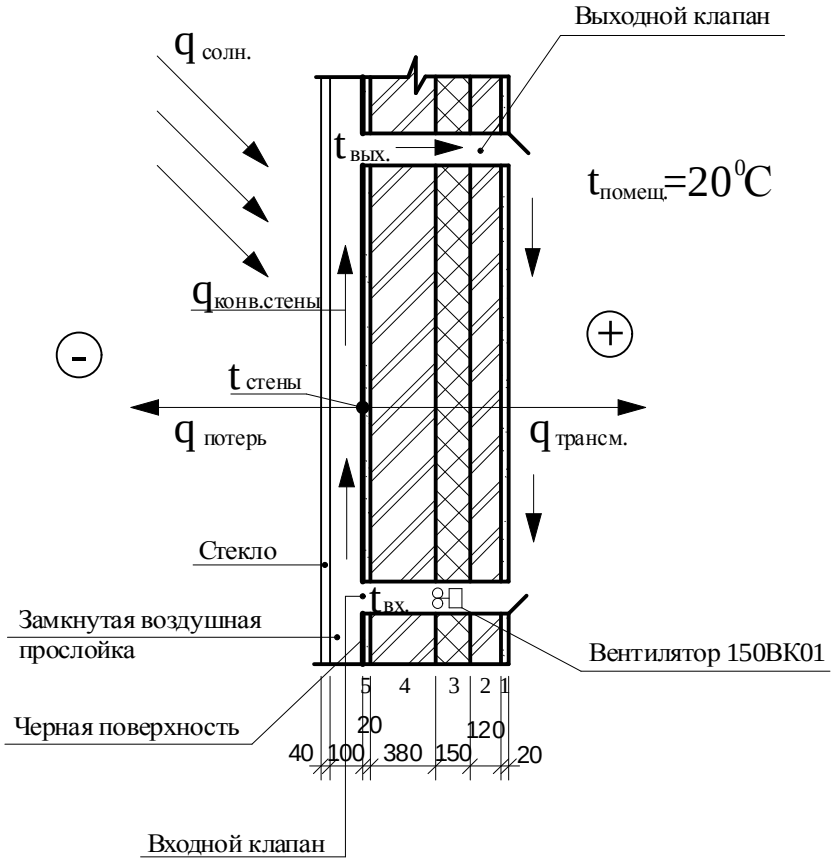


Рис. 1. Расчетная схема “стены-коллектора Тромба”

зависимости от скорости движения воздуха v в воздушной прослойке [1] по формуле:

$$a_в^{'} = 8{,}7 + 2{,}6 \cdot v = 8{,}7 + 2{,}6 \cdot 0{,}26 = 9{,}38 \frac{Вт}{м^2 \cdot {}^0C}. \quad (1.1)$$

Скорость движения воздуха в замкнутой воздушной прослойке находится как отношение производительности канального вентилятора L к площади зазора воздушной прослойки $A_{щели}$:

$$v = \frac{L}{A_{щели}} = \frac{305}{0{,}33 \cdot 3600} = 0{,}26 \frac{м}{с}. \quad (1.2)$$

Для определения скорости движения воздуха v необходимо определить площадь зазора воздушной прослойки $A_{щели}$:

$A_{щели} = a \cdot b = 3{,}3 \cdot 0{,}1 = 0{,}33 м^2$ – площадь зазора воздушной прослойки.

Теплотехнические характеристики для отдельных слоев конструкции берем из Приложения 3* [2].

Для решения системы балансовых уравнений принимаем $t_{помещ.} = t_{вх.} = 20^0 C$.

$g_{возд.} = 1{,}2 \frac{кг}{м^3}$ – плотность воздуха при t=20 ^0C;

$a_н = 23 \frac{Вт}{м^2 \cdot {}^0C}$ – коэффициент теплоотдачи для зимних условий;

$r = 0{,}9$ – коэффициент поглощения солнечной радиации;

$l_{стекла} = 0{,}76 \frac{Вт}{м \cdot {}^0C}$ – расчетный коэффициент теплопроводности при условии эксплуатации Б;

$d_{стекла} = 0{,}04$ $м$ – толщина остекления [3];

$S = 149 \frac{Вт}{м^2}$ – максимальное значение прямой солнечной радиации на вертикальную поверхность, приходящееся на 15 апреля;

$D = 128 \frac{Вт}{м^2}$ – среднее часовое значение рассеянной солнечной радиации на вертикальную поверхность в апреле;

$t = 0,7$ – коэффициент пропускания для одинарного остекления прямой солнечной радиации;

$L = 305 \frac{м^3}{час}$ – производительность канального вентилятора марки 150ВК01 (мощность – 30 Вт, диаметр крыльчатки – 150 мм);

$C = 1 \frac{кДж}{кг \cdot {}^0 C}$ – удельная теплоемкость.

Определяем расчетный коэффициент остекления по формуле:

$$K_{остекл.} = \frac{1}{\frac{1}{a_н} + \frac{1}{a_в} + \frac{d_{стекла}}{l_{стекла}}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{1}{8,7} + \frac{0,04}{0,76}} = 4,76 \frac{Вт}{м^2 \cdot {}^0 C}. \quad (1.3)$$

Записываем систему балансовых уравнений:

$$q_{конв.стены} = a_в^{'}(t_{стены} - (t_{вх.} + t_{вых.})/2)$$

$$q_{трансм.} = \frac{1}{(\frac{1}{a_в} + \frac{d_1}{l_1} + \frac{d_2}{l_2} + \frac{d_3}{l_3} + \frac{d_4}{l_4} + \frac{d_5}{l_5})} \cdot$$

$$\cdot (t_{стены} - t_{помещ.})$$

$$q_{конв.стены} + q_{трансм.} = q_{солн.} - q_{потерь} \quad (1.4)$$

$$q_{конв.стены} = L \cdot g_{возд.} \cdot C(t_{вых.} - t_{вх.})/A$$

$$q_{потерь} = K_{остекл.} \cdot (\frac{t_{вых.} + t_{вх.}}{2} - t_н)$$

$t_н = \frac{0,23 + 4,98 + 9,72}{3} = 5^0 C$ – среднемесячная температура за апрель.

Определяем поток солнечной радиации, поглощенный 1 $м^2$ массивной стены, по формуле:

$$q_{солн.} = S \cdot t \cdot r + D \cdot t \cdot r = 149 \cdot 0,7 \cdot 0,9 +$$

$$+ 128 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 174,5 \frac{Вт}{м^2}. \quad (1.5)$$

Для решения системы уравнений принимаем температуру наружной поверхности стены $t_{стены} = 40^0 C$, а температуру на выходе из клапана (верхнее отверстие в массивной стене) равной $t_{вых.} = 30^0 C$.

Переписываем систему уравнений с учетом известных величин:

$$q_{конв.стены} = 9,38(40 - (20 + 30)/2) = 140,7 \frac{Вт}{м^2}$$

$$q_{трансм.} = \frac{1}{\left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{0,15}{0,06} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,02}{0,93}\right)} \cdot$$

$$\cdot (40 - 20) = 6,10 \frac{Вт}{м^2}$$

$$q_{потерь} = 4,76 \cdot \left(\frac{30 + 20}{2} - 5\right) = 95,2 \frac{Вт}{м^2}$$

$$q_{конв.стены} = q_{солн.} - q_{потерь} - q_{трансм.} =$$

$$= 174,5 - 95,2 - 6,10 = 73,20 \frac{Вт}{м^2}$$

Выражаем $t_{вых.}$ из уравнения баланса замкнутой воздушной прослойки (1.4):

$$t_{вых.} = \frac{73,20 \cdot 10 + \frac{20 \cdot 305 \cdot 1,2 \cdot 1}{3,6}}{\frac{305 \cdot 1,2 \cdot 1}{3,6}} = 27,2^0 C$$

Получившаяся фактическая температура на выходе $t_{вых.} = 27,2^0 C$ приближается к заданной температуре $t_{вых.} = 30^0 C$. Для более точного определения фактической температуры зададим $t_{вых.} = 27,6^0 C$ и пересчитаем систему с учетом этой температуры:

$$q_{конв.стены} = 9,38(40 - (20 + 27,6)/2) = 152,0 \frac{Вт}{м^2}$$

$$q_{трансм.} = \frac{1}{\left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,93} + \frac{0,12}{0,81} + \frac{0,15}{0,06} + \frac{0,38}{0,81} + \frac{0,02}{0,93}\right)} \cdot$$

$$\cdot (40 - 20) = 6,10 \frac{Вт}{м^2}$$

$$q_{потерь} = 4,76 \cdot \left(\frac{27,6 + 20}{2} - 5\right) = 89,5 \frac{Вт}{м^2}$$

$$q_{конв.стены} = q_{солн.} - q_{потерь} - q_{трансм.} =$$

Таблица

Количество теплоты, передаваемое стеной в течение отопительного периода

Месяцы	Количество теплоты Q, Дж
Январь	-206,84
Февраль	81,87
Март	572,95
Апрель	854,0
Первая половина мая	1078,13
Октябрь	50,83
Ноябрь	-246,16
Декабрь	-325,22

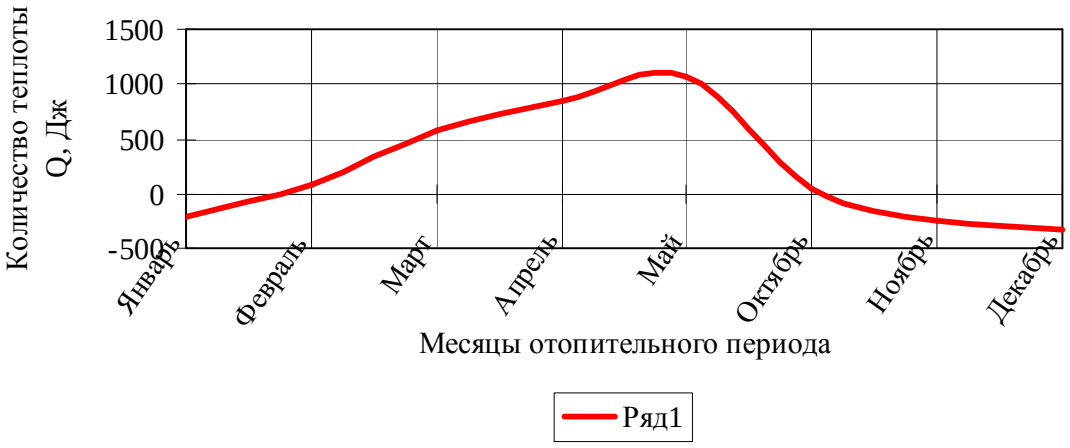


Рис. 2. Диаграмма изменения работы “стены-коллектора Тромба” в течение отопительного периода

$$= 174,5 - 89,5 - 6,10 = 78,90 \frac{Вт}{м^2}$$

Выражаем $t_{вых.}$ из уравнения баланса замкнутой воздушной прослойки:

$$t_{вых.} = \frac{78,90 \cdot 10 + \frac{20 \cdot 305 \cdot 1,2 \cdot 1}{3,6}}{\frac{305 \cdot 1,2 \cdot 1}{3,6}} = 27,8^0 C$$

Получившаяся фактическая температура на выходе $t_{вых.} = 27,8^0 C$ приблизительно равна заданной температуре $t_{вых.} = 27,6^0 C$. Следовательно, можно определить количество тепла, переданного “стеной-коллектором Тромба” в обслуживаемое помещение:

$$Q = q_{трансм.} \cdot A + L \cdot C \cdot g_{возд.} \cdot \left(t_{вых.} - t_{вх.}\right) =$$

$$= 6,10 \cdot 10 + \frac{305 \cdot 1 \cdot 1,2}{3,6} \cdot (27,8 - 20) = 854,0 Дж. \quad (1.6)$$

Для эффективного определения периода продолжительности работы “стены-коллектора Тромба” нами была написана расчетная программа в Excel, основанная на решении системы балансовых уравнений. С помощью программы было определено количество теплоты Q, передаваемое стеной в обслуживаемое помещение (см. табл.).

По полученным значениям нами построена диаграмма зависимости количества теплоты Q от месяца отопительного периода (см. рис. 2).

Из анализа диаграммы можно сделать следующие выводы:

1. Эффективная работа стены наблюдается в трех месяцах: март, апрель и первая половина мая.

2. Максимальное количество теплоты, передаваемое стеной в обслуживаемое помещение, наблюдается в мае, а минимальное – в октябре.

3. Исследования показали, что стена не работает в ноябре, декабре и январе, то есть не передает тепло в обслуживаемое помещение.

Следовательно, стена позволит компенсировать часть энергии для отопления зданий в климатической зоне республики Марий Эл.

Литература

1. Богословский В.Н., Сканави А.Н. Отопление. – М: Стройиздат, 2001. – 257 с.
2. СНиП II-3-79*. Строительная теплотехника [Текст] / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1998. – 32 с.
3. ГОСТ 111-90. Стекло листовое. Технические условия. – М., 1992. – 13 с.
4. СНиП 23-01-99. Строительная климатология [Текст] / Госстрой России. – М.: Управление технормирования Госстроя России, 2000. – 68 с.
5. Расчет и проектирование ограждающих конструкций [Текст] / НИИ строит. физики. – М.: Стройиздат, 1990. – 233 с.: ил. – (Справ. пособие к СНиП II-3-79. Строительная теплотехника).

УДК 536.34
Ю.И. Правник – инженер, заведующий лабораторией
Д.Н. Антропов – кандидат технических наук, старший преподаватель
Р.А. Садыков – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплоэнергетики
Тел.: (843) 510-47-01, e-mail: sadykov-r-a@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

КОМАНДНОЕ ДАВЛЕНИЕ В ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМЫХ РЕДУКТОРАХ

АННОТАЦИЯ
Исследуется зависимость результирующей силы от давления потока газа на элементы конструкции редуктора для различных режимов редуцирования. Определяется рациональное командное давление для управления процессом редуцирования газовых потоков. Приведены результаты управления редуктором на примерах производственной деятельности. Рассматриваются свойства редуктора.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: результирующая, командное давление, саморегулирование, перенастройка, схема управления.

Yu.I. Pravnik – engineer, head of laboratory
D.N. Antropov – candidate of technical sciences, senior lecturer
R.A. Sadykov – doctor of technical sciences, professor, head of Heat-Power Engineering department
Tel.: (843) 510-47-01, e-mail: sadykov-r-a@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

COMMAND PRESSURE IN REMOTE-CONTROLLED REDUCERS

ABSTRACT
Dependence total forces from pressure of a gas stream upon constructional elements of a reducer for various modes reduction is investigated. Rational command pressure for management of reduction process gas streams is defined. Results of management by a reducer are resulted on examples of industrial activity. Properties of a reducer are considered.

KEYWORDS: total, command pressure, self-regulation, realignment, control scheme.

Существующие системы газообеспечения теплоэнергетических установок работают в связке «рабочий редуктор [1, 2] – командный редуктор [3, 4]». Настройка рабочего редуктора на требуемый режим осуществляется командным редуктором и длится **несколько секунд**. Работа на режиме продолжается как максимум до выработки ресурса. При этом давления входа $P_{вх}$, выхода $P_в$ и расход газа G являются постоянными величинами.

В производственной практике потребовался запуск рабочего редуктора **за доли секунды** и его работа на короткий промежуток времени при непрерывном понижении $P_{вх}$ (автономный источник газа не пополняется) и постоянных $P_в$ и G. Предъявлялись и повышенные требования к свойствам редуктора: стабильность режима и чувствительность.

Актуальность выполнения этих требований привела к созданию новой системы управления рабочим редуктором, проведению необходимых расчётов и экспериментального подтверждения в производственной практике, что и решается в данной статье.

На рис. 1 изображён дистанционно управляемый мембранный редуктор с действующими силами от давления потока газа на элементы конструкции.

При постоянном $P_{вх}$ редуктор работает в установившемся режиме редуцирования. Обычно в этом режиме работают редуктора в системах газообеспечения теплоэнергетических установок [4]. Баланс сил в этом случае выражается равенством:

$$\sum_{i=1}^{3} F_i = \sum_{i=4}^{7} F_i , \qquad (1)$$

где: $F_1 = P_к S_м$ – сила от командного давления, действующего на мембрану; $F_2 = P_в S_r$ – сила от давления выхода, действующая на клапан; $F_3 = P_{вх} S_n$ – сила от давления входа, действующая

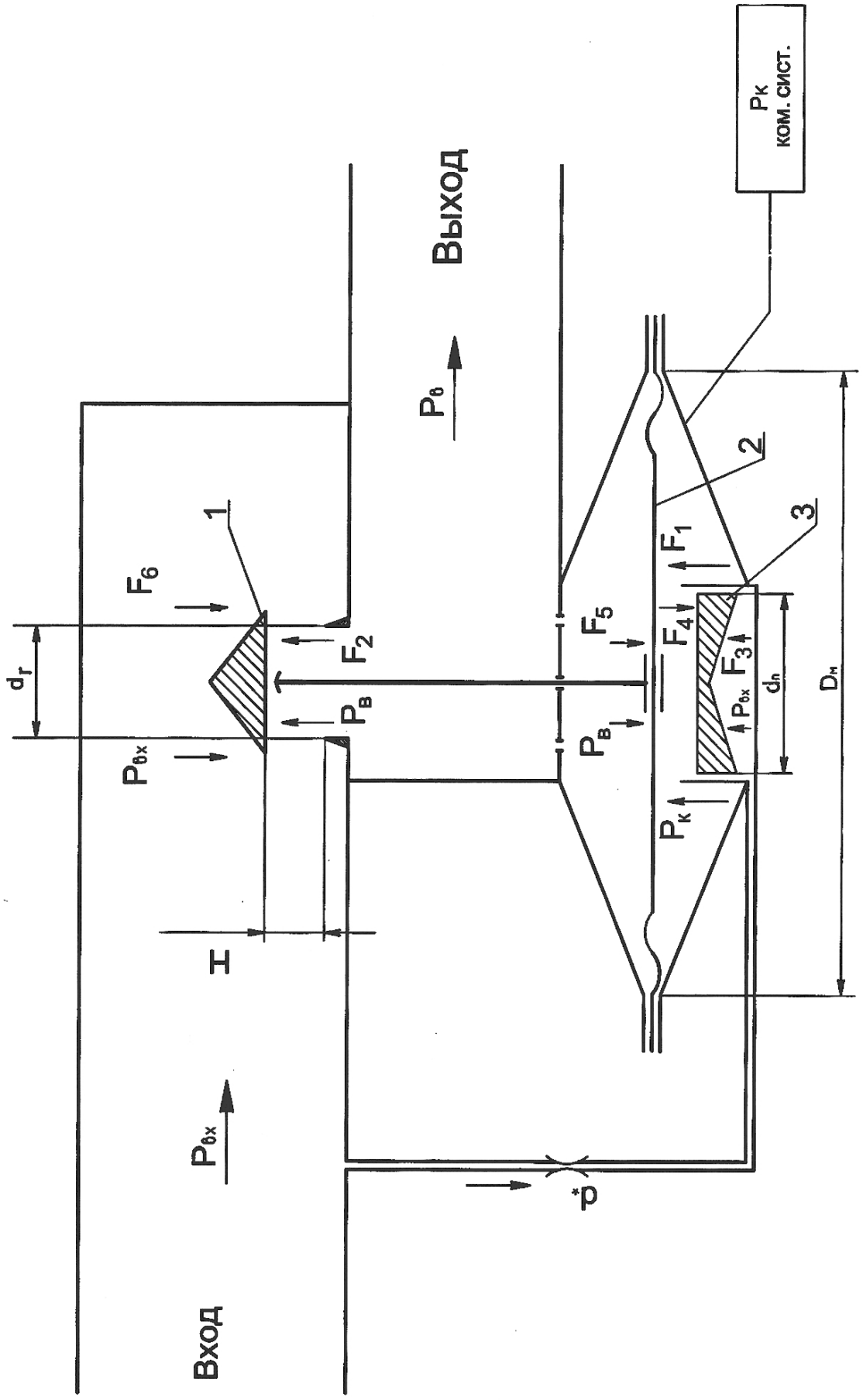


Рис. 1. Мембранный редуктор с тарельчатым клапаном:
1 – клапан, 2 – мембрана, 3 – поршень разгрузки

на поршень разгрузки; $F_4 = P_к S_п$ – сила от командного давления, действующая на поршень разгрузки; $F_5 = P_в S_м$ – сила от давления выхода, действующая на мембрану; $F_6 = P_{вх} S_r$ – сила от давления входа, действующая на клапан; $F_7 = P_{кс} S_м$ – силы сопротивления; $P_{кс}$ – командное давление сопротивления, достаточное, чтобы открыть редуктор при $P_{вх} = 0$, $P_к$ – командное давление; $S_м$, $S_п$, S_r – площади мембраны, поршня разгрузки и клапана соответственно.

За положительное направление сил принимается направление движения клапана на открытие.

Выражение (1) через давления и соответствующие площади элементов конструкции можно записать:

$$P_к\left(S_м - S_п\right) - P_в\left(S_м - S_r\right) - .$$
$$- P_{вх}\left(S_r - S_п\right) - P_{кс} S_м = 0 \qquad (2)$$

Из (2) следует, что при $P_{кс} = 0$, $P_в = 0$ и $S_п = 0$:

$$S_м / S_r = P_{вх} / P_к .$$

Известные конструкции редукторов [2] имеют соотношение площади мембраны к площади клапана :

$$S_м / S_r = 15 \div 50 . \qquad (3)$$

Большая величина $S_м / S_r$ берётся при низких давлениях входа. Применение разгрузочных устройств (рис. 1, поз. 3) в мембранных редукторах позволяет использовать меньшие величины этих соотношений. Соотношения давлений этим величинам не соответствуют, т.к. в реальности присутствуют силы сопротивления.

При понижающемся $P_{вх}$ в процессе редуцирования равенство (2) не равно нулю, а принимает значение результирующей силы F_Σ.

При подаче $P_{вх}$ на редуктор, когда $P_к = 0$ и $P_в = 0$, результирующая сила (в дальнейшем результирующая) согласно (2) принимает вид:

$$F_\Sigma = -P_{вх}\left(S_r - S_п\right) - P_{кс} S_m . \qquad (4)$$

Для **запуска** редуктора (вывод редуктора на режим редуцирования) нужно подать $P_к$ на редуктор, с ростом которого, пока клапан находится в соприкосновении с седлом (редуктор закрыт) и $P_в = 0$ и $G = 0$, результирующая в некоторый момент времени становится:

$$F_\Sigma = P_к\left(S_м - S_п\right) - P_{вх}\left(S_r - S_п\right) - P_{кс} S_м = 0 . \qquad (5)$$

С дальнейшим ростом $P_к$ клапан отходит от седла (редуктор открывается), и, как следствие, G и $P_в$ возрастают. В этом случае F_Σ будет:

$$F_\Sigma = P_к\left(S_м - S_п\right) - P_в\left(S_м - S_r\right) -$$
$$- P_{вх}\left(S_r - n_2^* S_r - S_п\right) - P_{кс} S_м , \qquad (6)$$

где $n_2^* = P_{rm} / P_{вх}^*$, P_{rm} – давление в зоне редуцирования, $P_{вх}^*$ – полное давление входа [5].

При достижении $P_к$ и $P_в$ расчётных величин и постоянном $P_{вх}$ результирующая станет $F_\Sigma = 0$. В случае убывающего $P_{вх}$ нулевое значение F_Σ будет на короткий промежуток времени. В дальнейшем изменение $P_{вх}$ делает F_Σ определённой величиной, в идеале одинаковой при постоянном режиме редуцирования.

Из выражения (6) при $F_\Sigma = 0$ командное давление будет:

$$P_к = P_в \frac{S_м - S_r}{S_м - S_п} + P_{вх} \frac{S_r - n_2^* S_r - S_п}{S_м - S_п} + P_{кс} \frac{S_m}{S_м - S_п} . \qquad (7)$$

Физически запуск редуктора имеет следующую картину: с ростом давления $P_к$ в командной полости редуктора чувствительный элемент (это мембрана или поршень) начинает перемещаться, приводя в движение клапан и открывая зону редуцирования. По достижении заданного режима высота подъема клапана – H – станет [6]:

$$H = H_m \left(\frac{1}{n_1^*}\right)^{\frac{\kappa+1}{2\kappa}} \left(\frac{P_в}{P_{вх}^{/}}\right)^{\frac{\kappa+1}{2\kappa}} , \qquad (8)$$

где: H_m – максимальный ход клапана, $P_{вх}^{/}$ – давление входа на момент завершения запуска редуктора (т.е. в начале процесса редуцирования).

Любой редуктор в **процессе редуцирования** должен обеспечивать **саморегулирование и перенастройку.**

Саморегулирование – это способность поддерживать заданный режим редуцирования,

несмотря на помехи. Помехами могут быть изменения G, $P_{вх}$ и $P_в$, причиной которых является несовершенство систем и конструкций. Но, в конечном итоге, все они сводятся только к изменению $P_в$, на которое и реагирует редуктор в режиме саморегулирования. Отклонение $P_в$ ведёт к изменению F_Σ (6), которое вызывает изменение $P_к$. Это действие продолжается до того момента, пока не происходит нивелирование $P_в$. К моменту возврата $P_в$ до заданной величины происходит восстановление F_Σ до прежнего уровня, т.к. при правильной настройке командной системы редуктора наряду с непрерывным уменьшением $P_{вх}$ должно соответственно изменяться и $P_к$. Физически это выглядит следующим образом: отклонение $P_в$ изменяет положение чувствительного элемента редуктора, который, в свою очередь, изменяет положение исполнительного элемента – клапана, что влияет на G, т.к. изменяется высота подъема клапана – H (8). Процесс прекратится, когда $P_в$ и $P_к$ уравняют силы по обе стороны чувствительного элемента редуктора.

Перенастройка редуктора осуществляется заданным изменением $P_к$ и происходит процесс, аналогичный саморегулированию, только инициатором его является не $P_в$, а $P_к$.

Останов процесса редуцирования происходит сбросом $P_к$ с командной полости редуктора. И здесь есть момент, когда F_Σ принимает вид, аналогичный выражению (5). В это время G через редуктор прекратится, и, т.к. $P_{вх}$ и уменьшились пропорционально в процессе редуцирования, F_Σ будет такой же, какой была в случае запуска редуктора.

Вышеизложенное есть результат управления процессом, включающим запуск, само редуцирование и останов, которое осуществляется $P_к$. Рассчитывается $P_к$ по равенству (7) и подтверждено производственной эксплуатацией подобного типа редукторов.

Для того, чтобы понять изменение $P_к$ в процессе редуцирования с условием сохранения постоянными $P_в$ и G при непрерывном понижении $P_{вх}$, представим равенство (7) в виде:

$$P_в\left(S_м - S_г\right) = P_к\left(S_м - S_п\right) - $$
$$- P_{вх}\left(S_г - n_2^* S_г - S_п\right) - P_{кс} S_м, \qquad (9)$$

здесь $P_{вх}$ – убывающая переменная величина, т.к. источник газа в процессе редуцирования не пополняется, $P_{кс}$ – практически величина постоянная. Поэтому для управления редуцированием необходимо пропорционально изменению $P_{вх}$ изменять $P_{к,}$, чтобы сохранить G и $P_в$ постоянными, т.е. должно соблюдаться следующее равенство, вытекающее из (9):

$$\left(P_к - \Delta P_к\right)\left(S_м - S_г\right) = \left(P_{вх} - \Delta P_{вх}\right)\left(S_г - n_2^* S_г - S_п\right), \qquad (10)$$

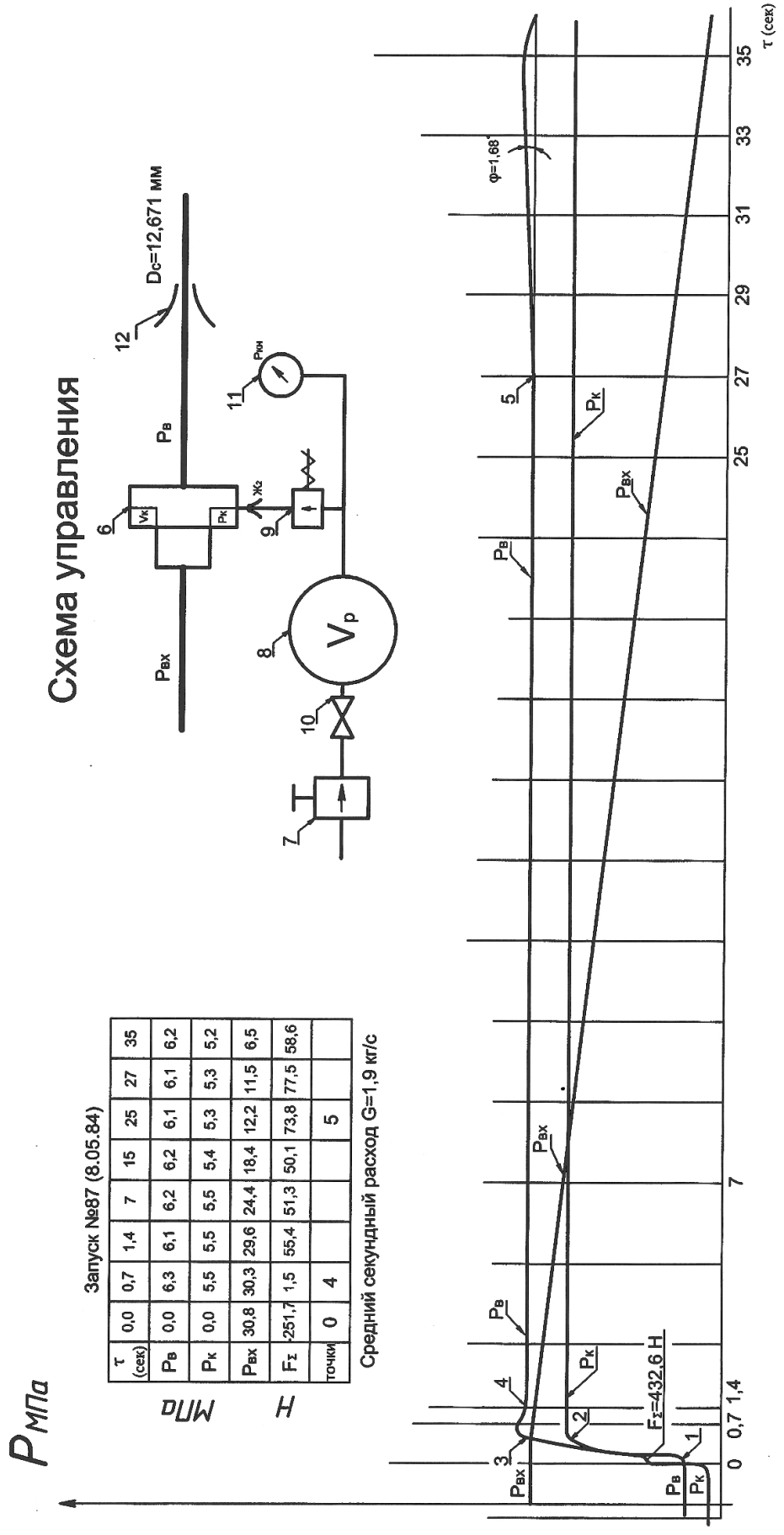
где $\Delta P_к$ и $\Delta P_{вх}$ – изменение $P_к$ и $P_{вх}$ соответственно в процессе всего времени редуцирования.

Для проверки проведённых расчётов в практике разработана и осуществлена схема управления процессом редуцирования (рис. 2), которая обеспечила требуемые условия изменения $P_к$.

По этой схеме управление редуцированием (редуктором) осуществляется следующим образом. В ресивер 8 объемом V_p командным редуктором 7 устанавливается настроечное командное давление – $P_{кн}$, измеряемое манометром 11. Ручной кран 10 закрывается. Для запуска редуктора 6 открывается ЭПК 9 и командный газ подается в командную полость редуктора 6. При выходе редуктора на заданный режим редуцирования (заданные $P_в$ и G) в ресивере 8 объёмом V_p и в командной полости объёмом $\Delta V_к$ редуктора 6 устанавливается давление, равное $P_к$. В процессе редуцирования (всего времени работы редуктора) $P_в$ и G постоянные величины (расход лимитируется соплом 12 при заданном $P_в$), $P_{вх}$ падает, а с ним пропорционально падает и $P_к$ за счет увеличения объема командной полости редуктора до $V_к$.

При расчёте учитывается, что количество командного газа постоянно:

$$P_{кн} = P_к \frac{V_p + \Delta V_к}{V_p}, \qquad (11)$$



τ (сек)	0,0	0,7	1,4	7	15	25	27	35
Pв	0,0	6,3	6,1	6,2	6,2	6,1	6,1	6,2
Pк	0,0	5,5	5,5	5,5	5,4	5,3	5,3	5,2
Pвх	30,8	30,3	29,6	24,4	18,4	12,2	11,5	6,5
Fz	251,7	1,5	55,4	51,3	50,1	73,8	77,5	58,6
точки	0	4				5		

Рис. 2. Осциллограмма продувки редуктора:
(6 – редуктор, 7 – командный редуктор, 8 – ресивер, 9 – ЭПК, 10 – кран, 11 – манометр, 12 – расходомерное сопло)

где $\Delta V_к$ с учётом (8) будет:

$$\Delta V_к = (h+H)S_м = \left[h + H_m \left(\frac{1}{n_1^*} \right)^{\frac{к+1}{2к}} \left(\frac{P_в}{P_{вх}^/} \right)^{\frac{к+1}{2к}} \right] S_м, \quad (12)$$

здесь h – высота командной полости закрытого редуктора.

Задача заключается в том, чтобы найти V_p, при котором $P_к$ уменьшалось бы пропорционально уменьшению $P_{вх}$. Расчёт V_p производился следующим образом. Находилась величина $\Delta P_{вх}$:

$$\Delta P_{вх} = P_{вх} - P_{вх}^/ = P_{вх} - \frac{P_в}{n_1}, \quad (13)$$

где: $n_1 = P_в / P_{вх}^/$ [5],

и величина $\Delta P_к$ с использованием равенств (10) и (13):

$$\Delta P_к = P_к - \frac{P_в}{n_1} \frac{S_r - n_2^* S_r - S_n}{S_м - S_n}. \quad (14)$$

С другой стороны, используя равенства количества командного газа, имеем:

$$P_к \left(V_p + \Delta V_к \right) = \left(P_к - \Delta P_к \right) \left(V_p + V_к \right), \quad (15)$$

откуда следует:

$$V_p = V_к - \frac{P_к}{\Delta P_к} \left(V_к - \Delta V_к \right), \quad (16)$$

где $P_к$, $\Delta V_к$ и $\Delta P_к$ находятся по (7), (12) и (14). По известному $P_к$ и (11) находим $P_{кн}$.

По результатам исследований проводились производственные работы с редуктором [7], по схеме управления представленной на рис. 2. F_Σ и $P_к$ вычислялась по размерам конструктивных параметров этого редуктора с использованием (6) и (7) соответственно:

$$F_\Sigma = 276,50 P_к - 201,60 P_в - 5,03 P_{вх} - 276,50 P_{кс}, \quad (17)$$

$$P_к = 0,73 P_в + 0,02 P_{вх} + 3,50. \quad (18)$$

Результаты продувки представлены в таблице рис. 2.

Точка «О» – отвечает моменту $P_к = 0$, что соответствует (4).

Точка «1» – соответствует моменту появления $P_в$. Редуктор открылся согласно (6).

Точки «2» и «3» – соответствует моменту, близкому к завершению запуска (начало выхода на режим) при времени $t = 0,4$ с.

Точка «4» – соответствует окончательному выходу на расчетный режим, равенству (7) и времени $t = 0,7$ с, где $F_\Sigma \neq 0$ (всего 1,49 Н). (При точности измерения и расшифровки параметров давления в 3 % трудно отличить $P_к = 5,5$ МПа от $P_к = 5,495$ МПа, при котором $F_\Sigma = 0$).

Точка «5» – это момент перехода от критического редуцирования к докритическому, отчётливо виден подъём $P_в$, указанный в [5]. Значения F_Σ в продолжении времени редуцирования от 1,4 с до 35 с близки по значению ($F_\Sigma = 55,4 \div 58,6$ Н), чем доказывается, что $P_в$ практически является в этот исход времени постоянной величиной.

При постоянных $P_в$ и $P_{вх}$ следует, что должно быть и $P_к = const$. Последнее может быть обеспечено одним командным редуктором, настроенным на требуемое $P_к$ [1, 2]. Этот режим соответствует режимам работы системы газообеспечения многих теплоэнергоустановок.

Редуктор как регулятор должен обладать следующими свойствами: **стабильностью и чувствительностью.**

Стабильность выражается в способности конструкции выдерживать один и тот же режим редуцирования от пуска к пуску при одинаковом $P_к$ с учётом $P_{вх}$. Поскольку $P_{вх}$ не всегда одинаков, то приходится брать поправки на $P_к$, используя (18).

Критерием стабильности может служить отклонение $\Delta P_в$, не выходящее из доверительного интервала, который вычисляется по закону Стьюдента (Госсета)

$$s = \pm (2,78 \div 2,26) \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n} \left(P_{в_i} - \overline{P_в} \right)^2}.$$

(Тут коэффициенты $2,78 \div 2,26$ соответствуют $n = 5 \div 10$.

Для других n придется интерполировать. $P_{в_i}$ –

значение давления выхода очередного запуска, $\overline{P_в}$ – номинальное значение давления выхода). $\Delta P_в$ определяется следующим образом. Осуществляется n запусков редуктора [7], в данном случае $n=8$, поэтому коэффициент будет 1,8 при $\overline{P_в}=1$ Мпа.

С доверительной вероятностью 0,95 доверительный интервал будет: $\Delta P_в = \pm 2s = \pm 0,008$ МПа. Это в абсолютной величине. Более универсальна к применению будет относительная величина $dP_в = \pm \frac{2s}{\overline{P_в}}$ 100 % [8]. Так, стабильность редуктора [7] была $dP_в = 0,8$ % при использовании системы управления по схеме рис. 2.

Чувствительность – это способность редуктора реагировать изменением $P_в$ на $P_к$ или способность его к перенастройке, т.е. влияние $P_к$ на $P_в$. Воспользуемся выражением (7). Изменение $P_к$ на величину ΔP_k изменит и $P_в$ на $\Delta P_в$. В результате получим:

$$P_к + \Delta P_к = \left(P_в + \Delta P_в\right)\frac{S_м - S_r}{S_м - S_n} -$$

$$- P_{вх}\frac{S_r - n_2^* S_r - S_n}{S_м - S_n} - P_{кс}\frac{S_m}{S_м - S_n}. \quad (19)$$

Если из вновь полученного выражения вычесть (7), то получится $\Delta P_k = \frac{S_м - S_r}{S_м - S_n}\Delta P_в$. Чувствительность характеризуется отношением изменения командного давления к изменению давления выхода, т.е. $\Delta = \frac{\Delta P_k}{\Delta P_в} = \frac{S_м - S_r}{S_м - S_n}$. Из этого отношения следует, что $\Delta < 1$, т.к. конструктивно делается $S_r > S_n$, а при $S_n = 0$ будет $\Delta = 1 - \frac{S_r}{S_м}$. Из (3) следует, что $\frac{S_r}{S_м} = \frac{1}{15} \div \frac{1}{50}$, т.е. конструкции редукторов [1, 2] в идеале могут быть чувствительностью $\Delta = 0,93 \div 0,98$, а при проектировании новой конструкции, выбирая отношение (3), можно заранее задаваться чувствительностью. Значение чувствительности находится рядом с $P_в$ в выражении $P_к$ (7). Редуктора типа [6], например, имеют $\Delta = 0,73 \div 0,944$ согласно (7) или $\frac{S_r}{S_м} = \frac{1}{14} \div \frac{1}{18}$.

Таким образом, вышеизложенное позволило раскрыть физическую картину явления, рассчитать командное давление и найти способ управления процессом редуцирования. Кроме того, приведённые результаты устраняют необходимость проводить длительные и дорогостоящие предварительные работы по настройке дистанционно управляемых редукторов, что важно при расчётах затрат и оборудования для теплоэнергетики, машиностроения, авиастроения и других отраслей промышленности.

Литература

1. Интернет // http://www.saratov-gaz.ru/catalogue/pressure_regulator/rdbk/.
2. Киселёв И.А. Котельные установки. – М.: Высшая школа, 1975. – 278 с.
3. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. – М.: Машиностроение, 1968. – 488 с.
4. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры. – М.: Машиностроение, 1964. – 832 с.
5. Правник Ю.И., Казаков В.А., Садыков Р.А. Редуцирование газа в дистанционно управляемых редукторах большого расхода // Известия КазГАСУ, 2008, № 1(9). – С. 152-158.
6. Правник Ю.И., Казаков В.А., Садыков Р.А. К расчету конструктивных параметров дистанционно управляемых редукторов большого расхода // Известия КазГАСУ, 2008, № 2(10). – С 104-108.
7. Садыков Р.А., Правник Ю.И., Давлетбаева Ф.И. Редуктор. Патент на изобретение РФ № 2344461 от 20.07.2007 г.
8. Испытания жидкостных ракетных двигателей / Под редакцией Левина В.Я. – М.: Машиностроение, 1981. – 199 с.

УДК 541.183
Р.Г. Сафиуллин – кандидат технических наук, доцент
Тел.: (843) 238-39-93, e-mail: safiullin_rinat@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРИСТЫХ ВРАЩАЮЩИХСЯ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ (ПВР), РАЗРАБОТАННЫХ ДЛЯ УВЛАЖНИТЕЛЕЙ ВОЗДУХА

АННОТАЦИЯ
Представлены экспериментальные данные об эффективности работы ПВР с загрязненной водой, их дисперсных характеристиках и затратах энергии на распыливание.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пористый вращающийся распылитель, эффективность очистки, дисперсность распыла.

R.G. Safiullin – candidate of technical sciences, associate professor
Tel.: (843) (843) 238-39-93, e-mail: safiullin_rinat@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF POROUS ROTARY ATOMIZERS (PRA) DESIGNED FOR AIR HUMIDIFIERS

ABSTRACT
Experimental data showing PRA's effectiveness with contaminated water, their dispersion characteristics and atomizing energy consumption are presented.

KEYWORDS: porous rotary atomizer, effectiveness clearings, mist dispersion.

В цехах предприятий бумажного, табачного, кожевенного производства, в типографиях и теплицах по условиям технологического процесса относительная влажность воздуха должна быть не ниже 60÷75 %. Дефицит влаги в холодный период здесь может достигать 10 г/кг воздуха и более, что требует устройства промышленных увлажнителей воздуха высокой производительности. В ряде случаев вместо централизованной системы целесообразно использовать один или несколько автономных распылительных аппаратов большой производительности, проводя местное доувлажнение воздуха в помещении. Такие конструкции очень удобны при текущих изменениях расположения рабочих мест или зон складирования продукции, а также в помещениях малой площади.

В работе [1] предложено несколько эффективных конструкций увлажнителей воздуха распылительного типа, в которых удельная поверхность взаимодействия 1 м^3 воды и воздуха может достигать 20000 м^2 и более. Такая величина межфазовой поверхности достигается за счет мелкодисперсного распыления воды, проводимого с помощью ПВР из абразивного материала. Выбор распылителя для увлажнителей основывается на известных качествах ПВР, выделяющих их из широкого ряда подобных устройств [2]. Главное из них – практически монодисперсное распыливание. При этом производительность одного распылителя может регулироваться за счет изменения скорости вращения и подачи жидкости в широких пределах от 0,1 до 1000 л/ч без изменения качества распыла. ПВР на основе абразивов к тому же отличаются простотой конструкции и низкой стоимостью [3, 4].

Тенденция пористого материала к засорению частицами примесей воды существенно не может повлиять на перспективы применения ПВР в распылительных аппаратах. Небольшая стоимость изделий дает возможность заменять их по мере загрязнения пор абразивного материала при работе с недеминерализованной или рециркуляционной водой. Однако, в случае значительного присутствия в исходной воде частиц примесей (песка, ила) необходимо использовать конструкцию ПВР с устройством осаждения и отвода загрязнителя, которая показана на рис. 1, *а*. Во внутренней полости таких распылителей смонтирован специальный вкладыш-ротор 1 с конической внутренней поверхностью, выполняющий функцию осадительной центрифуги. Частицы песка, ила и другие твердые включения выделяются из воды и осаждаются под действием центробежной силы на внутренней поверхности вкладыша в виде кольцевого слоя осадка. Очищенная вода отводится через центральную щель 2 к внутренней поверхности пористого цилиндра 3 и распыляется, а осадок периодически удаляется из распылителя по коническому каналу 4 через отводной штуцер 5.

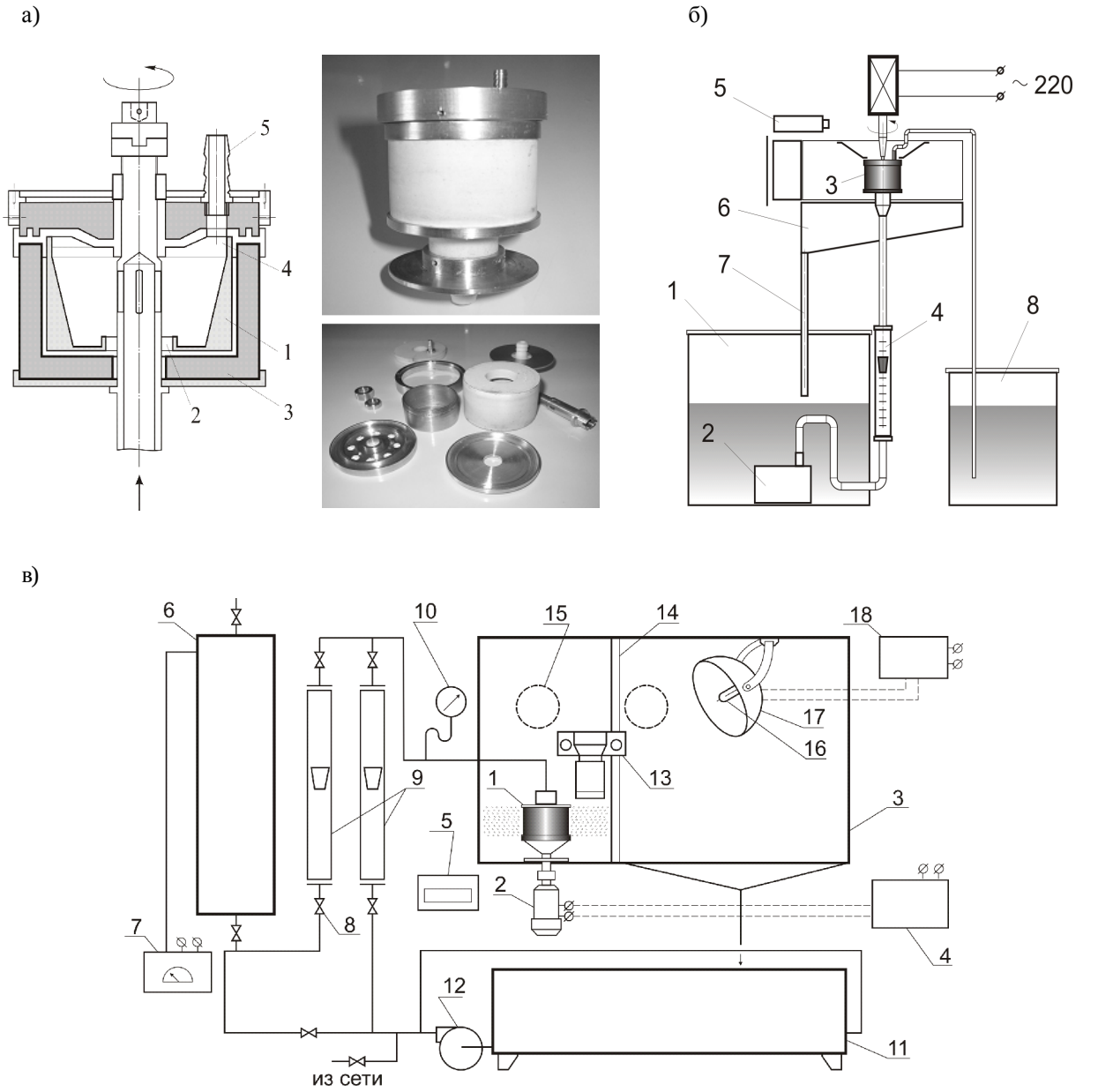


Рис.1. Конструкция ПВР с вкладышем-центрифугой (а), схема стенда по определению эффективности очистки (б), схема установки по определению дисперсности распыла ПВР (в)

С целью получения достоверных сведений о возможностях работы предлагаемой конструкции ПВР, ее дисперсных характеристиках и затратах энергии на распыливание были проведены серии опытов в лабораторных условиях. На рис. 1, *б* приведена схема экспериментальной установки, на которой определялась эффективность очистки в образце ПВР из абразивного материала М10 диаметром 50 мм. Вода с искусственно введенными примесями из контейнера 1 с помощью погружного насоса 2 под давлением поступает во внутреннюю полость распылителя 3. Расход поступающей жидкости фиксируется по показаниям ротаметра 4, скорость вращения – по оптическому тахометру 5.

Очищенная во вкладыше-сепараторе вода распыляется с наружной поверхности ПВР, собирается в поддоне 6 и направляется в контейнер 1 по трубке 7. Отсепарированная в распылителе часть жидкости вместе с загрязнителем выводится из ПВР в мерную емкость 8 для последующего анализа содержания механических примесей седиментационным способом. Расход фильтрата определялся объемным методом.

Результаты экспериментов, выполненных на опытной установке с дистиллированной водой и с загрязнителем в виде песка, представлены в таблице 1. Данные таблицы показывают удовлетворительное качество работы и эффективность предлагаемой конструкции распылителя.

Таблица 1

Результаты экспериментов по определению эффективности очистки в сепараторе ПВР

Объемный расход воды, л/ч		Частота вращения, об/мин.	Масса песка, г		Эффективность очистки, %
На распылитель	Фильтрата		Введенная	После сепарации	
1.54	0.041	2800	120.54	117.60	97.5
1.52	0.046	3600	140.33	138.24	98.5
1.54	0.058	4500	135.70	132.45	97.6
1.56	0.064	5000	98.04	97.12	99.1
2.24	0.068	5000	24.25	23.93	98.7
4.65	0.067	5000	30.40	29.25	96.2

Схема установки по определению дисперсных характеристик ПВР показана на рис. 1, *в*. Экспериментальный стенд включал в себя электродвигатель постоянного тока 2 для привода во вращение распыливающего устройства 1. Питание осуществлялось от сети переменного тока через выпрямитель 4, который обеспечивал возможность плавного изменения скорости вращения вала в диапазоне 0÷250 об/с. В схеме выпрямителя установлены амперметр и вольтметр, позволяющие определять потребляемую двигателем мощность.

В исследованиях применялись распылители на основе серийно выпускаемых абразивных цилиндров типа ЧЦ из электрокорунда белого и нормального с размером основной фракции зерна 250 и 400 мкм, что соответствует обозначению зернистости 25П и 40П соответственно.

Вода подавалась в распылитель непосредственно от сети водопровода или из питающей емкости 6. Необходимое давление в 6 создается сжатым воздухом с помощью компрессора 7. Распыленная жидкость через приемный бункер уходила в емкость 11, где предусмотрена возможность подготовки рабочих жидкостей с различными физическими свойствами. Рабочая жидкость закачивается в емкость 6 насосом 12. Регулирование расхода осуществляется вентилями 8 до и после ротаметров 9. Скорость вращения ПВР определялась по скорости вращения вала электродвигателя путем измерения последней тахометром с часовым механизмом 5. Расход жидкости определялся ротаметрами 9, которые предварительно калибровались объемным методом. Давление перед распылителем измерялось манометром 10.

Для получения картины распыла проводилась фотосъемка в масштабе 1:6 с глубиной резкости до 50 мм. Фотокамера 13 устанавливалась на координатнике 14 таким образом, что оптическая ось объектива проходила перпендикулярно к плоскости факела. Длительность экспонирования при съемке задавалась временем свечения лампы-вспышки 16, управляемой через разрядное устройство 18. В единичном разряде длительность вспышки составляла ~$1\cdot10^{-6}$ секунды. В качестве источника света использовалась импульсная лампа ИСШ-100-5, заключенная в водонепроницаемый корпус прожектора 17. Расположение лампы-вспышки относительно объекта съемки выбиралось согласно известной зависимости освещенности от расстояния. Работа с фотоаппаратом осуществлялась через нарукавники и прорези 15, сделанные в светопроницаемой камере 3.

Дисперсный состав распыла определялся анализом снимков участка факела радиусом до 0.1 м и углом при вершине 10°. Измеренные капли разделялись на фракции: менее 0.1 мм; 0.1÷0.2 мм, 0.2-0.3 мм и т.д. По данным фракционного состава вычислялся средний объемно-поверхностный диаметр капель d_{32} в факеле распыла (средний диаметр по Заутеру). Он представляет собой такой размер капли, отношение объема которой к ее поверхности равно отношению суммарного объема всех капель в распыле к их поверхности

$$d_{32} = \sum_{i=1}^{n} d_i^3 n_i \Big/ \sum_{i=1}^{n} d_i^2 n_i ,$$

где n_i - число капель диаметром d_i.

В опытах использовались образцы абразива наружным диаметром $d_н$=81.9 мм. Давление жидкости в сети питания составляло от 10 до 135 кПа. Это соответствовало расходам жидкости от $2\cdot10^{-6}$ до $105\cdot10^{-6}$ м^3/с. Значение угловой скорости варьировалось от 4 до 152 об/с, что соответствовало окружным скоростям вращения от 0.8 до 25 м/с. Опыты проводились в зимнее время и температура водопроводной воды составляла +5...+7°С. Эта вода характеризовалась плотностью 1010 кг/м^3, вязкостью $1.43\cdot10^{-3}$ Па·с и коэффициентом поверхностного натяжения $\sigma=70\cdot10^{-3}$ Н/м.

Таблица 2

Дисперсность распыла ПВР-250 (расход воды Q=33.8Ч10^{-6} м^3/с) и ПВР-400 (Q=21.2Ч10^{-6} м^3/с)

Скорость вращения, м/с	Центро-бежное ускорение, м/с^2	Диапазон диаметров капель, мкм/ количество капель, n, в сотнях шт							Средний диаметр капель, мкм
		<100	101-200	201-300	301-400	401-500	501-600	601-700	
Распылитель $d_н$=81.9×10^3 м, ПВР-250									
6.3	980	1.78	3.29	0.89	0.18	-	-	-	200
8.4	1740	5.70	9.26	0.89	0.09	0.18	-	-	200
10.6	2770	43.16	19.31	1.60	-	-	-	-	140
15.1	5630	69.00	18.24	1.25	-	-	-	-	130
Распылитель $d_н$=81.9×10^3 м, ПВР-400									
4.3	450	1.62	2.70	7.38	3.96	0.72	-	-	310
8.6	1810	8.46	8.46	2.34	0.90	0.18	0.18	-	250
12.9	4060	7.85	1.62	1.80	0.36	-	-	-	210
17.2	7220	0.18	12.42	0.36	-	-	-	-	160
21.4	11180	12.46	28.98	0.54	-	-	-	-	150

Результаты экспериментов по определению дисперсности факела распыленной с помощью ПВР воды представлены в табл. 2.

Из данных таблиц видно, что предлагаемый распылитель имеет конструкцию, которая практически не загрязняется твердыми включениями и не требует частой очистки, при этом происходит мелкодисперсное распыление воды на капли диаметром 150 ÷ 300 мкм.

Эксперименты по определению потребления энергии на распыливание показали, что в области скоростей вращения, принятых в опытах, энергозатраты линейно возрастают с ростом числа оборотов двигателя n и уменьшаются с увеличением давления жидкости P в сети. Обобщенная зависимость для энергозатрат, полученная обработкой осредненных значений, имеет вид

$$E = 42.6 \cdot n \cdot P^{-0.52}, \text{ кВт.}$$

Эта зависимость аппроксимирует опытные данные с точностью ±12 %.

Литература

1. Сафиуллин Р.Г. Дисперсные характеристики пористых вращающихся распылителей и конструкции аппаратов на их основе // Известия КазГАСУ, 2008, № 4. – С. 54-57.
2. Пажи Д.Г., Галустов В.С. Основы техники распыливания жидкостей. – М.: Химия; 1984. – 256 с.
3. А.С. № 1745358 (СССР). Распылитель для загрязненных жидкостей. Р.Г. Сафиуллин, А.А. Колесник, А.Б. Сергеев, Н.А. Николаев. Опубл. в Б.И. № 25, 1992.
4. http://www.inpo.ru. ООО «Инструментально-подшипниковый центр». Информационный перечень (05.07.2009).

УДК 628.3
А.Б. Адельшин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения
А.В. Бусарев – кандидат технических наук, доцент
А.С. Селюгин – кандидат технических наук, доцент
Л.Р. Хисамеева – доцент
Тел.: (843) 238-25-53, e-mail: a566pm@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

АННОТАЦИЯ
Рассмотрено современное состояние и перспективы применения нанотехнологий в системах водоснабжения и водоотведения; приведены примеры применения нанотехнологий при очистке поверхностных и подземных природных вод, опреснении морской воды, очистке сточных вод. Приведены результаты исследования кафедры водоснабжения и водоотведения по применению ультрафильтрационных установок для экологически чистой воды и глубокой очистке нефте- и фенолсодержащих вод.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нанотехнологии, водоснабжение, водоотведение, природные и сточные воды, способ, установка, очистка.

A.B. Adelshin – doctor of technical sciences, professor, head of Water Supply and Water-Drainage department
A.V. Busapev – candidate of technical sciences, associate professor
A.S. Selyugin – candidate of technical sciences, associate professor
L.R. Hisameeva – associate professor
Tel.: (843) 238-25-53, e-mail: a566pm@rambler.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

THE PROBLEM OF NANOTECHNOLOGY USAGE IN WATER SUPPLY AND WATER SEWAGE SYSTEMS

ABSTRACT
Modern state and perspectives of nanotechnology usage in water supply and water sewage systems are considered. Examples of nanotechnology wade in purifying of surface and underground natural water, freshening of sea salt water, purifying of sewage department investigation are presented in ultra – filter devices for obtaining ecologically pure water and deep purifying oil and phenol containing water.

KEYWORDS: nanotechnology, water supply, water sewage, natural and waste water, device, purifying.

В связи с ростом антропогенного воздействия на окружающую среду и увеличением в мире дефицита питьевой воды все более актуальными становятся вопросы очистки природных и сточных вод.

Одним из направлений совершенствования систем водоснабжения и водоотведения является применение нанотехнологий. Нанотехнологии – это процессы, материалы и аппараты, имеющие дело с частицами, размеры которых находятся в пределах от 10 до 100 нм ($10^{-8} – 10^{-7}$ м) [1].

Сегодня в мире нанотехнологиям уделяется все большее внимание. Мировой рынок нанотехнологий к 2015 году достигнет объемов в один триллион долларов США. Российский сектор нанотехнологий в этот же период составит более 3 % от этого объема [1].

В Республике Татарстан в 2008 году научно-исследовательскими учреждениями были предложены 24 проекта на основе нанотехнологий для приоритетных отраслей промышленности Татарстана. В 2009 году количество таких проектов возросло до 81. По 45 из них ведутся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, а по 36 проектам при взаимодействии с Госкорпорацией «Роснанотех» в различных отраслях экономики созданы промышленные технологии, на реализацию которых планируется привлечь 26,8 миллиардов рублей. К 2015 году должны быть реализованы 130 проектов в области нанотехнологий с предварительным объемом финансирования по РФ 142 миллиарда рублей [2].

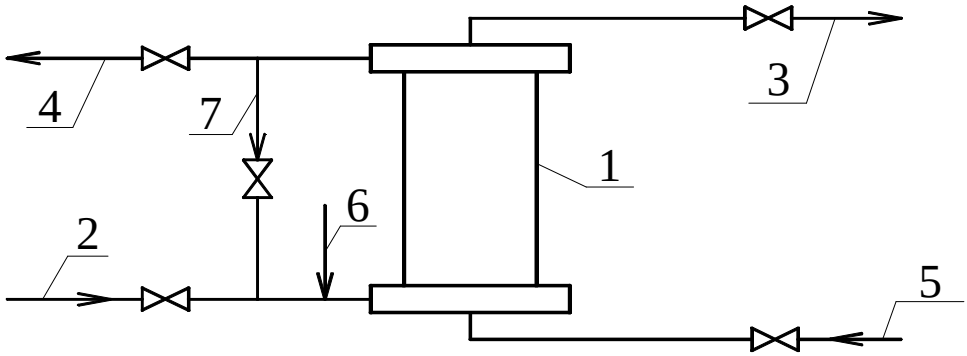


Рис. 1. Модульная нанофильтрационная установка
1 – модуль нанофильтрации; 2 – подача исходной воды; 3 – отвод очищенной воды; 4 – отвод концентрата; 5 – подача воды на промывку; 6 – подача воздуха; 7 – трубопровод рециркуляции

В настоящее время одним из крупнейших проектов, реализуемых в этой области в Республике Татарстан, является освоение добычи и глубокой переработки тяжелых нефтей и природных битумов на основе нанотехнологий. Этот высокотехнологический проект, выполняемый под руководством ОАО «Татнефть», оценивается более чем в 1 миллиард рублей [1].

К области нанотехнологий следует отнести и мембранную очистку воды. Мембранное разделение осуществляется либо под давлением, либо под воздействием электрического тока (электродиализ). Мембранное разделение под давлением по размеру пор мембран, а, следовательно, и размеру задерживаемых частиц подразделяется на [3]: а) микрофильтрацию (размер пор 10^{-8} – 10^{-6} м); б) ультрафильтрацию (10^{-9} – 10^{-8}м); в) нанофильтрацию (10^{-10} – 10^{-9} м); г) обратный осмос (менее 10^{-10} м).

При помощи микрофильтрации из воды удаляются взвешенные вещества, коллоиды, некоторые виды микроорганизмов и металлы, фосфор, а также снижается ее жесткость; при помощи ультрафильтрации в воде снижается концентрация взвешенных веществ, коллоидов и некоторых органических загрязнений, удаляются бактерии и некоторые виды вирусов, снижается жесткость воды [4]. Нанофильтрация удаляет из воды соли жесткости, пестициды, двухвалентные анионы, снижает ее жесткость. С помощью обратного осмоса из воды удаляется большинство солей, нитраты, нитриты, аммиак, фосфор, фториды, а также радиоактивные вещества [3, 4].

История разделительных мембран начинается в 70-х годах прошлого века, когда были созданы обратноосмотические мембраны для подготовки питьевой воды. Стремление к созданию разделительных мембран с более высокой проницаемостью и меньшим удержанием растворимых веществ привело к созданию во второй половине 80-х годов микро-, ультра- и нанофильтрации, которые использовались главным образом для умягчения питьевой воды [5].

Разделительные мембраны изготавливаются, как правило, из синтетических материалов, известны и керамические мембраны, обычно используемые при микрофильтрации. Разделительные мембраны состоят из поддерживающего и фильтрующего слоя. Поддерживающий слой изготавливается из полифосфатов, а фильтрующий – из полиамидов или аналогичных по свойствам материалов [3].

Мембраны изготавливаются в виде плоских листов или полых цилиндров. Затем они собираются в модули определенного размера, которые приспособлены к работе под давлением. Модули могут соединяться последовательно и параллельно. Таким образом, оборудование для мембранного разделения является высокомодульным и поставляется в виде готовых установок [3].

На рисунке 1 представлена технологическая схема нанофильтрационной установки, предназначенной для очистки хозяйственно-бытовых стоков [5]. В данной установке применены мембраны капиллярной нанофильтрации типа $2x4^{11}$ NF 50M10, производимые компанией X-Flow Company (Нидерланды) [5].

Задержание разделительными мембранами загрязнений происходит по следующим причинам [6]: а) размер частиц превышает размер пор мембран; б) осуществляется адсорбция частиц поверхностью мембран; в) происходит блокирование частиц внутри пор. Первый механизм задержания частиц загрязнений является основным. Принципиальное различие процессов фильтрования и мембранного разделения заключается в том, что при фильтровании извлекаемые из воды частицы остаются либо на поверхности, либо в объеме фильтрующей загрузки, которая периодически регенерируется. При мембранном разделении образуются два раствора: фильтрат или пермеат (очищенная вода) и концентрат (раствор, обогащенный удаляемыми веществами) [3, 4, 6]. Эффективность мембранного разделения в

значительной степени зависит от проницаемости и селективности мембран [6].

Оборудование для электродиализа состоит из пакета катионных и анионных мембран. Очищенная вода и рассол собираются в соответствующих камерах, образуемых стенками мембран. Порядок этих камер определяется зарядом электродов.

Существуют электролизеры реверсивного типа. Меняя полярность, можно попеременно использовать камеры, как для сбора очищенной воды, так и для сбора рассола, что увеличивает срок службы мембран. При этом крупные и нейтральные частицы электролизерами из воды не удаляются [3].

К недостаткам мембранного разделения следует отнести [3, 5, 6]: а) необходимость утилизации концентрата; б) сложность эксплуатации мембранных разделителей (консервация неработающих мембран, их хранение и, главным образом, их регенерация; в) чувствительность мембран к загрязнениям, что обуславливает необходимость предварительной очистки воды; г) относительно небольшой срок службы (для микро- и ультрофильтрационных мембран $1 \div 8$ лет, а для обратноосмотических $3 \div 5$ лет); д) сравнительно высокая вероятность выхода мембран из строя. Тем не менее, мембранное разделение нашло широкое применение в системах водоснабжения и водоотведения.

Так автор работы [7] считает возможным применение ультрафильтрации и обратного осмоса при обезжелезивании, деманганации и обесфторивании подземных вод с целью их использования для целей водоснабжения населенных пунктов различных районов РФ. Данные методы позволяют снизить концентрацию железа в воде с 7 мг/л, марганца – с 7 мг/л, а фтора – с 10 мг/л до требований СанПиН 2.1.4.1074-01.

ООО «Космо-Дизайн интернэшил» (г. Москва) разработало способ многоступенчатой очистки воды из любых пресноводных источников [8]. Вначале очищаемую воду фильтруют через многослойную сетку из нержавеющей стали с размером ячеек 50-80 мкм; затем воду подают на патронный микрофильтр на основе пористого полипропилена с размером пор 10-20 мкм, сорбцию и финишную микрофильтрацию. В обрабатываемую воду перед микрофильтрацией и сорбцией периодически дозируют раствор, содержащий диамминаргенат – ионы $[Ag(NH_3)_2]^+$ в количестве, соответствующем концентрации серебра в воде 0,005-0,01 мг/л. После финишной микрофильтрации воду подвергают обработке УФ-излучением. Данный способ позволяет снизить содержание в воде фенола с 5 до 0,7 мкг/л, свободного хлора с 1,9 до 0,05 мг/л, железа общего с 8,24 до 0,15 мг/л, нитратов со 100 до 15 мг/л, общего хрома с 1,45 до 0,02 мг/л; снизить мутность воды с 22 до 0,2 ЕМ/л, цветность со 110 до 16 град, перманганатную окисляемость с 2,9 до 1 мг O_2/л.

В процессе мембранной обработки воды одновременно с удалением вышеперечисленных загрязнений будет происходить ее опреснение, снижение щелочности и окисляемости. Кроме того, методы мембранного разделения позволяют удалить из воды сероводород и свободную углекислоту [7].

В Республике Татарстан, в г. Альметьевске, мембранные разделители были использованы для доочистки водопроводной воды, которая в процессе длительного транспортирования (Белоусовский водозабор расположен на р. Кама в 120 км от г. Альметьевска) подвергается вторичному загрязнению.

Мембранное разделение применяется и при подготовке технической воды. Ультрафильтрационные установки используются для получения сверхчистой воды, применяемой в электронной промышленности.

Для опреснения морской воды на судах, кораблях, подводных обитаемых плавсредствах и подводных лодках широко применяются обратноосмотические установки [9, 10]. На рисунке 2 приведена схема установки для опреснения морской воды, разработанной ЦНИИ судового машиностроения [9].

Фильтрующие патроны выполнены разновеликими по диаметру и разнопористыми, причем в полости патрона большего диаметра и с более крупными порами размещено не менее трех патронов меньшего диаметра с мелкими порами. Фильтрующие патроны выполнены с возможностью упругой деформации в радиальном направлении под действием импульсного давления морской воды [9].

Мембранное разделение используется также для очистки хозяйственно-бытовых стоков. В работе [5] предлагается применять для этих целей нанофильтрационную установку (рис. 3). Исследованиями установлено, что при очистке хозяйственно-бытовых стоков продолжительность фильтроцикла не должна превышать 15 мин. При этом продолжительность межрегенерационного цикла составляет 8 ч, а нагрузка на мембраны – 20 л/м^2 ч [5].

В 1997 г. в г. Милтон (Канада) был введен в действие первый в мире мембранный биореактор (МБР) [11]. В аппаратах этого типа объединяются биологическая очистка с ультра или микрофильтрацией.

Использование разделительных мембран с биотехнологическими методами обеспечивает полное удержание в биореакторах бактерий, вирусов и других микроорганизмов; создает условия для многократного увеличения концентрации активной биомассы; позволяет осуществить эффективное отделение этой биомассы от сточной воды, а также дезинфекцию стоков, что исключает последующие ступени их отстаивания и обеззараживания.

Технология МБР способна коренным образом улучшить эффективность удаления из хозяйственно-бытовых стоков биорезистентных, токсичных и канцерогенных веществ, т.е. она обеспечивает высокое качество очищенной воды [11].

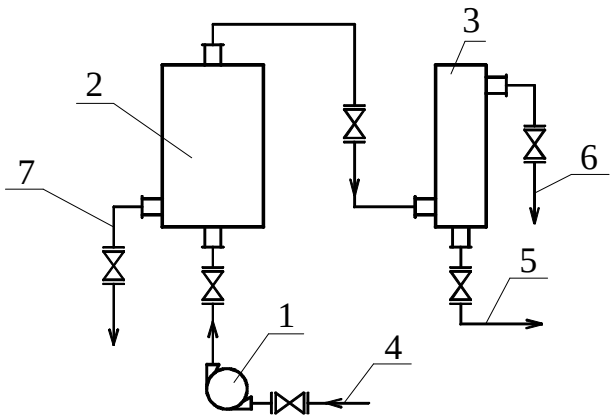


Рис. 2. Обратноосмотическая опреснительная установка
1 – плунжерный насос высокого давления; 2 – фильтр предочистки; 3 – обратноосмотический опреснительный модуль; 4 – подача морской воды; 5 – выход пермеата; 6 – выход рассола; 7 – сброс при промывке

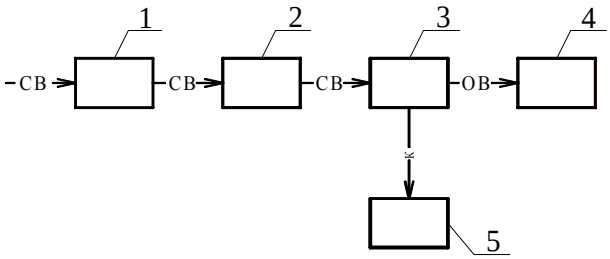


Рис. 3. Блок-схема нанофильтрационной установки для очистки хозяйственно-бытовых стоков
1 – сетка; 2 – буферная емкость; 3 – нанофильтрационная установка; 4 – емкость для очищенной воды; 5 – биореактор; СВ – сточная вода; ОВ – очищенная вода; К-концентрат

В настоящее время в мире работают более 2000 установок типа МБР: в Италии (Syndial) производительностью 46930м^3/сут; в Германии (Nordkanal) производительностью 45040м^3/сут; в США (Templ, Kyrene, Trocverse Sity, Bonita Springs, Marco Island, Redlands и др.) производительностью от 14000 до 38000 м^3/сут. В Казахстане принято решение о внедрении МБР на канализационных очистных сооружениях г. Астаны [11]. В Китае ведутся исследования по совершенствованию установок типа МБР, применяемых для очистки хозяйственно-бытовых стоков [12].

Фирмой «Дегремон» (Франция) разработан способ обработки сточных вод мембранным биореактором [13], реализованный в установке для очистки сточных вод (рис. 4).

Сточные воды (городские или промышленные) очищаются в секции 1 с МБР. Обезвоживание избыточных осадков из МБР производится на установке 4 с добавлением полиэлектролита для кондиционирования осадков. Обезвоженный осадок из установки 4 удаляется по линии 8, а отделенная от осадка вода, содержащая полиэлектролит, по линии 9 подается в контактор 2, в который по линии 12 поступает осадок из МБР. Остаточный полиэлектролит переходит в осадок. Затем кондиционированный осадок фильтруется через мембраны 3. Отделенная от осадка вода по линии 11 возвращается на очистку в секцию 1, а осадок, содержащий полиэлектролит, по линии 12 подается на обезвоживание в установку 4. Фильтрация осадка мембранами 3 позволяет предотвратить забивания мембран в секции 1.

СФЦ «Умвельттехник ГМБХ» разработан мембранный биореактор для отделения частиц от жидкости посредством полых волоконных мембран, которые объединены в пучок волокон, выполненных с возможностью протекания жидкости снаружи внутрь и из которых отфильтрованную жидкость удаляют из одного из концов и в котором имеется газоподводящее устройство для обтекания газом (сжатым воздухом) наружной поверхности полых волоконных мембран. Фильтрующий модуль содержит несколько фильтрующих устройств, расположенных вертикально рядом друг с другом стороной газопровода вниз [14].

Установки типа МБР применяются и для очистки производственных сточных вод. Так, в ЗАО «Новокуйбышевская нефтехимическая компания» (г. Новокуйбышевск) проводились исследования по очистке стоков нефтеперерабатывающего завода с использованием данных установок [10]. Установлено, что концентрация нефтепродуктов в сточной воде в установке типа МБР снижается с 21 мг/л до 0,5-1,2 мг/л, концентрация взвешенных веществ с 25-30 мг/л до 0,5-1 мг/л, а азота аммонийного – с 5-6 мг/л до 0,5-1 мг/л. ХПК сточной воды в МБР снижается со 180 мг/л до 50-70 мг/л, а $БПК_5$ – с 30-40 мг/л до 0,5-1 мг/л.

Мембранные аппараты применяются для очистки сточных вод коксохимического производства, загрязненных соединениями азота, цианидами и сульфидами [16]; для очистки сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества и неорганические соли с получением концентрированного раствора неорганических солей и утилизацией полученных продуктов [17].

Для очистки жиросодержащих сточных вод маргаринового и майонезного производств разработана технология [18], в соответствии с которой сточные воды вначале подвергаются трехступенчатой очистке. На первой ступени происходит разделение стоков на три слоя флотацией с подачей среднего заэмульгированного жировыми веществами слоя на вторую ступень, где происходит разделение на два слоя,

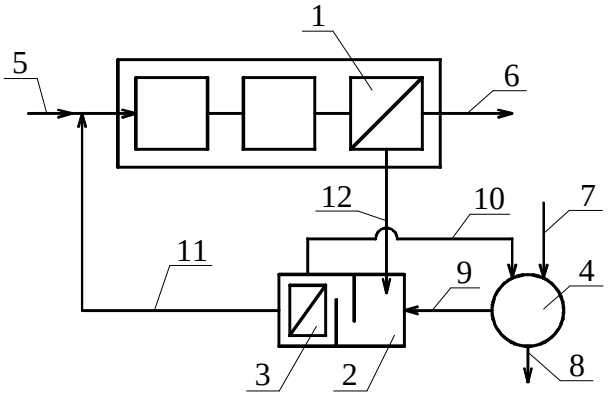


Рис. 4. Схема установки очистки воды с МБР
1 – секция обработки сточной воды с МБР; 2 – контактор (смеситель); 3 – мембрана для осадка; 4 – установка для обезвоживания осадков; 5 – подача сточной воды; 6 – отвод очищенной воды; 7 – подача полиэлектролита;8 – отвод обезвоженного осадка; 9 – отделенная вода ; 10 – осадок из мембраны; 11 – фильтрат мембран; 12 – осадок из МБР

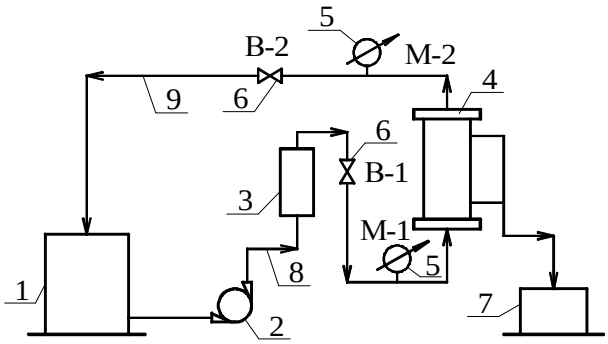


Рис. 5. Ультрафильтрационная установка УПВ-6,0
1 – емкость для исходной воды; 2 – перистальтический насос; 3 – фильтр предварительной очистки; 4 – разделительный аппарат типа АР – 2,0М; 5 – манометр; 6 – вентиль; 7 – емкость для фильтрата; 8 – трубопровод подачи воды на очистку; 9 – циркуляционный трубопровод; 10 – трубопровод отвода очищенной воды

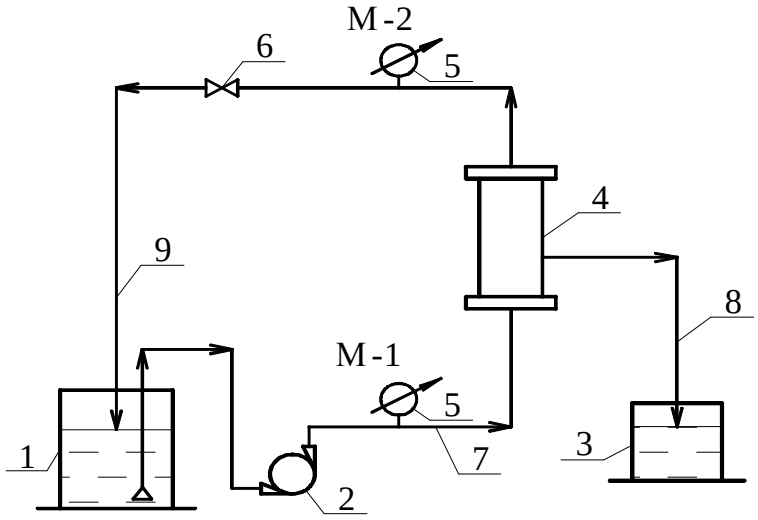


Рис. 6. Ультрафильтрационная установка УПЛ-0,6
1 – емкость для исходной воды; 2 – перистальтический насос; 3 – емкость ля фильтрата; 4 – разделительный аппарат типа АР – 2,0Н; 5 – манометр; 6 – вентиль; 7 – трубопровод подачи воды на очистку; 8 – трубопровод отвода очищенной воды; 9 – циркуляционный трубопровод

из которых верхний, содержащий жировые вещества, направляют в производство, а нижний заэмульгированный жировыми веществами слой подается на третью ступень, из которой затем вода поступает на ультрананофильтрацию, где происходит разделение на два потока. Первый, представляющий концентрат жировых веществ, возвращают в первую ступень флотации, а пермеат возвращают в производство. Данная многоступенчатая технология позволяет снизить содержание в воде жиров с 17000 мг/л до 20 мг/л (маргариновое производство) и с 15000 мг/л до 10 мг/л (майонезное производство).

Для разделения, концентрирования и опреснения различных растворов пищевой, фармацевтической, микробиологической промышленности и на предприятиях агропромышленного комплекса разработаны трубчатый мембранный модуль в виде двух коаксиально расположенных цилиндров с полупроницаемой мембранной [19] и мембранный аппарат, в линию подачи раствора которого включено вибрирующее устройство, вносящее в разделенный поток пульсации расхода и давления максимально допустимой амплитуды и резонансной частоты, что позволяет повысить удельную производительность мембранных аппаратов [20].

В Казанском государственном архитектурно-строительном университете (КГАСУ) на кафедре водоснабжения и водоотведения при участии

Казанского государственного медицинского университета (КГМУ) разработана концепция экологически чистой воды и разработана техническая документация на установку для ее получения. Одним из аппаратов, входящих в состав установки, является ультрофильтрационная установка типа УПВ-6,0 (рис. 5) с разделительным устройством на полых волокнах АР-2,0М.

На ультрофильтрационной установке типа УПЛ-0,6 (рис. 6) проведены исследования по доочистке производственных сточных вод от нефтепродуктов и фенолов. При соблюдении специального регламента регенерации разделительных мембран концентрация нефтепродуктов в сточной воде на установке УПЛ-0,6 снижались с 1-2 мг/л до 0,5 мг/л, а фенолов с 2-3 мг/л до 0,5 мг/л.

В настоящее время установка УПВ-6,0 и УПЛ-0,6 используется в учебном процессе для проведения лабораторных работ студентами специальности 270112 «Водоснабжение и водоотведение» [21, 22].

Все вышеизложенное свидетельствует об успешном применении в системах водоснабжения и водоотведения мембранного разделения, являющегося одной из разновидностей нанотехнологий, развитие которых имеет в будущем большие перспективы.

Литература

1. Дьяконов Г.С. Нано – основа технологий будущего // Top Builder, 2009, № 1. – С. 24.
2. Павлов Б.П. Нано, значит надо // Top Builder, 2009, № 1. – С. 20-23.
3. Справочник по современным технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / Отдел по датскому сотрудничеству в области окружающей среды в Восточной Европе (ДАНСЕЕ); Министерство природных ресурсов Российской Федерации. – М., 2001. – 254 с.
4. Карттунен Э. Водоснабжение II. – СПб.: Новый журнал, 2005. – 688 с.
5. Сайед С. и др. Определение оптимального режима работы капиллярных нанофильтрационных элементов при очистке сточных вод // Вода и экология, 2008, № 3. – С. 33-47.
6. Калицун В.И. и др. Лабораторный практикум по водоотведению и очистке сточных вод. – М.: Стройиздат, 2001. – 272 с.
7. Николадзе Г.И. К вопросу кондиционирования подземных вод // Известия жилищно-коммунальной академии: Городское хозяйство и экология, 1998, № 3. – С. 3.
8. Патент РФ № 2188165 от 27.08.02 г. Многоступенчатый способ глубокой очистки воды. Гутенеев В.В., Котенко А.В., Монтвила О.И., Преображенский А.В., Черный А.П.
9. Патент РФ № 2186709 от 10.08.02 г. Обратноосмотическая опреснительная установка. Веселов Ю.С., Герасимов А.В., Завирухов В.Д., Суслов В.Ф.
10. Патент РФ № 2007109399. Бюл. № 26 от 20.09.08 г. Опреснительная установка обратного осмоса. Фомин В.Ф.
11. Нурканов Ж.Е. Перспективные мембранные технологии для очистки и повторного использования сточных вод при модернизации канализационных очистных сооружений // Водные ресурсы и водопользование, 2007, № 4 (39). – С. 2-3.
12. Кионг Янг и др. Контроль загрязнения погружных мембран в мембранных биореакторах с пористой плавающей загрузкой // Вода и экология, 2008, № 1. – С. 33-46.
13. Патент РФ № 2321552. Бюл. № 10 от 10.04.08 г. Способ обработки сточных вод мембранным биореактором. Ланглэ К., Кордье М.
14. Патент РФ № 2314864. Бюл. № 2 от 20.01.08 г. Фильтрующее устройство в виде полой волоконной мембраны и его применение при очистке сточных вод, а также мембранный биореактор. Демоулин Г.
15. Швецов В.Н. и др. Очистка нефтесодержащих сточных вод биомембранными методами // Водоснабжение и санитарная техника, 2008, № 3. – С. 11-13.
16. Патент РФ № 2004136167. Бюл. № 8 от 20.03.06 г. Способ очистки сточных вод коксохимического производства с помощью газонепроницаемой мембраны. Тилерт Х.
17. Патент РФ № 2004117684. Бюл. № 32 от 20.11.05 г. Способ очистки сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества и неорганические соли. Корчалин В.И., Склядиев Е.В., Бралишников Е.Б.
18. Патент РФ № 2184084 от 27.06.02 г. Российская Федерация, МПК[7] CO2F1/24. Способ очистки жиросодержащих сточных вод. Мачигин В.С., Лялин В.А.
19. Патент РФ № 2251446. Бюл. № 13 от 10.05.05 г. Мембранный аппарат для фильтрации вязких жидкостей. Кретов И.Т., Востриков С.В., Клочников А.И., Клочникова Д.В.
20. Патент РФ № 2228788 от 20.05.04 г. Способ ультрафильтрации и устройства для его реализации. Кудрявцев В.А., Яцун С.Ф., Кудрявцева Л.Е., Кувардина Е.М., Чеховский И.Р.
21. Методические указания к проведению лабораторных работ на установке «Ультрафильтрация воды» для студентов специальности 290800 / Сост.: Адельшин А.Б. и др. – Казань: КазГАСА, 1999. – 10 с.
22. Очистка сточных вод методом ультрафильтрации. Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов специальности 270112 / Сост.: Адельшин А.Б. и др. – Казань: КазГАСУ, 2009. – 12 с.

УДК 635.64
О.Р. Каратаев – кандидат технических наук, доцент
Тел.: 89047666221, e-mail: ooo_hts@mail.ru
А.А. Лапин – кандидат химических наук, старший научный сотрудник
Е.С. Перикова – кандидат технических наук, доцент
В.Ф. Новиков – доктор химических наук, профессор
Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

АННОТАЦИЯ
При анализе окислительных свойств реактивов для дезинфекции воды был применен и усовершенствован метод кулонометрии с использованием серийного устройства и сертифицированной методики. Был проведен анализ хлорирующих агентов отечественных и иностранных изготовителей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: плавательные бассейны, реагенты для обеззараживания воды, оксидантная активность, метод кулонометрии, электрогенерированный бром.

O.R. Karataev – candidate of technical sciences, associate professor
Tel.: 89047666221, e-mail: ooo_hts@mail.ru
A.A. Lapin – candidate of chemical sciences, senior staff scientist
E.S. Perikova – candidate of technical sciences, associate professor
V.F. Novikov – doctor of chemical sciences, professor
Kazan State Energy University (KSPU)

THE COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF EFFICIENCY OF REGENTS FOR WATER DISINFECTING OF SWIMMING POOLS

ABSTRACT
For oxidant properties analysis of reagents for water disinfecting by a method of culonometry the new express method with the use of serial device and the certificated technique is developed. The analysis of domestic and foreign manufactured chlorinating preparations is carried out.

KEYWORDS: swimming pools, reagents for water disinfecting, oxidant properties, method of culonometry, electrogenerated bromine.

Санитарно-гигиеническое состояние воды в плавательных бассейнах обусловлено эффективной работой системы технологического водоснабжения. Несоблюдение технологических требований эксплуатации плавательных бассейнов может привести к риску возникновения заболеваний организма человека, в результате поражения слизистой оболочки органов дыхания, возникновения коньюктивитов, эпидермофии, аллергии, кожных и грибковых заболеваний [1].

В настоящее время для обеззараживания воды в плавательных бассейнах широко применяется процесс хлорирования, газообразным хлором или препаратами, содержащими активный хлор. Эффективность хлорирующих реагентов характеризуется лишь по содержанию активного хлора, что недостаточно для оценки окислительной активности по обеззараживанию воды [2].

Для оценки окислительной активности нами был разработан экспрессный метод анализа и проведены исследования хлорирующих реагентов для обеззараживания воды: «Хлорификс» (Германия), «Стабилизирующий хлор СТХ-250» (Испания), «Хлоритекс» (Россия) и бромирующий реагент «Аквабром» (Германия).

Для определения оксидантной активности (ОА) хлорирующих и бромирующих реагентов в пересчете на российский стандартный образец рутин, мы разработали метод вычитания (рис. 1) по их реакции с избытком аскорбиновой кислоты [1].

Определение антиоксидантной активности (АОА) аскорбиновой кислоты проводили с использованием кулонометрического метода анализа с помощью электрогенерированных радикалов брома на серийном кулонометре «Эксперт-006-антиоксиданты» НПК «Эконикс-Эксперт» (г. Москва) по сертифицированной

Рис. 1. Алгоритм проведения анализа окислительно-восстановительной активности реагентов

методике [2-3]. Прибор калибровали раствором российского стандартного образца рутина. При кулонометрическом титровании образующиеся при электроокислении бромид-ионов на анодном электроде в кислых средах соединения брома и сам бром легко вступают в радикальные и окислительно-восстановительные реакции, а также в реакции электрофильного замещения и присоединения по кратным связям, что позволяет охватить широкий круг биологически активных веществ различной структуры, обладающих антиоксидантными свойствами. Поэтому электрогенерированный бром используется в качестве реагента для оценки суммарных антиоксидантных свойств различных объектов. Аскорбиновая кислота реагирует с электрогенерированным бромом и с хлорирующими реагентами образованием дегидроаскорбиновой и L-дикетогулоновой кислот (рис. 2).

Нами были проведены сравнительные экспериментальные исследования трех хлорирующих реагентов, широко используемых для дезинфекции воды в плавательных бассейнах: «Хлорификс» из натрий-дихлоризоцианурат-дигидрата (Германия), «Стабилизирующий хлор СТХ-250» (Испания) из трихлоро-s-триазинэтрона, «Хлоритекс» на основе дихлоризоцианурата (Россия) и бромирующий реагент «Аквабром» - натуральный дезинфектант, получаемый из морской воды (Германия).

Концентрация свободного хлора в хлорирующих препаратах составляет 50-55 %. В интервале pH от 3,5 до 5,5 соединения активного хлора образуют хлорноватистую кислоту и активный хлор. Хлорноватистая кислота обладает уникальной способностью к образованию метастабильных оксидантов, обладающих антимикробным действием [4].

Хлорирование проводят путем растворения в воде хлорирующих реагентов в виде таблеток. При этом содержание свободного хлора в плавательных бассейнах поддерживается в пределах 0,5-0,6 мг/л.

Бром, как и хлор, являясь галогеном, прекрасно подходит для дезинфекции воды в плавательном бассейне. Он нейтрализует бактерии, вирусы и грибки и способствует удалению органических примесей из воды путем окисления. По сравнению с хлором бром имеет преимущества, он не имеет неприятного запаха, обладает более щадящим действием к кожным покровам и слизистым оболочкам глаз, обеспечивает

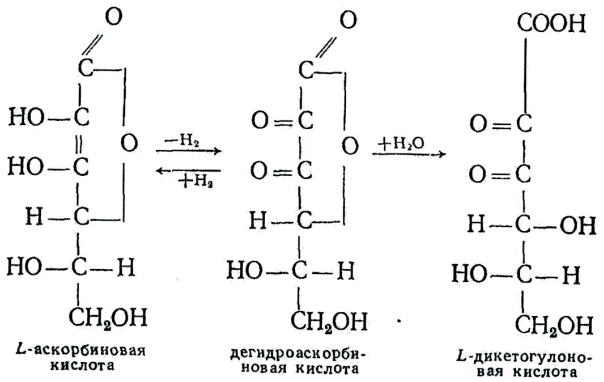


Рис. 2. Окисление аскорбиновой кислоты электрогенерированным бромом и хлорирующими реагентами

Таблица 1

Определение антиоксидантной активности аскорбиновой кислоты

№ анализа	Аскорбиновая кислота		S_x	S	E % отн.
	$C_{ак}$ % масс.	AOA_0 г			
1	0,638	56,89 ± 1,62	0,010	0,18	2,85
2	0,683	56,45 ± 0,28	0,002	0,03	0,50
3	0,720	56,83 ± 0,37	0,003	0,04	0,65
Среднее значение*	0,680	56,69 ± 0,55	0,004	0,22	0,97
4	0,900	54,22 ± 0,33	0,006	0,33	0,62
5	0,670	57,64 ± 1,08	0,007	0,43	1,87
6	0,867	59,25 ± 0,47	0,006	0,37	0,79
Среднее значение**	0,812	57,04 ± 6,38	0,04	2,57	11,18

Примечание: * Кислота аскорбиновая ОАО «Фармацевтическая фабрика Санкт-Петербурга»,
** Кислота аскорбиновая ООО «Озон» г. Жигулевск

Таблица 2

Определение калибровочного коэффициента

Рос. стандарт. образец	X в мг рутина на 100 мл	t, сек	Q в кулонах на 100 мл	S_x	S	E % отн.	K_R мг рутина на 1 кулон
Рутин	50,9	4,27 ± 0,10	113,71 ± 2,67	0,009	1,08	2,35	0,45

оптимальный уровень надежности дезинфекции воды, благодаря устойчивости к высоким значениям pH. Например, при значении pH, равном 8,0, эффективность дезинфицирующего действия брома составляет 87 % (для сравнения: у хлора – только 33 %). Медленно растворимые таблетки «Аквабром» хорошо дозируются с помощью броматора, не содержат извести, имеют нейтральную реакцию и подходят для любой воды, их рекомендуют применять в гидромассажных бассейнах.

По результатам кулонометрического титрования рассчитывали суммарное содержание антиоксидантов (АО) в исследуемом образце – AOA_0 в г рутина на 100 г образца.

К навескам аскорбиновой кислоты, взятым с точностью до 0.0001 г, добавлялось 50 мл артезианской водопроводной воды, взятой с точностью до 0.001 мл. После полного растворения растворы исследовались. Рабочий ток кулонометра I – 53.3 мА. Диапазон измерения – 100, t – время анализа в секундах, $V_{\text{аликвоты}}$ – 100 мкл.

AOA_0 рассчитывалась по формуле:

$$AOA_0 = 0{,}1 \cdot K_R \cdot t \cdot I / C_{\text{ак}}. \qquad (1)$$

Данные по анализу использованных нами образцов аскорбиновой кислоты приведены в таблице 1.

K_R рассчитывали как отношение концентрации рутина в спиртовом растворе стандарта (РСО рутин) к среднему значению Q, данные по расчету коэффициента K_R приведены в таблице 2. Содержание стандарта 50.9 мг на 100 мл спиртового раствора.

АОА в кулонах (Q) рассчитывается по формуле:

$$Q = 0.5 \cdot t \cdot I. \qquad (2)$$

Для определения ОА хлорирующих и бромирующего реагентов к навеске аскорбиновой кислоты добавлялась навеска исследуемого реагента, взятого с точностью до 0.0001 г. Затем в смесь добавлялось 50 мл артезианской водопроводной воды с pH 7.09, взятой с точностью до 0.001 мл. Определение $AOA_{ОСТ}$ непрореагировавшего остатка аскорбиновой кислоты проводили после полного растворения образцов. Рабочий ток кулонометра I – 53.3 мА. Диапазон измерения – 100, $V_{\text{аликвоты}}$ – 100 мкл.

ОА в г рутина на 100 г образца рассчитывалась по формулам:

$$OA = 100\left(0{,}5669 \cdot C_{ак} - 0{,}001 \cdot AOA_{ост}\right) / C_{ха}, \quad (3)$$

$$OA = 100\left(0{,}5704 \cdot C_{ак} - 0{,}001 \cdot AOA_{ост}\right) / C_{ха}. \quad (4)$$

Таблица 3

Определение оксидантной активности хлорирующего и бромирующего реагентов

Хлорирующий реагент	ОА рутина/ 100 г реагента	S_x	S	E % отн.
Хлорификс*	62,50 ± 1,27	0,008	0,51	2,03
СТХ-250*	61,21 ± 1,14	0,007	0,46	1,86
Хлоритекс**	47,61 ± 0,74	0,006	0,30	1,55
Аквабром**	73,35 ± 1,24	0,007	0,50	1,69

Примечание: * Данные рассчитаны по формуле (4), ** по (3).

Усредненные данные испытанных хлорирующих и бромирующего реагентов приведены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 следует, что самый активный хлорирующий реагент – «Хлорификс» (Германия), низкую активность (на 24 % отн.) проявил реагент «Хлоритекс» российского производства, поэтому у него и наблюдается более слабое выделение хлора в окружающую среду [4]. Самую высокую активность проявил реагент «Аквабром», на 17.36 % отн. выше хлорирующего реагента «Хлорификс».

Выводы:

Разработан новый экспрессный метод анализа оксидантных свойств хлорирующих и бромирующих реагентов для обеззараживания воды кулонометрическим методом с использованием серийного прибора и сертифицированной методики. Проведен анализ хлорирующих реагентов отечественного и зарубежного производства. При этом применение реагента «Аквабром» более предпочтительно, так как он обладает наиболее высокой оксидантной активностью, что указывает на его хорошие окисляющие и дезинфицирующие свойства.

Литература

1. Перикова Е.С. Совершенствование методов определения летучих полютантов, мигрирующих в окружающую природную среду при эксплуатации объектов культурно-бытового назначения // Автореферат канд. дисс. – Казань: КГЭУ, 2008. – 22 с.
2. Лапин А.А. Суммарная антиоксидантная активность // Методика выполнения измерений на кулонометрическом анализаторе. МВИ 01-44538054-07. Жердевка, Тамбовской обл., ООО «Концерн»ОИТ», 2007. – 18 с. Свидетельство об аттестации МВИ № 4, выданное федеральным государственным учреждением «Тамбовский центр стандартизации, метрологии и сертификации».
3. Жарикова О.А., Лапин А.А. Суммарная антиоксидантная и оксидантная активность // Методика выполнения измерений на кулонометрическом анализаторе. МВИ 006-52722949-09. Москва, ООО «Эконикс-Эксперт». – Казань, КГЭУ, 2008. – 33 с.
4. Каратаев О.Р. Сравнительная оценка хлорирующих препаратов при обработке воды плавательных бассейнов // Известия КазГАСУ, 2009, №1(11). – С. 221-225.
5. 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.

УДК 628.35:665.6
С.Н. Савдур – ассистент
Ю.И. Азимов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой естествознания
Тел.: 89047647578
Казанский государственный финансово-экономический институт (КГФЭИ)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ МОДУЛЬ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

АННОТАЦИЯ

Рассматривается гибкий технологический модуль (ГТМ) биоочистки углеводородсодержащих стоков. Показана целесообразность использования математического аппарата теории сетей Петри при моделировании и проектировании данных ГТМ. Построена модель в виде модифицированной сети Петри и на ее основе разработан программный макет АСУТП глубокой биоочистки технологических стоков от остаточных нефтепродуктов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сеть Петри, нефтесодержащие сточные воды, биоочистка, биодеградация углеводородов.

S.N. Savdur – assistant
Yu.I. Azimov – doctor of technical science, profesor, head of Natural Science department;
Tel.: 89047647578
Kazan State Finance and Economics Institute (KSFEI)

TECHNOLOGICAL MODULE IN TREATMENT OF OILY WATER EFFLUENTS

ABSTRACT

The article considers flexible technological module in treatment of oily water effluents. It shows the expediency in using mathematical Petri network when modeling and designing technological module in oily water effluents treatment. A model in the form of modified Petri network in constructed. This model has become the basis for programmed of automated control system of technological processes for deep bioremediation of water effluents.

KEYWORDS: Petri net, oily water effluents, bioremediation, biodegradation of hydrocarbons.

Введение

Нефть и нефтепродукты на современном этапе являются основными загрязнителями внутренних водоемов, вод и морей мирового океана. Попадая в водоемы, они создают разные формы загрязнения: плавающую на воде нефтяную пленку, растворенные или эмульгированные в воде нефтепродукты, осевшие на дно тяжелые фракции и т.д. При этом уменьшается количество кислорода, появляются вредные органические вещества, вода приобретает токсические свойства и представляет угрозу не только для человека. 12 г нефти делают непригодной для употребления тонну воды.

В настоящее время большинство очистных сооружений лишь частично решают проблему обезвреживания технологических стоков. Одним из перспективных направлений водоочистки является управляемая биодеградация углеводородов с использованием индуцибельных соединений. Этим обусловлена актуальность работы.

Основная часть

На принципе биодеградации базируется технологический модуль биоочистки углеводородсодержащих сточных вод, созданный в НПО “Биотехнология”. При ее создании использовалось переформирование типового оборудования химических производств в технологические модули. Соединяя последовательно и/или параллельно технологические модули, можно построить ГТМ переменной структуры и любой мощности [1]. Технологический модуль биоочистки сточных вод представлен на рис. 1.

Данный комплекс биоочистки состоит из следующих основных элементов:

– накопитель технологических нефтесодержащих стоков (1);

– насосы, подающие нефтесодержащие стоки на биоочистку (2а и 2б);

– первичный отстойник (3), в нем происходит отстаивание, удаление всплывших нефтеотходов;

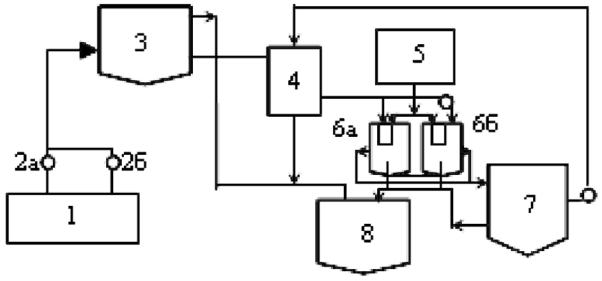


Рис. 1. Технологическая схема установки

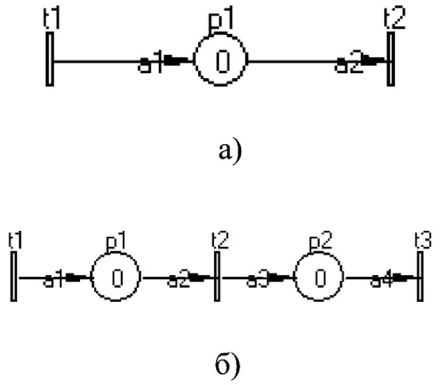


Рис. 2. Детализация графа модели АПД в виде сети Петри

– усреднитель (4) – аппарат смешения, в данном аппарате концентрация углеводородов равномерно распределяется по объему;

– емкости для микроорганизмов и биостимуляторов (5);

– струйно-отстойные аппараты (СОА) (6а и 6б);

– вторичный отстойник (7);

– шлаконакопитель (8).

Из усреднителя вода с эмульгированными в ней углеводородными соединениями непрерывно подается в СОА на струйный элемент. Параллельно в этот же поток подаются биогенные элементы из биодозаторов и микроорганизмы. В зоне струйного элемента (зоне смешения) СОА создаются оптимальные условия для биоочистки. Оседая, взвесь переходит в зону вытеснения, где происходит дальнейшее поглощение микроорганизмами углеводородных соединений.

Стоки из аппарата биоочистки сбрасываются во вторичный отстойник. Затем очищенную воду можно использовать в замкнутом контуре как промышленную воду или отводить в водоемы [2].

Системы управления объектами биоочистки сточных вод относятся к классу динамических систем с дискретной и непрерывной составляющей. Для их моделирования и исследования предлагается использовать математический аппарат модифицированных сетей Петри.

Сеть Петри – это двудольный, размеченный, ориентированный мультиграф. Основой для построения модели любого аппарата является фрагмент сети Петри, представленный на рис. 2а.

При необходимости детализации состояний аппарата позиция p1 может быть представлена графом, изображенным на рисунке 2б.

В позиции сети помещают метки, которые естественно интерпретировать как порции полупродукта в аппаратах. Срабатывание перехода t1 моделирует загрузку порций в аппарат, переход t2 соответствует обработке загруженной порции, переход t3 моделирует выгрузку обработанной порции. При необходимости возможна дальнейшая детализация сетевой модели.

В силу условия неразрывности технологического цикла переход t1 не должен сработать до срабатывания перехода t3. Для реализации данной особенности введем позицию p3 и дуги из p3 в t1 и из t3 в p3 (см. табл. 1).

Метка в позиции p_3 реализует условие готовности аппарата к новому технологическому циклу.

Таким образом, построена модель аппарата периодического действия, обрабатывающего одну порцию полупродукта. Срабатывание переходов t1, t2, t3 моделирует технологический цикл аппарата. Аппарат занят, если M(p3) = 0; аппарат готов начать технологический цикл, если M(p3) = 1. По графическому описанию строятся матричное и аналитическое описания (см. табл. 1).

Графическое и аналитическое описания СП более наглядны для сетей большой размерности, а матричное описание удобно при программной реализации СП.

Авторами разработана модификация сети Петри, проблемно-ориентированная на исследование дискретно-непрерывных систем – ДН-сети.

ДН-сети – модификация сети Петри следующего вида C = <P, T, I, O, M, L, τ1, τ2>.

Здесь P = {p1,…pn} – множество позиций, моделирующих элементы ГТМ биоочистки: аппараты, агрегаты (или их состояние), буферные емкости, датчики и т.д.

$T = \{t_1^{i1}, t_2^{i2}, \ldots, t_m^{il}\}$ – множество приоритетных переходов, моделирующих связи в ГТМ. Переходы в ДН-сети, как правило, моделируют агрегаты непрерывного действия и транспортный конвейер (систему нефтепроводов, трубопроводов, транспортеров и т.д.), связывающий элементы ГТМ.

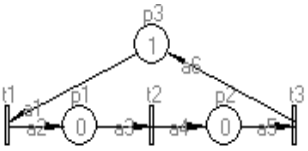
M = (M1, L) – вектор маркировки ДН-сети, элементы вектора задаются константой или маркировкой некоторой позиции M1: P→{0,1,2…}UM1(p).

Метки интерпретируются как дискретные потоки (энергетические, материальные или информационные).

L = {c1,c2,…ck} – множество цветов меток маркировки ДН-сети. Цвет метки cj = (e1,e2,...ek), ei∈ E={0,1} – вектор, компоненты которого характеризуют наличие одного из признаков или

Таблица 1

Описание сети Петри

Графическое задание	Аналитическое задание	Матричное задание
	C0 = < P, T, I, O, M0 > P = (p1, p2, p3) T = (t1, t2, t3) I(t1) = {p3} O(t1) = {p1} I(t2) = {p1} O(t2) = {p2} I(t3) = {p2} O(t3) = {p3} M = (0 0 1)	0 0 1 I (p, t) = 1 0 0 1 0 0 0 1 0 O(p, t) = 0 1 0 0 0 1 M = (0 0 1) M1 = M – I(t1) + O(t1) = (001) – (001) + (100) = (100)

параметров у метки. «Результирующий» цвет метки в конечной позиции определяет вид потока.

Входная функция I и выходная функция O определяют структуру ДН-сети, а значит, и структуру моделируемой ГТМ.

I = (I, Ia) – входная функция, где

I: PxT→{0,1,2 }UM1(p) – функция, определяющая кратность входных дуг,

Ia: PxT→E – функция раскраски входных дуг.

Аналогично определяется выходная функция O=(O, Oa).

τ1: T→N – время задержки в переходе и τ2: P→N – время задержки в позиции, интерпретируемые как время перемещения полупродукта в аппарат и как время обработки полупродукта в аппарате соответственно.

Динамика выполнения ДН-сети определяется движением меток, моделирующих движение дискретных потоков полупродуктов, и реализуется следующими правилами: переход t является разрешенным, если во всех входных позициях перехода t, количество цветных меток не меньше, чем кратность входных дуг I(t) соответствующей данному цвету раскраски Ic(t). При срабатывании перехода t маркировка M изменяется по следующим правилам: 1) из входных позиций удаляются метки, цвет cj = (e1,e2,...el) которых совпадает с раскраской входных дуг Ia(t) cl, количество их определяется кратностью дуг I(t); 2) в выходные позиции помещаются метки в количестве определяемом кратностью выходных дуг O(t), при этом операцией логического умножения векторов cj = (e1,e2,...el) и Oa(t) формируются результирующие цвета меток в выходных позициях перехода t; 3) интерпретация срабатывания перехода проста: в выходные аппараты, определяемые выходными позициями, помещаются полупродукты различных марок, задающиеся цветностью и кратностью выходных дуг [3].

При такой интерпретации ДН-сети выполнение её имитирует функционирование моделируемого ГТМ.

Модель крупного производства может содержать несколько сотен позиций и переходов. Создание ее и отладка модели – чрезвычайно трудная задача. Авторами разработаны методика автоматизированного синтеза /МАС/ моделей производственных систем и инструментарий, существенно ускоряющий процесс моделирования ГТМ – система автоматизированного моделирования (САМ), позволяющая реализовать модель в виде ДН-сети в графическом интерфейсе. Результатом работы САМ являются графическое, аналитическое, а также компьютерно-ориентированное описание ДН-сети, удобное для последующего использования в программном обеспечении АСУ ГТМ.

В среде САМ были построены модели основных аппаратов, реализующих техпроцесс биоочистки.

Первым в цепочке аппаратов находится **сборник технологических стоков,** который представлен в табл. 2а. Сборник представляет собой буферную емкость, обеспечивающую сбор, хранение и непрерывную подачу обрабатываемых сточных вод в систему очистки.

Формализуем функционирование сборника в терминах теории СП:

p1 – позиция, информирующая о наличии свободного места в резервуаре;

p2 – позиция, информирующая о текущем объеме полупродукта в сборнике;

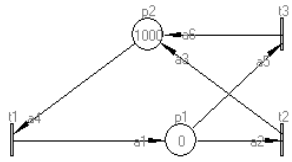
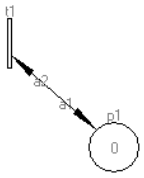
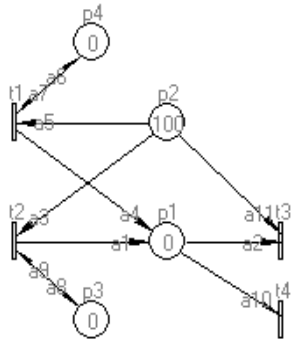
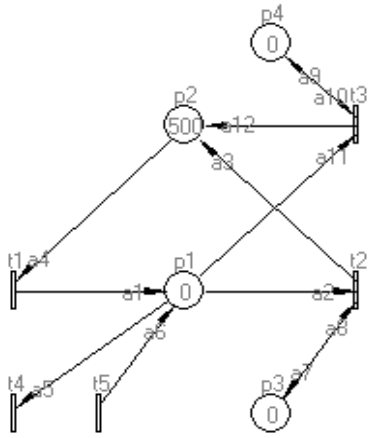
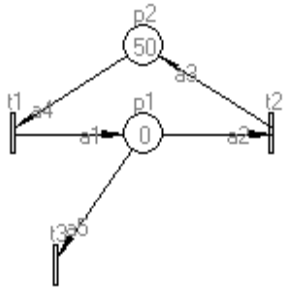
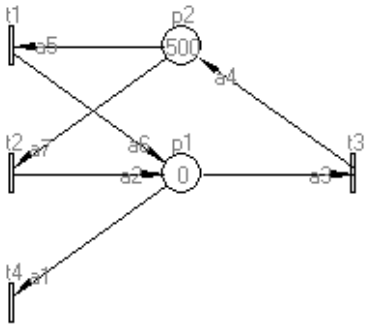
t1 – вход в сборник.

Посколку выход сборника и насос – дискретно-непрерывные устройства, то рассматриваем их как единый агрегат «сборник-насос». В модели: t2 – основной насос сборника, t3 резервный насос сборника.

Следующий аппарат ГТМ – **первичный отстойник** (данный аппарат представлен в табл. 2в), его функция – дефлотация крупных капель нефтепродуктов, емкость для грубой очистки нефти – расслоения капель нефти и воды.

Таблица 2

Модели основных элементов ГТМ

Графическое описание моделей основных элементов ГТМ	
	
а) Сборник технологических стоков	б) Насос
	
в) Первичный отстойник	г) Усреднитель
	
д) Струйно-отстойный аппарат	е) Вторичный отстойник

Интерпретируем элементы модели.

Позиция p1 – моделирует сам аппарат, его маркировка информирует о количестве стоков в первичном накопителе.

Позиция p2 – позиция, информирующая о наличии свободного объема.

Переход t1 моделирует вход в первичный накопитель (выход основного насоса).

Переход t2 моделирует вход в первичный накопитель от резервного насоса.

Переход t3 моделирует связь аппарата со следующим в цепочке – усреднителем.

Переход t4 моделирует вход в сборник неочищаемых отходов.

Усреднитель – емкость для сбора эмульгированной нефтью воды.

Поскольку функции этих аппаратов одинаковы, решено было объединить их в единый агрегат – усреднитель. Из усреднителя происходит непрерывная подача первично очищенных технологических стоков в СОА.

Построенная модель усреднителя представлена в табл. 2г. Интерпретация элементов модели следующая:

p1 – позиция, информирующая о количестве стоков в резервуарах агрегата;

p2 – позиция, информирующая о количестве свободного места в резервуаре.

Переход t1 моделирует подачу стоков из первичного отстойника.

Переход t2 моделирует подачу стоков в основной СОА (СОА1).

Переход t3 моделирует подачу стоков в резервный аппарат(СОА2).

Переход t4 моделирует выход из первичного отстойника и вход в грязесборник.

Переход t5 моделирует вход в усреднитель из вторичного отстойника.

Основной аппарат ГТМ – СОА.

В струйно-отстойном аппарате происходит процесс очистки стоков микроорганизмами. Модель СОА представлена в табл. 2д. В струйно-отстойном аппарате выделены три зоны: зона струйного элемента, зона оседания, зона отстоя. В струйном элементе создаются оптимальные условия для процесса биоочистки.

В зоне струйного элемента и зоне оседания процесс поступления стоков из усреднителя происходит непрерывно, поэтому моделируем их одним переходом t1.

Позиция p1 моделирует зону отстоя и определяет текущее заполнение СОА.

Позиция p2 определяет текущую вместимость зоны отстоя.

Переход t2 моделирует выход из СОА, через который периодически выгружается очищенная вода.

Переход t3 моделирует выход из первичного отстойника и вход в грязесборник.

Вторичный отстойник представлен в табл. 2е.

Позиция p1 моделирует сам аппарат, его маркировка информирует о количестве стоков в первичном накопителе.

Позиция p2 – сигнальная позиция, информирующая о наличии свободного объема в первичном отстойнике.

Переход t1 моделирует вход во вторичный отстойник (выход из СОА1).

Переход t2 моделирует вход во вторичный отстойник (выход из СОА2).

Переход t3 моделирует выход из вторичного отстойника.

Переход t4 моделирует вход в сборник неочищаемых отходов.

Дуги a1…..a2 определяют порционность потоков из аппарата в аппарат.

Из СП моделей типовых аппаратов была синтезирована модель всей установки, граф ее представлен на рис. 3.

Переход t1 моделирует вход в сборник загрязнённой нефтепродуктами воды.

Позиция p1 моделирует резервуар для сбора загрязнённой нефтепродуктами воды.

Позиция p2 показывает количество свободного места в резервуаре для сбора загрязнённой нефтепродуктами воды.

Петли (t2 p3) и (t3 p4) моделируют насосы.

Переходы t2 и t3 – выходы из резервуара и входы в первичный отстойник.

Позиция p5 моделирует первичный отстойник и степень его заполнения.

Позиция p6 показывает количество свободного места в первичном отстойнике.

Переход t4 моделирует выход из первичного отстойника и вход в усреднитель.

Переход t5 моделирует выход из первичного отстойника и вход в грязесборник.

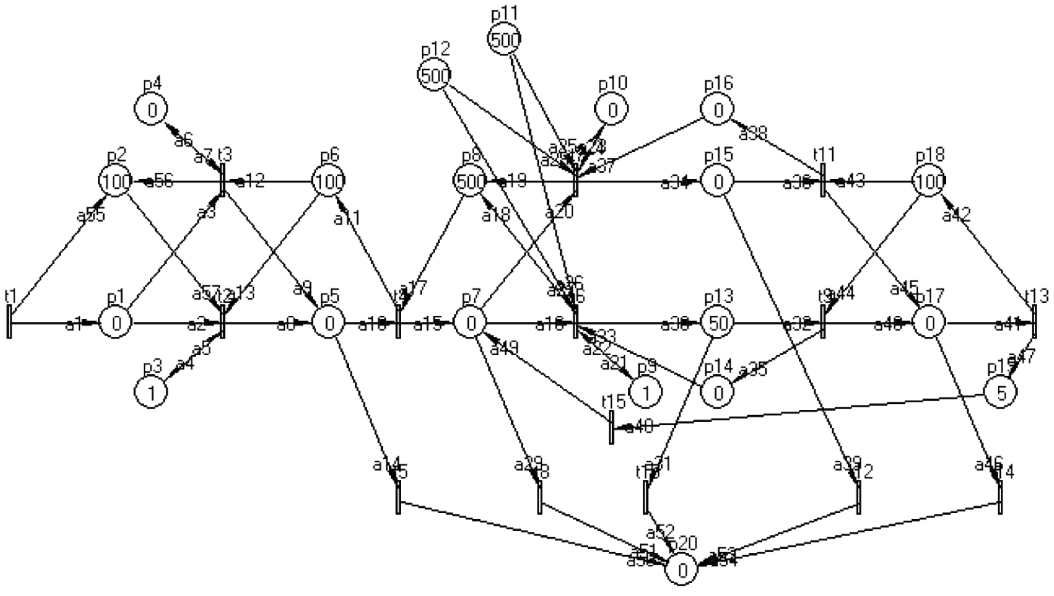


Рис. 3. Модель ГТМ в виде ДН-сети

Позиция p7 моделирует усреднитель и степень его заполнения.

Позиция p8 – позиция, которая показывает свободный объем.

Петли (t6 p9) и (t7 p10) моделируют запорную арматуру.

Переход t6 моделирует выход из усреднителя и вход в СОА1.

Переход t7 моделирует выход из усреднителя и вход в СОА2.

Переход t8 моделирует выход из усреднителя и вход в грязесборник.

Позиция p11 моделирует биодозаторы, добавляемые в СОА1 и СОА2.

Позиция p12 моделируют биостимуляторы, добавляемые в СОА1 и СОА2.

Позиция p13 моделирует СОА1.

Позиция p14 моделирует СОА1 в состоянии ожидания загрузки.

Позиция p15 моделирует СОА2.

Позиция p16 моделирует СОА2 в состоянии ожидания загрузки.

Переход t9 моделирует выход из СОА1 и вход во вторичный отстойник.

Переход t10 моделирует выход из СОА1 и вход в грязесборник.

Переход t11 моделирует выход из СОА2 и вход во вторичный отстойник.

Переход t12 моделирует выход из СОА2 и вход в грязесборник.

Позиция p17 моделирует вторичный отстойник и степень его заполненности.

Позиция p18 – сигнальная позиция, которая показывает количество свободного места во вторичном отстойнике.

Переход t13 – выход из вторичного отстойника.

Переход t14 – выход из вторичного отстойника и вход в грязесборник.

Позиция p19 – насос, который качает воду из вторичного отстойника в усреднитель.

Переход t15 – выход из насоса и вход в усреднитель.

Позиция p20 – грязесборник.

Таким образом, построена СП-модель комплекса биологической очистки технологических вод от нефтепродуктов, выполнение которой позволяет исследовать функционирование данного комплекса в условиях различных нагрузок и возмущающих воздействий и проводить анализ управляющих алгоритмов.

С использованием СП-модели был создан программный макет системы управления гибкого технологического модуля биоочистки, имитирующей функционирование ГТМ биоочистки в виртуальном времени.

На основе программного макета средствами SCADA-технологии ТРЕЙС-МОДЕ разработан проект АСУТП биологической очистки технологических стоков. Существенной особенностью разработанного проекта АСУТП является его способность адаптироваться к ГТМ биоочистки любой мощности, как для установки в рамках отдельной бензоколонки или танкера, так и системы водоочистки крупных производств нефтехимии.

При наличии технического обеспечения (устройств связи с объектом и их драйверов) АСУТП может быть использован для управления ГТМ. Таким образом, на конкретном примере показана эффективность использования математического аппарата ДН-сетей, метода программного макетирования и компьютерной имитации при создании программного обеспечения АСУТП биоочистки нефтесодержащих стоков.

Заключение

1. Таким образом, в работе рассмотрен, с системных позиций, ГТМ биоочистки нефтесодержащих технологических стоков.

2. Показана актуальность и практическая значимость работы.

3. Рассмотрен математический аппарат сетей Петри.

4. Показана применимость его к моделированию систем управления технологическими объектами с использованием сетей Петри.

5. Построены модели типовых аппаратов ГТМ и из них систематизирована модель ГТМ.

6. На основе модели построен программный макет ГТМ биоочистки нефтесодержащих технологических стоков.

Существенно, что данный подход применим для широкого класса объектов.

Литература

1. Кафаров В.В. Гибкие производственные автоматизированные системы химической промышленности // Журнал ВХО им. Д.И. Менделеева, 1987, т. 32, № 3. – С. 252-258.
2. Савдур С.Н., Морозов Н.В., Давлетгараев К.Ш. Биотехнологические схемы глубокой очистки и доочистки углеводородсодержащих стоков химических, нефтехимических и других отраслей производства на основе применения индуцибельных соединений // Ученые записки. – Казань: КГФЭИ, 2004, № 17. – С. 216-221.
3. Басыров И.Р. Расширение сетей Петри проблемно ориентированные на моделирование многоассортиментных производственных систем // Ученые записки. – Казань: КГФЭИ, 2001, № 16. – С. 177-182.

УДК 691.328
И.В. Боровских – ассистент
В.Г. Хозин – доктор технических наук, профессор
Тел.: (843) 510-47-32
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИНЫ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КОМПОЗИЦИОННОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БАЗАЛЬТОФИБРОБЕТОНОВ

АННОТАЦИЯ

Выявлены закономерности и количественные зависимости снижения длины базальтового моноволокна при его совместном смешении-помоле с портландцементом и суперпластификаторами, при изготовлении композиционного вяжущего. Установлено положительное влияние различных пластификаторов на сохраняемость длины волокна при этом процессе и повышение прочности твердеющего вяжущего.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: базальтовое волокно, распределение волокна по длине, фибровое армирование.

I.V. Borovskikh – assistant
V.G. Khozin – doctor of technical sciences, professor
Tel.: (843) 510-47-32
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

CHANGE OF LENGTHS OF BASALT FIBERS AT ITS DISTRIBUTION IN COMPOSITE KNITTING HIGH-STRENGTH FINE-GRAINED BASALT FIBER CONCRETE

ABSTRACT

Laws and quantitative dependences of decrease in length of a basalt bonfibre are revealed at its joint mixture-grinding with Portland cement and super softeners, at manufacturing of the composite knitting. Positive influence of various softeners on a fiber keeping is established at this process.

KEYWORDS: fiber distribution on length, basaltic fiber, fiber re-enforcement.

Растущая потребность в высокопрочных бетонах обусловлена двумя факторами: во-первых, увеличением нагрузок на несущие и особенно пролетные конструкции высотных зданий, в которых тяжелый бетон классов В30-В50 уже не удовлетворяет конструктивным требованиям. К примеру, при возведении каркасов башен комплекса «Федерация», Москва-Сити, высотой 280 и 340 м применялся бетон классов В80-90 общим объемом 86 тыс. м^3. Второй фактор – рост цен на все сырьевые материалы железобетона – выдвигает новый принцип бетонного строительства: «Экономить не цемент в бетоне, а бетон в конструкции». А это возможно только за счет уменьшения поперечных сечений несущих элементов, благодаря существенному росту прочности в них.

Однако применение высокопрочных бетонов влечет за собой ряд трудностей и рисков. Так, например, мелкозернистый бетон имеет недостаточную прочность на растяжение при изгибе, ее рост «отстает» от роста прочности на сжатие. К тому же высокопрочные бетоны требуют повышенного расхода цемента, что влечет за собой рост усадочных деформаций и внутренних напряжений, накопление микродефектов, увеличивающих опасность хрупкого разрушения конструкций.

В связи с этим привлекает внимание базальтовое волокно, практически еще не применяемое в бетонах. По прочности оно превосходит сталь и обладает за счет малого диаметра волокон (10 мкм) гораздо большей удельной поверхностью сцепления с цементным камнем, чем стальное, имея с ним химическое сродство. При этом относительное удлинение при разрыве базальтовой фибры в два раза ниже, чем стальной, что позволяет ей более эффективно препятствовать образованию микротрещин в бетоне при нагружении.

Известной технологической проблемой всех фибробетонов является трудность равномерного распределения волокон в объеме цементного теста и бетона [1]. Стальная фибра образует так называемые «ежи», другие волокна агрегаты или комки, состоящие из хаотически переплетенных волокон и частиц цемента.

Таблица 1

Изменение длины волокон в зависимости от среды помола

Наименование	Кол-во БВ в 0,1 гр. гот. смеси, шт.	Кол-во БВ в % от общего количества				
		l = 7-9 мм	l = 5-7 мм	l = 3-5 мм	l = 1-3 мм	l = 1-0,5 мм
П (кварц. песок)	322	4	12	17	24	43
П+С-3 (1 %)	587	12	19	26	22	21
Ц (цемент)	623	19	27	31	16	7
Ц+С-3 (1 %)	712	21	28	26	17	8

Таблица 2

Содержание волокна в зависимости от среды помола

Наименование	Число волокон (шт.) и массового содержания (гр$^{-4}$) в 0,1 гр. гот. смеси						Потери (в масс. %) волокна при помоле
	l = 7-9 мм	l = 5-7 мм	l = 3-5 мм	l = 1-3 мм	l = 1-0,5 мм	Итого	
П	13 2,15	39 4,85	54 1,7	77 1,21	139 1,08	322 12,0	60
П+С-3 (1 %)	70 4,40	112 5,28	153 4,80	129 2,03	123 0,97	587 17,5	42
Ц	118 7,42	168 7,92	193 6,05	100 1,57	44 0,35	623 23,31	22
Ц+С-3 (1 %)	150 9,43	199 9,38	185 5,90	121 1,90	57 0,45	712 27,06	9

Примечание: Исходное число волокон длиной 9 мм в 0,1 гр. смеси составляет 450 шт. (30*10^{-4} гр). К потерям относится волокно, измельченное до длины менее 0,5 мм

Нами были опробованы различные способы введения базальтовой фибры в цементное тесто. Лучшим оказался способ предварительного изготовления сухой смеси цемента с волокном путем кратковременного (50-60 с) смешения с домолом в мельнице: пружинной или шаровой [2].

Использовалось базальтовое моноволокно диаметром 10 мкм из рубленного на отрезки базальтового ровинга (комплексной нити из непрерывного базальтового волокна) производства ООО «Каменный век» (г. Дубна). Средняя длина составляла 9 мм.

Равномерность распределения базальтового волокна зависит не только от способа смешения с другими компонентами сухой смеси, но и от их абразивности (табл. 1).

После смешения-измельчения в течение 40-70 с в пружинной мельнице из полученной смеси производилась аналитическая выборка 10 навесок по 0,1 г, в соответствии с [3]. Для каждой навески производился прямой подсчет количества волокон.

Как видно из табл. 1, наибольшая сохраняемость волокна обеспечивается при совместном помоле с цементом в присутствии суперпластификатора С-3: при этом остается большая доля волокон с интервалом длины 3-9 мм, а потери волокна (9 %) – наименьшие (табл. 2).

При смешении-помоле базальтового волокна совместно с кварцевым песком потери волокна по отношению к массе изначально введенного составляют 60 %. Это объясняется большей твердостью зерен песка (7-по шкале Маоса) и относительно большим размером зерен в сравнении с базальтовым волокном (6-по шкале Маоса). Добавление суперпластификатора несколько улучшает сохраняемость, однако потери превышают 40 %, что значительно снижает эффект упрочнения при растяжении бетона.

Обобщенные результаты оценки изменения длины базальтового волокна при смешении-помоле с разными компонентами представлены на гистограммах рис. 1.

Здесь следует отметить, что согласно [4], дисперсное армирование бетона эффективно при отношении длины волокна к его диаметру $l/d > 50$. Волокна длиной менее 0,5 мм имеют отношение длины к диаметру менее указанного $l/d < 50$, поэтому эти

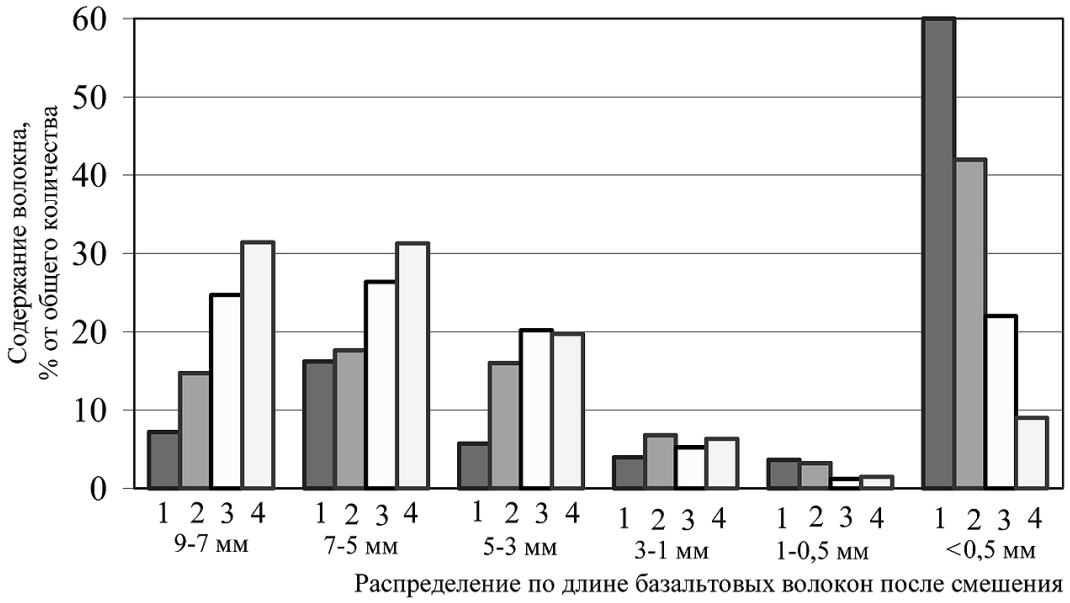


Рис. 1. Распределение по длинам базальтового волокна после 50 с смешения-помола в пружинной мельнице с разными сухими компонентами: 1 – кварцевый песок; 2 – П+С-3 (1 %); 3 – цемент; 4 – Ц+С-3 (1 %)

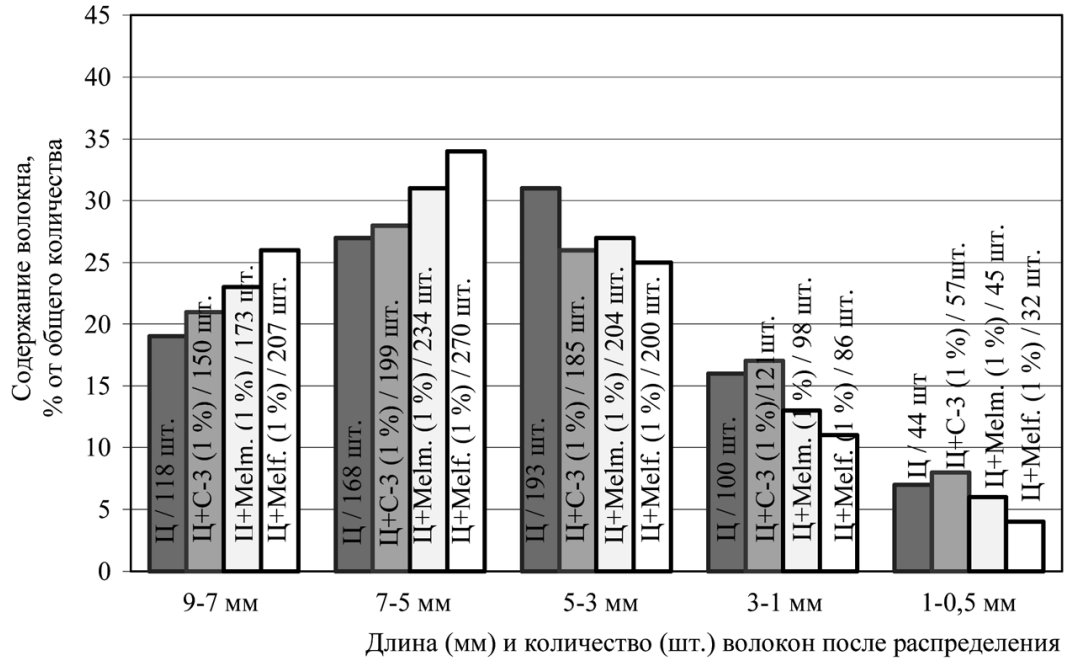


Рис. 2. Распределение длины базальтовых волокон при смешении-помоле в присутствии различных суперпластификаторов

волокна отнесены нами к потерям для дисперсного армирования.

Большая сохраняемость по длине базальтового волокна (потери при смешении не более 9 % по массе от изначально вводимого количества) обеспечивается при добавлении в цемент при смешении 1 % по массе суперпластификатора. 75 % изначально вводимого базальтового волокна при смешении остается в интервале от 9 до 3 мм, что на 23 % больше, чем при распределении с чистым цементом.

Суперпластификатор при смешении-помоле играет роль смазки, покрывающей часть поверхности как частиц цемента, так и базальтового волокна. Происходящие при смешении-помоле явления подобны тем, что наблюдаются в технологии получения вяжущих низкой водопотребности. Вводимый при помоле суперпластификатор позволит снизить водопотребность дисперсноармированной цементной смеси и значительно повысить прочность конечного композиционного вяжущего.

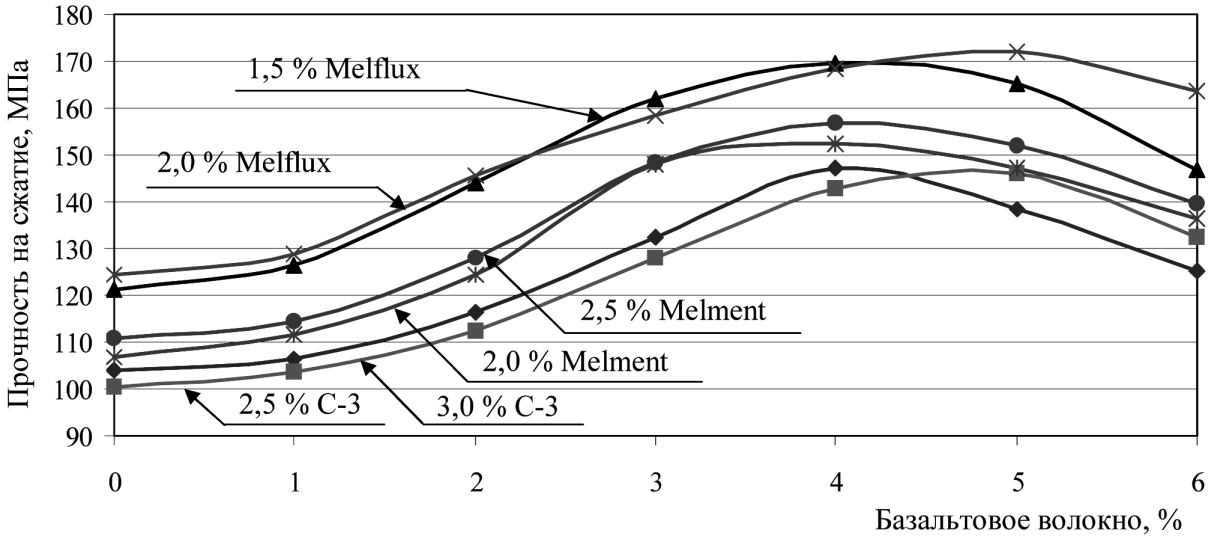


Рис. 3. Прочность при сжатии ЦК (28 сут.), армированного базальтовым волокном, в присутствии различных суперпластификаторов

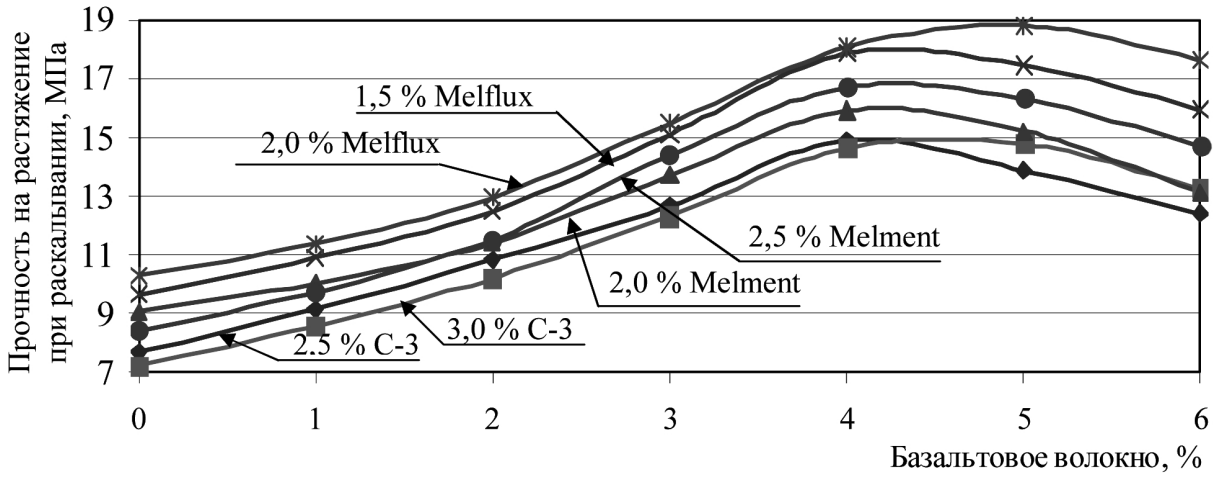


Рис. 4. Прочность на растяжение при раскалывании ЦК (28 сут.), армированного базальтовым волокном, в присутствии различных суперпластификаторов

Оценка влияния добавления различных суперпластификаторов на изменение длины волокон и их количество при распределении с цементом представлены на рис. 2.

При совместном помоле базальтового волокна с цементом и суперпластификаторами (как показано на рис. 2) наилучший результат показал состав с добавлением 1 % Melflux 2651F. Время распределения по отношению к бездобавочной среде сократилось на 30 %. Сохраняемость волокна составила 96 %. Содержание волокна при распределении с Melflux 2651F в интервале длин от 9 до 3 мм составляет 75 %, что благоприятно сказывается на прочности как при сжатии цементного камня (рис. 3), так и на растяжении при раскалывании (рис. 4) гораздо в большей степени, чем при добавлении других суперпластификаторов. Исследование зависимостей прочностных показателей от содержания в вяжущем базальтового волокна и различных суперпластификаторов выявило их наилучшие соотношения, при которых каждой дозировке волокна соответствует определенное количество суперпластификатора.

Лучшие прочностные показатели проявил состав с 2 % суперпластификатора Melflux и 5 % БВ. Упрочнение волокном «пластифицированного» цементного камня на сжатие составило 65 %. Упрочнение при раскалывании составляет 220 %. При этом упрочнение при «чистом» растяжении (раскалывании ЦК) почти в 4 раза превышает упрочнение при сжатии.

При добавлении 1,5 % Melflux и четырех 4 % базальтового волокна результаты упрочнения ниже

максимальных на 3 % на сжатие и 5 % на растяжение при раскалывании, соответственно.

Видно, что и другие пластификаторы оказывают благоприятное воздействие на увеличение прочности цементного камня, содержащего базальтовое волокно. При увеличении содержания базальтового волокна увеличивается и доля пластификаторов, позволяющая получить максимальную прочность, что выражается в экстремальных зависимостях графиков.

Таким образом, установлен оптимальный способ введения базальтового волокна в модифицированное цементное вяжущее путем кратковременного (50-60 с) смешения всех компонентов (цемента, суперпластификатора и волокна) в мельнице, что обеспечивает не только равномерное распределение волокна в композиционном вяжущем, но и его механоактивацию. Предлагаемый способ позволяет увеличить прочность цементного вяжущего по сравнению с исходным при сжатии на 65 %, а при растяжении – в 2,2 раза путем комплексной его модификации суперпластификатором Melflux 2651F и тонким базальтовым волокном.

Литература

1. Волков И.В. Проблемы применения фибробетона в отечественном строительстве // Строительные материалы, 2004, № 6. – С. 12-13.
2. Боровских И.В., Хозин В.Г. Особенности введения базальтового волокна в цементную матрицу // Материалы международного конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008», том 1. – Воронеж, 2008. – С. 60-64.
3. ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений».
4. Василик П.Г., Голубев И.В. Применение волокон в сухих строительных смесях // Строительные материалы, 2002, № 2. – С. 26-27.

М.Г. Габидуллин – доктор технических наук, профессор
А.Р. Мавлюбердинов – кандидат технических наук, старший преподаватель
Тел.: 89276758584, e-mail: mazatr73@rambler.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ПОВЫШЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ПОРИСТОГО ЧЕРЕПКА НА ОСНОВЕ СРЕДНЕПЛАСТИЧНОЙ САРАЙ-ЧЕКУРЧИНСКОЙ ГЛИНЫ С НАТРИЙ-СОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКОЙ

АННОТАЦИЯ

Снижение средней плотности и теплопроводности керамических стеновых изделий можно достичь путем поризации черепка и увеличения пустотности изделий. Однако, снижая среднюю плотность и теплопроводность изделий путем введения выгорающих добавок, снижаются и их прочностные характеристики. Поэтому, при введении в шихту выгорающих добавок следует принимать меры, способствующие повышению прочности черепка. В статье рассматриваются механизмы повышения прочности керамического черепка путем механической активации глинистого сырья или введения натрий-содержащей добавки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: керамические изделия, натрий-содержащая добавка, стеклофаза.

M.G. Gabidullin – doctor of technical sciences, professor
A.R. Mavlyuberdinov – candidate of technical sciences, senior lecturer
Tel.: 89276758584, e-mail: mazatr73@rambler.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

STUDYING OF THE MECHANISM OF INCREASE OF DURABILITY OF THE POROUS CROCK ON THE BASIS OF AVERAGE PLASTIC THE SARAY-CHEKURCHINSKY OF CLAY ABOUT SODIUM-CONTAINING THE ADDITIVE

ABSTRACT

Decrease in average density and heat conductivity ceramic wall products can be reached a way porous a crock and increase in hollowness of products. However, reducing average density and heat conductivity of products by introduction of burning out additives decrease also them durability characteristics. Therefore, at introduction in mix burning out additives it is necessary to take the measures promoting increase of durability of a crock. In article mechanisms of increase of durability of a ceramic crock by mechanical activation of clay raw materials or introduction additive sodium-containing are considered.

KEYWORDS: pottery, sodium-containing the additive, glass a phase.

Анализ развития мирового производства стеновой керамики и современные требования ресурсо- и энергосбережения указывают на необходимость перевода отечественного кирпичного производства на преимущественный выпуск стеновых материалов со средней плотностью 600-1000 кг/м^3 и теплопроводностью до 0,14 Вт/(м*°С). Снижения средней плотности и теплопроводности изделий можно достичь путем поризации черепка и увеличения пустотности изделий. К сожалению, снижая среднюю плотность и теплопроводность изделий путем введения выгорающих добавок, мы снижаем и их прочностные характеристики. Поэтому, при введении в шихту выгорающих добавок следует принимать меры, способствующие повышению прочности черепка. Этого можно достичь, например, путем механической активации глинистого сырья [1] или введения натрий-содержащей добавки подмыльного щелока (ПЩ). В наших работах [2-4] было экспериментально доказано увеличение прочности черепка стеновой керамики при введении флюсующей добавки в виде подмыльного щелока (далее ПЩ).

Целью исследований является изучение механизма влияния добавки ПЩ на прочность черепка кирпича, изготовленного на основе глины Сарай-Чекурчинского месторождения (Республика Татарстан). Для реализации цели исследований из обожженных контрольных образцов-кубов, полученных из шихт с различным содержанием добавки ПЩ, были отобраны контрольные пробы образцов для рентгенофазового и дифференциально-термического анализа и электронной микроскопии. Результаты анализа кривых ДТА и РФА позволяют объяснить механизм повышения прочности пористого черепка при

введении добавок подмыльного щелока следующим образом.

Для чистой глины первый эндоэффект, связанный с удалением свободной воды, регистрируется при 180 °С, а уже с введением ПЩ в состав шихты в количестве 1,5 % от массы сырья, пик этого эндоэффекта смещается на 10 % и равен 170 °С. Последующее увеличение количества до 3 % способствует смещению первого эндоэффекта в область более низких температур до 160 °С. Аналогичная картина наблюдается и для 3-го эндоэффекта, характерного для удаления конституционной воды. Если для чистой глины этот эндоэффект имеет пик при 515 °С, то с увеличением ПЩ от 1,5 до 3 % этот эндоэффект смещается до 510 и 485 °С. Особенно важное значение, с точки зрения объяснения причин изменения прочности черепка, играют эндоэффекты, наблюдаемые в области высоких температур. Так, в чистой глине (рис. 1, кривая 1) наблюдается эндоэффект при 830 °С, связанный с окончательным удалением группы ОН-, а также полным разрушением решетки разбухающих минералов и гидрослюд. При введении ПЩ в состав шихты в количестве 1,5 % (рис. 1, кривая 2) и 3 % (рис. 1, кривая 3), этот эндоэффект смещается в область более низких температур, соответственно 825 и 810 °С. Смещением указанных эндоэффектов в область более низких температур и объясняется снижение температуры образования стеклофазы при введении подмыльного щелока, который играет роль плавня.

Поэтому, увеличение прочности черепка при введении ПЩ от 0 до 1,5 % в основном связано с увеличением количества стеклофазы. При нулевом составе (ПЩ = 0 %) ее недостаточно, а при 1,5 % образующееся количество стеклофазы формирует наиболее плотную упаковку частиц кварца и кристаллических новообразований, а вокруг них формируется оптимальное количество жидкого расплава или обжиговой связки. При этом отношение «обжиговая связка – твердая фаза» (ОС/ТФ) – оптимально. Дальнейшее увеличение вводимого ПЩ способствует увеличению жидкой фазы, которая более сильно интенсифицирует процесс оплавления нерастворившихся составляющих шихты, способствует более интенсивному оплавлению краев зерен кварца, увеличению аморфной фазы и снижению кристаллической фазы расплава, что способствует снижению прочности черепка. При этом отношение ОС/ТФ – не оптимально. Данные ДТА подтверждаются и результатами рентгенофазового анализа.

Сопоставляя дифрактограммы для чистой глины и глины с добавкой ПЩ (рис. 2), можно отметить, что введение ПЩ в состав шихты способствует началу образования новых кристаллических фаз первичного муллита, для которого характерны рефлексы 3,482; 3,386; 2,694; 2,193; 2,129; 1,690; 1,543. Следует отметить, что некоторые рефлексы затушевываются другими рефлексами, накладываемыми от эффектов других новообразований. Так, рефлексы 3,482 и 3,386 муллита накладываются на рефлексы альбита 3,482 и кварца 3,342. Наиболее четко наличие муллита проявляется при 2,129. Затушевывание муллита происходит также рефлексами, характерными для гематита при 1,689 и для кварца при 1,543.

Итак, анализируя данные РГ и ДТА для образцов с добавкой ПЩ, можно сделать вывод о том, что при увеличении ПЩ происходит повышение концентрации флюсующего натрийсодержащего компонента добавки, который способствует снижению температуры образования стеклофазы в области более низких температур, а, следовательно, увеличению количества расплава до оптимальных значений при обжиге черепка при температуре 950 °С. Это является главной причиной увеличения прочности материала, из-за увеличения площади контакта нерасплавившихся частиц кварца, полевых шпатов, аморфных составляющих за счет образования большого объема кремне-натриевой стеклофазы, способствующей при оптимальном ее количестве интенсивной цементации черепка. Кроме того, углы и грани зерен кристаллического кремнезема оплавляются (разъедаются), но в основной своей массе в реакциях образования жидкой фазы не участвуют, оставаясь вместе с кристаллическими новообразованиями элементами скелетного каркаса обожженного материала.

С целью уточнения данных ДТА и РФА дополнительно были проведены электронно-микроскопические исследования.

Для подтверждения факта увеличения количества стеклофазы при увеличении в шихте количества подмыльного щелока были подготовлены контрольные пробы с различным его содержанием. На рисунке 3 (А) видно, что в нулевом составе (ПЩ = 0 %) стеклофазы при обжиге черепка образуется недостаточно и зерно полевого шпата размером 100 х 180 нм, которое четко просматривается в центре рисунка (из спектрограмм виден химический состав полевого шпата: Si, A1, K, Ca, Fe), почти не связано с основной массой микроконгломерата, поэтому и прочность черепка незначительна.

На рисунке 3 (Б), где в состав шихты на основе Сарай-Чекурчинской глины введено некоторое количество подмыльного щелока, зерно овальной формы (грубая составляющая глины с химическим составом Si, A1, K, Ca, Fe, Ti) диаметром около 200 мк в зонах контакта прочно связан с микроконгломератом с помощью стекломассы (светлая зона). Отсюда можно предположить, что во втором случае прочность черепка будет выше, чем в первом случае, что и было подтверждено данными РФА и ДТА.

Для подтверждения факта увеличения прочности черепка и предположения о том, что оно происходит за счет увеличения количества стеклофазы, ее количество было определено расчетным способом, разработанным в Самарской государственной

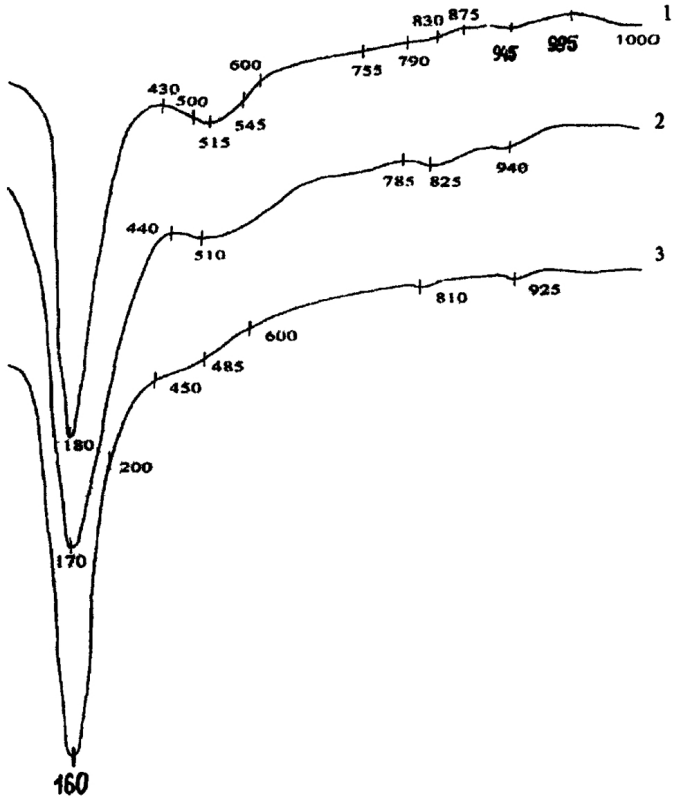


Рис. 1. Кривые ДТА образцов следующих составов:
1 – глина 100%; 2 – глина 98,5 % + ПЩ 1,5 %; 3 – глина 97 % + ПЩ 3 %

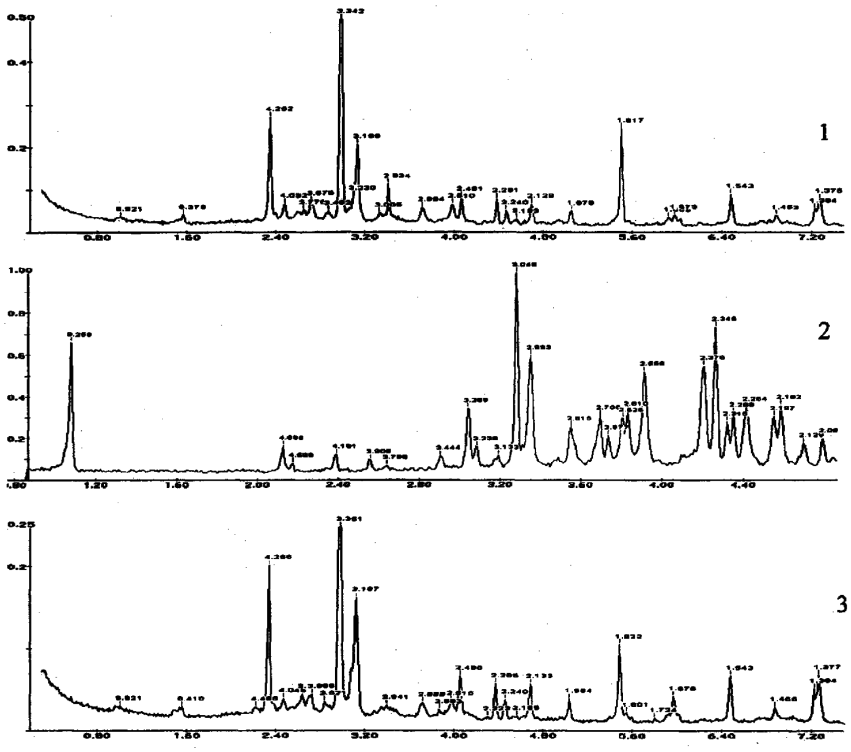


Рис. 2. Дифрактограммы обожженных образцов:
1 – глина + ПЩ; 2 – ПЩ в исходном состоянии; 3 – глина без добавок

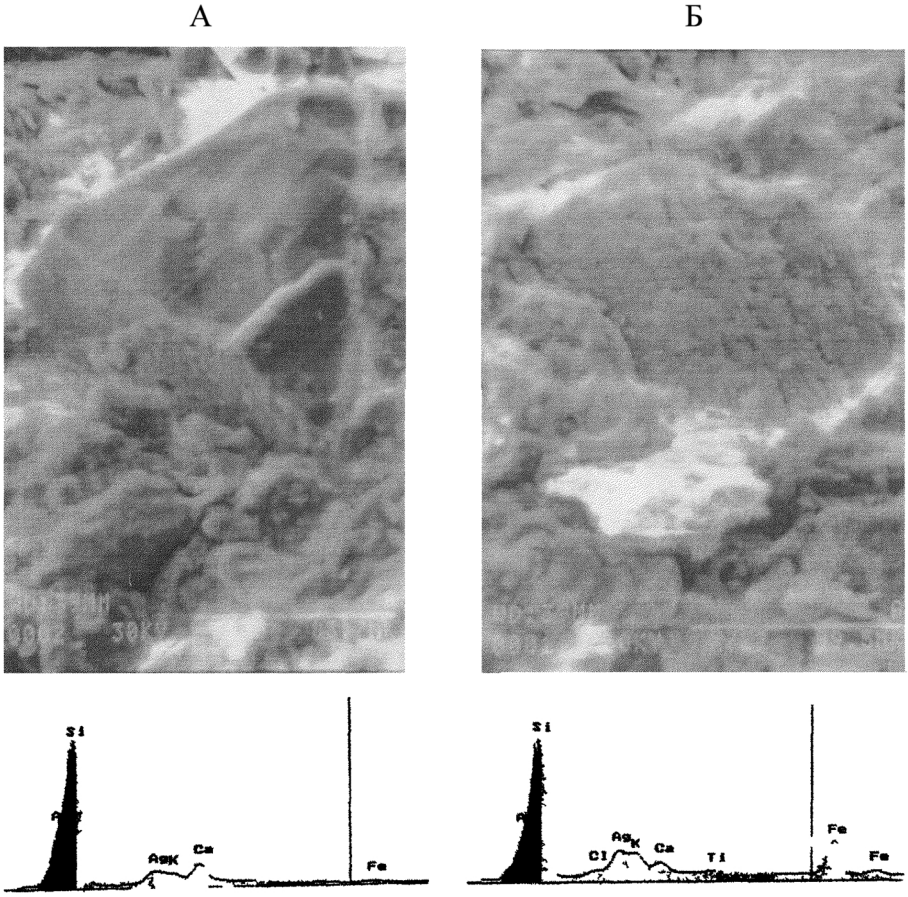


Рис. 3. Электронно-микроскопические снимки керамического черепка:
А – без добавок; Б – с добавкой ПЩ

архитектурно-строительной академии Чумаченко Н.Г. и Чудиным А.М. Так, с увеличением количества добавки ПЩ в количестве до 3 % наблюдается увеличение количества стеклофазы с 19,83 до 25,08 %.

Таким образом установлено, что увеличение прочности черепка при введении ПЩ от 0 до 1,5 % в основном связано с увеличением количества стеклофазы. При нулевом составе (ПЩ = 0 %) ее недостаточно, а при 1,5 % оптимальное количество стеклофазы формирует наиболее плотную упаковку частиц кварца и кристаллических новообразований, а вокруг них формируется оптимальное количество жидкого расплава или обжиговой связки. При этом отношение «обжиговая связка – твердая фаза» (ОС/ТФ) – оптимально. Дальнейшее увеличение вводимого ПЩ, способствует увеличению жидкой фазы, которая более сильно интенсифицирует процесс оплавления нерастворившихся составляющих шихты, способствует более интенсивному оплавлению краев зерен кварца, увеличению аморфной фазы и снижению кристаллической фазы расплава, что способствует снижению прочности черепка.

Литература

1. Ашмарин Г.Д. Ключ к успеху в производстве керамического кирпича – рациональная переработка сырьевых материалов // Строительные материалы. Приложение Technology, 2007, № 9. – С. 15-16.
2. Мавлюбердинов А.Р. Пустотело-пористая стеновая керамика на основе местного сырья // Автореферат канд. дисс. на соиск. степени канд. техн. наук. – Казань, 2001. – 19 с.
3. Мавлюбердинов А.Р., Габидуллин М.Г., Рахимов Р.З. Исследование влияния подмыльного щелока и отходов гальваники на прочность и формирование новообразований в стеновой керамики // Материалы седьмых академических чтений РААСН «Современные проблемы строительного материаловедения», часть 1. – Белгород, 2001. – С. 323-330.
4. Королев Э.А., Морозов В.П., Бариева Э.Р., Рахимов Р.З., Габидуллин М.Г., Мавлюбердинов А.Р. Возможность использования отходов химического производства в изготовлении керамического кирпича // Актуальные экологические проблемы Республики Татарстан. – Казань, 2000. – С. 136-137.

УДК 691

В.С. Изотов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии, организации и механизации строительства

Тел.: (843) 510-47-27, e-mail: izotovvs@mi.ru

Р.А. Ибрагимов – аспирант

Тел.: 89274018367, e-mail: rusmag007@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ГИПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

АННОТАЦИЯ

В данной работе проведены исследования влияния суперпластификатора С-3 и гиперпластификаторов «Мобет марки 2», Sika® ViskoCrete®-20 HE и Sika® ViskoCrete®-5 Neu на свойства цементного теста, цементно-песчаного раствора и тяжелого бетона.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гиперпластификатор, бетонная смесь, добавки, тяжелый бетон.

V.S. Izotov – doctor of technical sciences, professor, head of the Pulpit of the Technology, Organization and Mechanization in Construction department

Tel.: (843) 510-47-27, e-mail: izotovvs@mi.ru

R.A. Ibragimov – post-graduate student

Tel.: 89274018367, e-mail: rusmag007@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

RESEARCH OF INFLUENCE OF ADDITIVES OF HYPERSOFTENERS ON PHYSICOMECHANICAL PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE

ABSTRACT

In this work researches of supersoftener C-3 and hypersofteners «Mobet marks 2», Sika ® ViskoCrete ®-20 HE and Sika ® ViskoCrete ®-5 Neu aremadeaccerdingto properties the cement test, a cement-sandy solution and heavy concrete.

KEYWORDS: hypersoftener, concrete mix, additives, heavy concrete.

Основные пути повышения качества бетона и долговечности железобетонных конструкций заключаются в использовании высокотехнологичного оборудования, современных технологий производства, применении качественных материалов и добавок индивидуального и полифункционального действия. Использование добавок является весьма эффективным и экономичным способом улучшения технологических и физико-механических свойств бетона [1].

Из добавок к бетонам, нашедших наиболее широкое применение в производстве бетона и железобетона, на первом месте стоят пластифицирующие добавки.

В последнее время стали применяться у нас, и в особенности за рубежом, высокоэффективные пластифицирующие добавки на основе эфиров поликарбоксилата, которые получили название гиперпластификаторов. Они отличаются от известных суперпластификаторов, например С-3, более высоким водоредуцирующим эффектом, приводящим к существенному повышению плотности и прочности бетона [2].

Нами проведены испытания добавки «Мобет марки 2» (далее добавка Мобет-2) и произведена оценка ее эффективности в сравнении с добавками отечественного суперпластификатора С-3 и швейцарских гиперпластификаторов Sika® ViskoCrete®-20 HE и Sika® ViskoCrete®-5 Neu (далее Sika 20HE и Sika 5Neu). Изучалось влияние добавок на нормальную густоту цементного теста, водопотребность растворной и бетонной смесей и прочностные показатели раствора и тяжелого бетона.

Добавка Мобет-2 произведена на ООО «Бийскхимстройматериалы» по ТУ 2600-003-54575429-2008. Согласно ГОСТ 24211-2003 [3] Мобет-2 относится к пластифицирующе-водоредуцирующему виду – суперпластификаторам. Данная добавка представляет собой жидкость темно-коричневого цвета. Плотность – 1.058 кг/дм^3.

Добавка С-3 производства Владимирского завода ЖБК представляет собой порошок светло-коричневого цвета со специфически выраженным запахом, насыпной вес колеблется от 650 до 750 кг/м^3 в

Таблица 1

№ п/п	Содержание добавок, %				Нормальная густота цементного теста
	Мобет-2	С-3	Sika 20HE	Sika 5Neu	
1	2	3	4	5	6
1	-	-	-	-	0.255* / 100 %
2	0.6	-	-	-	0.2175 / 85 %
3	0.8	-	-	-	0.21 / 82 %
4	1	-	-	-	0.2 / 78 %
5	1.2	-	-	-	0.1925 / 75 %
6	1.4	-	-	-	0.1875 / 73 %
7	-	0.8	-	-	0.205 / 80 %
8	-	-	0.6	-	0.205 / 80 %
9	-	-	0.8	-	0.1975 / 77 %
10	-	-	1	-	0.19 / 74.5 %
11	-	-	-	0.8	0.1975 / 77.4 %
12	-	-	-	1	0.1925 / 75 %
13	-	-	-	1.2	0.19 / 74.5%

Примечание*: под чертой приведено значение нормальной густоты в процентах от контрольного.

Таблица 2

№ П	Содержание добавок, %				Ср.плотность раствора, кг/м³	В/Ц	Прочность цементно-песчаного раствора (МПа) в возрасте, сут:			
							7		28	
	Мобет-2	С-3	Sika 20HE	Sika 5Neu			при изгибе	при сжатии	при изгибе	при сжатии
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-	-	2330* / 100 %	0.42* / 100 %	4.05* / 100 %	23.56* / 100 %	4.96* / 100 %	29.54* / 100 %
2	-	-	0.8	-	2340 / 100.4 %	0.332 / 79.9 %	4.65 / 115 %	29.04 / 123 %	5.16 / 104 %	39.42 / 133 %
3	-	-	1	-	2370 / 101.7 %	0.318 / 75.7 %	5.74 / 142 %	36.3 / 154 %	6.21 / 125 %	47.2 / 160 %
4	1	-	-	-	2370 / 101.7 %	0.334 / 81 %	5.82 / 144 %	39.42 / 167.3 %	5.84 / 118 %	43.2 / 146 %
5	1.2	-	-	-	2370 / 101.7 %	0.32 / 74.3 %	6.54 / 161 %	51.8 / 220 %	7.05 / 142 %	54.2 / 183.5 %
6	1.4	-	-	-	2370 / 101.7 %	0.312 / 76.2 %	6.11 / 151 %	46.6 / 198 %	6.39 / 129 %	49.7 / 168 %
7	-	0.8	-	-	2370 / 101.7 %	0.35 / 83 %	5.62 / 139 %	34.7 / 147 %	5.6 / 113 %	38.3 / 130 %
8	-	-	-	1	2370 / 101.7 %	0.316 / 75.2 %	5.81 / 143 %	37.2 / 158 %	6.32 / 127 %	48.1 / 163 %
9	-	-	-	1.2	2370 / 101.7 %	0.313 / 74.5 %	4.84 / 119 %	29.46 / 125 %	5.25 / 106 %	39.9 / 135 %

Примечание*: над чертой – среднее значение показателя; под чертой – относительное значение показателя в % от контрольного.

зависимости от полидисперсности. Производится по ТУ 5870-002-58042865-05.

Химический состав – полинафталинметиленсульфонат или метиленбис (нафталинсульфонат) натрия.

Добавка Sika 20HE представляет собой желтоватую жидкость, плотность 1.085 кг/л, значение pH 4.7 ± 1.0. Отвечает требованиям к водоредуцирующим добавкам и гиперпластификаторам EN 934-2, а также требованиям ТУ 2493-002-13613997-2007. Основа – водный раствор модифицированного поликарбоксилата.

Добавка Sika 5Neu представляет собой мутноватую бесцветную жидкость, плотность 1.084 кг/л, значение pH 4.5 ± 1.0. Отвечает требованиям к водоредуцирующим добавкам и гиперпластификаторам EN 934-2, а также требованиям ТУ 2493-002-13613997-2007. Основа – водный раствор модифицированного поликарбоксилата.

Изучено влияние данных добавок на водопотребность цементного теста нормальной густоты по методике ГОСТ 310.3-76 [4]. Использовался портландцемент М400 ПЦД20 Вольского завода. Результаты исследований влияния добавок на нормальную густоту цементного теста приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что все исследуемые добавки снижают нормальную густоту цементного теста на 15-27 %. При этом наибольшее снижение нормальной густоты цементного теста (наименьшая водопотребность цементного теста) достигается при содержании добавки Мобет-2 в количестве 1.4 % от массы цемента. Добавка С-3 снижает водопотребность цементного теста на 20 %, а добавки Sika – на 20-25,5 %.

Для определения влияния указанных выше добавок на водопотребность растворной смеси и физико-механические свойства растворов выполнены испытания цементно-песчаного раствора по ГОСТ 310.4-81 [5].

В эксперименте применялись: портландцемент М400 ПЦД20 Вольского завода, песок обогащенный с модулем крупности $М_{кр}$=2. Приготавливались растворные смеси равной консистенции состава 1:3 при расплыве конуса 110 мм. Водоцементное отношение контрольного состава без добавок составило 0.42.

Добавки вводились в растворную смесь с водой затворения. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Из данных, приведенных в табл. 2, видно, что при введении исследуемых добавок снижается водоцементное отношение растворной смеси на 20-25.7 %. При этом наибольшее снижение водоцементного отношения достигается при введении добавки Мобет-2 в количестве 1.4 % от массы цемента (на 25.7 %), в то время как при введении добавки С-3 водопотребность снижается только на 17 %.

Снижение водопотребности растворной смеси приводит и к повышению прочности раствора в возрасте 7 суток. При этом прочность при изгибе раствора нормального твердения в возрасте 7 суток с добавками значительно выше, чем без них. При этом прочность при изгибе с добавкой Мобет-2 увеличивается на 44-51 %, с добавкой С-3 – на 39 %, а с добавками Sika 20HE и Sika 5Neu – на 15-42 % и 19-43 % соответственно.

Прочность при сжатии с добавкой Мобет-2 увеличивается на 67-98 %, с добавкой С-3 – на 47 %, а с добавками Sika 20HE и Sika 5Neu – на 23-54 % и 25-58 % соответственно.

Прочность при изгибе и сжатии раствора нормального твердения в возрасте 28 суток, так же, как и в возрасте 7 суток, значительно выше с добавками, чем без них. При этом прочность при изгибе с добавкой Мобет-2 увеличивается на 18-29 %, с добавкой С-3 – на 13 %, а с добавками Sika 20HE и Sika 5Neu – на 4-25 % и 6-27 % соответственно.

Прочность при сжатии раствора с добавкой Мобет-2 увеличивается на 46-68 %, с добавкой С-3 – на 30 %, а с добавками Sika 20HE и Sika 5Neu – на 33-60 % и 35-63 % соответственно.

Наилучшие показатели как по водоредуцирующему эффекту, так и по повышению прочности раствора нормального твердения достигаются при содержании добавки Мобет-2 в количестве 1.2 % от массы цемента.

Влияние добавок Мобет-2, С-3, Sika 20HE и Sika 5Neu на физико-механические свойства тяжелого бетона нормального твердения в возрасте 1, 3, 7 и 28 суток приведено в табл. 3. Для эксперимента определен тяжелый бетон, применяемый для изготовления железобетонных свай С100.30-6 по ГОСТ 19804-91 [6].

Добавки вводили в бетонную смесь равной подвижности (класса П2) по ГОСТ 7473-94 [7] с расходом цемента М400 ПЦД20 Вольского завода – 450 кг/м^3.

Содержание добавок в бетонных смесях постоянной подвижности (8-9см) составило: «Мобет-2» – 1.2 %, С-3 – 0.8 %, Sika 20HE и Sika 5Neu – 1 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество.

Водоцементное отношение состава без добавки составило 0.46, с добавкой Мобет-2 – 0.33, с добавкой С-3 – 0.39, а с добавками Sika 20HE и Sika 5Neu – 0.34.

В качестве крупного заполнителя использован щебень из гравия Камского месторождения фракции 5-20 мм.

В качестве мелкого заполнителя и использован обогащенный песок Камского месторождения с модулем крупности $М_{кр}$=2.7.

В лабораторных условиях на данных материалах изготовлены контрольные образцы – кубы с размерами 10x10x10 см. Для испытания принят производственный состав бетонной смеси с осадкой конуса 8-9 см (Ц=450 кг/м^3, П=595 кг/м^3, Щ=1140 кг/м^3). Вода добавлялась в бетонную смесь до достижения равной подвижности.

Таблица 3

№ П	Содержание добавок, %				Ср. плотность бет. смеси, кг/м3	Результаты испытания образцов бетона в возрасте, сут						
						1		3		7		28
	Мобет-2	С-3	Sika 20HE	Sika 5Neu		Прочность при сжатии, МПа	Отн. прочность от R_{28}, %	Прочность при сжатии, МПа	Отн. прочность от R_{28}, %	Прочность при сжатии, МПа	Отн. прочность от R_{28}, %	Прочность при сжатии, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	-	-	-	-	2370	7.52* / 100 %	20	18.05* / 100 %	49	29.38* / 100 %	80	36.8* / 100 %
2	1.2	-	-	-	2475	12.41 / 165 %	22.6	28.16 / 156 %	51	44.36 / 151 %	81	54.8 / 149 %
3	-	0.8	-	-	2460	9.78 / 130 %	21	23.15 / 128 %	50	37.4 / 127 %	80.6	46.4 / 126 %
4	-	-	1	-	2475	10.9 / 145 %	21.7	25.7 / 142 %	51	41.1 / 140 %	82	50.2 / 136 %
5	-	-	-	1	2475	11.1 / 148 %	21.8	26.0 / 144 %	51	41.7 / 142 %	82	50.9 / 138 %

Примечание*: над чертой приведено среднее значение показателя; под чертой – относительное значение показателя в % от контрольного.

Результаты испытаний, приведенные в табл. 3, позволяют сделать следующие выводы:

1. Все изучаемые добавки повышают прочность бетона во все сроки твердения. Однако наибольший прирост прочности в первые трое суток обеспечивается при введении добавки Мобет-2 (на 56 %). В указанные сроки при введении добавки С-3 прочность бетона повышается на 28 %, а с добавками Sika 20HE и Sika 5Neu – на 42 % и 44 % соответственно.

2. В возрасте 28 суток нормального твердения прочность при сжатии с добавками повышается с 36.8 до 54.8 МПа, т.е. на 49 %. При этом наибольшее повышение прочности достигается при введении добавки Мобет-2 в количестве 1.2 % от массы цемента (на 49 %). При введении добавки С-3 прочность повышается на 26 %, а с добавками Sika 20HE и Sika 5Neu – на 36 % и 38 % соответственно.

Литература

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: АСВ, 2000. – 500 с.
2. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. – М.: Изд-во «Палеотип», 2006. – 243 с.
3. ГОСТ 24211-91 (2003). Добавки для бетонов. Общие технические требования.
4. ГОСТ 310.3-76 (2003). Цементы. Методы определения нормальной густоты и сроков схватывания и равномерности изменения объема.
5. ГОСТ 310.4-81 (2003). Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии.
6. ГОСТ 19804-91 (2003). Сваи железобетонные. Технические условия.
7. ГОСТ 7473-94. Смеси бетонные. Технические условия.

УДК 691.542
З.А. Камалова – кандидат технических наук, профессор
Д.С. Смирнов – кандидат технических наук, доцент
Тел.: (843) 510-47-27
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРОИЗВОДСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

АННОТАЦИЯ

В начале XXI века портландцемент остается наиболее востребованным и стратегически важным продуктом в строительной отрасли. Республика Татарстан – один из самых развитых регионов РФ, объемы строительства в котором непрерывно возрастают. При этом собственное производство цемента в республике отсутствует. По данным территориального органа Федеральной службы статистики по РТ, в 2007 году в республику было завезено 1 млн. 552 тыс. т. цемента на сумму 5 млрд. 637 млн. руб. Вопрос о создании в РТ цементного производства поднимался неоднократно и каждый раз не находил решения ввиду отсутствия соответствующей сырьевой базы для его изготовления.

В работе приводится оценка возможности применения в производстве портландцемента карбонатных пород Менделеевского (месторождение «Камаевская площадь») и Дрожжановского (месторождение «Татарская бездна») районов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: портландцемент, карбонатное сырье, мергель, цементный клинкер, силикатный модуль, глиноземистый модуль, гидравлический модуль, коэффициент насыщения.

Z.A. Kamalova – candidate of technical science, professor
D.S. Smirnov – candidate of technical science, associate professor
Tel.: (843) 510-47-27
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

SOME POSSIBILITIES OF PRODUCTION OF PORTLAND CEMENT IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

ABSTRACT

In the beginning of 21centuries Portland cement the most demanded and strategically important product in building branch. Republic Tatarstan one of the most developed regions RF building volumes in which continuously increase. Thus own manufacture of cement in republic is absent. According to territorial body of Federal Agency of statistics on RT, in 2007 in republic it has been delivered 1mln. 552 thousand t. For the sum of 5 billion 637 mln. rbl. The question on creation in RT cement manufacture rose repeatedly and each time did not find the decision in a kind of absence of a corresponding row – material base for its manufacturing.

In work the estimation of possibility of application in manufacture Portland cement carbonates breads Mendeleevsky (a deposit «Kamaevscai the area») and Drozhanscogo (a deposit «the Tatar chasm») areas is resulted.

KEYWORDS: building materials and making.

Планируемое национальным проектом «Доступное жилье» увеличение объемов строительства жилья в год с 40 млн. кв. м. до 80 млн. кв. м. может быть реализовано при увеличении объемов производства и потребляемых при этом строительных материалов, среди которых одним из основных является цемент.

В связи с отсутствием собственного производства цемента РТ вынуждена весь используемый строительным комплексом республики цемент завозить со стороны. На пороге малой олимпийской стройки власти реанимировали подзабытую идею строительства собственных цементных заводов. По данным территориального органа Федеральной службы статистики по РТ, в 2007 году было завезено 1 млн. 552 тыс. т. цемента на сумму 5 млрд. 637 млн. руб. Этих денег хватило бы на открытие нескольких цементных линий в республике [1, 2].

Согласно решению научно-технического совета при Минстрое РТ в 2010-2011 годах Казань должна будет сдать большую часть из 29 объектов Универсиады, которая, по прогнозам экспертов, потребует до 1 млн. т. цемента [1]. Казань больше других поволжских городов

строит жилья, а цемент до сих пор ввозит из соседних регионов (ОАО «Ульяновскцемент», ОАО «Вольскцемент», ОАО «Мордовцемент», ОАО «Сода» и др.).

Вопрос о создании в РТ собственного цементного производства поднимался неоднократно и каждый раз не находил решения ввиду отсутствия соответствующей сырьевой базы для его изготовления.

Согласно данным ЦНИИгеолнеруд (г. Казань), в республике имеется порядка 120 месторождений карбонатных пород, находящихся в эксплуатации и в резерве, каждое из которых располагает запасами более миллиона тонн, включая месторождение мергелей «Татарская бездна» в Дрожжановском районе РТ [1].

Целью данных исследований стала оценка возможности применения в производстве портландцемента карбонатных пород Менделеевского (месторождение «Камаевская площадь») и Дрожжановского (месторождение «Татарская бездна») районов. Пробы карбонатных пород, отобранных в Менделеевском районе (Камаевская площадь, скважина № 1 и карьер) и Дрожжановском районе (Татарско-Безднинское месторождение, скважина № 10, проба № ТБ-1), были представлены на кафедру строительных материалов КГАСУ Татарским геолого-разведывательным управлением ОАО «Татнефть».

В работе также проведена оценка глинистого сырья РТ на возможность его использования в производстве портландцемента. Из числа средних и мелких месторождений Менделеевского и прилегающих территорий Елабужского района нами были выбраны такие, которые могли бы быть наиболее благоприятными с позиций использования их для организации производства портландцемента (Камаевское, Кармановское, Мунайкинское, Салтыковское). Кроме того, для оценки были выбраны глинистые породы 13 месторождений РТ, разработанные и применяемые для производства черепицы, кирпича (Сарай-Чекурчинское, Тетюшское, Южно-Чистопольское, Нижнее-Суксинское, Ключищенкское, Шеланговское, Красногорское, Сахаровское и Кощаковское месторождения) и керамзита (Тарн-Варское, Апастовское, Березовское и Юколинское месторождения).

Для решения поставленной цели требовалось выполнение следующих задач:

– определение составов и свойств известняков и подбор глинистых пород РТ, пригодных для производства портландцемента;

– определение состава и свойств мергеля и подбор карбонатных пород, пригодных для производства портландцемента;

– расчет состава сырьевой смеси и клинкера;

– расчет силикатного и алюминатного модулей, минералогического состава портландцементного клинкера;

– оценка пригодности сырья исследуемых месторождений для производства портландцемента.

Химический анализ карбонатного и глинистого сырья производился в лаборатории ЦНИИгеолнеруд.

В результате проведенных исследований составов известняков установлено, что проба известняка месторождения «Камаевская площадь» по своему химико-минералогическому составу соответствует требованиям технических условий, которые предъявляются к качеству карбонатных пород, используемых в производстве портландцемента.

При использовании карбонатного сырья, содержащего CaO более 53 %, контролируются только модули алюмосиликатного компонента глины. В том случае, когда в карбонатном компоненте содержание CaO составляет меньше 53 %, контролируются по расчетным модулям как карбонатного, так и алюмосиликатного компонентов.

Пределы, в которых допускается изменение значений силикатного и глиноземистого модулей сырьевых компонентов, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Пределы изменения величин модулей (*n* и *p*) карбонатного и алюмосиликатного сырьевых компонентов

№ № п/п	Характеристики карбонатного компонента по содержанию CaO	Модули	
		Силикатный	Глиноземистый
1	Более 53 %	Нормируется только для алюмосиликатного компонента	
		2,6-3,5	2,0-3,0
2	Менее 53 %	Нормируется для карбонатного (известняка) и алюмосиликатного (глин) компонентов	
		2,3-3,5 2,7-3,0 3,5-4,0	1,6-2,6 1,3-1,6 2,5-3,0

Таблица 2

Нормируемое содержание вредных примесей в сырьевых компонентах

№№ п/п	Наименование оксида	Допустимое содержание в сырьевых компонентах не более, %	
		Карбонатном	Глинистом
1	MgO	4	6
2	SO_3	1,3	5
3	K_2O+Na_2O	1	3,5-5,0
4	P_2O_5	0,4	0,6
5	TiO_2	не ограничивается	2,0
6	ион Cl	0,015	0,015

Помимо этого, для получения портландцементного клинкера рационального химического состава должны выдерживаться ограничения по содержанию вредных примесей в карбонатном и глинистом компонентах. Количество этих примесей не должно превышать пределов, приведенных в таблице 2.

Анализ химического состава сырьевых компонентов показал, что они соответствуют требованиям по содержанию CaO. Содержание вредных примесей также не превышает допустимых значений. Однако силикатный и глиноземистый модули сырьевых компонентов не всегда соответствуют требуемым значениям. Данные показатели обеспечиваются глинистым сырьем следующих месторождений: Камаевское, Салтыковское, Тетюшское, Сарай-Чекурчинское (2 проба), Нижнее-Суксинское и Красногорское. Силикатный модуль карбонатного сырья превышает предельно допустимые значения. Тем не менее, расчет сырьевых смесей и клинкера производился для всех сырьевых компонентов.

С использованием методики расчета двухкомпонентных сырьевых смесей и клинкера были определены составы, а также соотношения между содержанием известняка месторождения «Камаевская площадь» и глинистым сырьем, которые отвечали бы требованиям, предъявляемым к минералогическому составу клинкера, коэффициенту насыщения, гидравлическому, силикатному и глиноземистому модулям. Установлено, что из 17 рассматриваемых месторождений глинистых пород наиболее удовлетворительные результаты показали только 7. В таблице 3 приведены результаты расчетов.

Значения гидравлического, силикатного и глиноземистого модулей для портландцементного клинкера находятся обычно в следующих пределах: m = 1,9-2,4; n = 1,7-3,5 до 4,0 (для сульфатостойких цементов); p = 1-3. Приведенные модули одновременно характеризуют и состав исход-ной сырьевой смеси (если в процессе обжига в нее не вносятся какие-либо минеральные примеси, как, например, зола топлива) и поэтому могут быть использованы при расчете последней [3].

Как видно из результатов, минералогический состав клинкера отобранных смесей в полной мере не удовлетворяет требованиям нормативных документов. Следует отметить повышенное содержание C_3S и низкое содержание C_2S и C_4AF. Скорректировать минералогический состав можно путем введения в сырьевую смесь железо- и алюмосодержащих добавок (например, пиритные огарки и бокситы). Гидравлический, силикатный и глиноземистые модули указанных составов отвечают требуемым значениям.

Мергель Татарско-Безднинского месторождения представляет собой глинисто-карбонатную смесь, по составу соответствующую мергелям-натуралам. Однако, содержащиеся в нем CaO, Al_2O_3 и Fe_2O_3 не позволяют получить клинкер с требуемыми значениями гидравлического, глиноземистого и силикатного модулей и минералогическим составом. Наиболее простым способом обеспечить заданные показатели является введение в состав мергеля бокситов и пиритных огарок или замена части мергеля карбонатной породой с низким содержанием SiO_2 и повышенным Al_2O_3 и Fe_2O_3. При этом необходимо учитывать содержание CaO, оказывающего значительное влияние на коэффициент насыщения.

На основе расчетов установлен оптимальный химический состав известняка, введение которого в сырьевую смесь на основе мергеля обеспечит оптимальные показатели модулей и минералогического состава клинкера: CaO – 43-45 %; SiO_2 – 8-9 %; Al_2O_3 – 3-3,5 %; Fe_2O_3 – 4-4,5 %. При этом модули и минералогический состав соответствовали бы следующим значениям: КН = 0,903, m = 2,13; n = 2,8; p = 1,1; C_2S = 18,5; C_3S = 59,5; C_3A = 4,6; C_4AF = 11,2. При соотношении компонентов в составе сырьевой смеси – мергель : известняк = 65 : 35.

Проведенные исследования показали, что известняки Камаевского месторождения после

Таблица 3

Результаты расчета клинкера на основе известняка месторождения «Камаевская площадь» и глинистого сырья

Глинистое сырье		Содержание известняка месторождения «Камаевская площадь», %	Коэффициент насыщения (КН)	Глиноземистый модуль (p)	Гидравлический модуль (m)	Силикатный модуль (n)	Минералогический состав клинкера			
Месторождение	Содержание, %						C_2S	C_3S	C_3A	C_4AF
Нижнее-Суксинское	9,02	90,98	0,91	2,11	2,26	3,79	18,48	61,91	7,51	5,87
Апастовское	10,28	89,72	0,92	1,69	2,21	2,85	14,97	62,46	7,84	8,6
Березовское	9,73	90,27	0,91	2,26	2,26	3,11	17,26	61,56	9,4	6,66
Тарн-Варское	8,87	91,13	0,92	2,14	2,22	2,95	16,04	62,8	9,49	7,27
Кармановское	10,86	89,14	0,89	1,86	2,21	3,42	20,72	59,55	7,59	7,11
Салтыковское	18,18	81,82	0,9	1,86	2,22	3,39	18,75	59,85	7,44	6,99
Камаевское	10,14	89,86	0,91	1,78	2,54	3,18	18,21	61,17	7,67	7,72

корректировки состава могут быть использованы для производства портландцемента.

Наиболее перспективным объектом для организации производства портландцемента в РТ является месторождение верхнемеловых, мелоподобных известняков Татарско-Безднинского месторождения Дрожжановского района РТ. Однако для получения на их основе цементного клинкера требуется введение корректирующих добавок в виде пиритных огарков и бокситов, или известняков, химический состав которых обеспечил бы требуемые показатели силикатного, глиноземистого и гидравлического модулей, коэффициента насыщения, а также минералогический состав цементного клинкера.

Литература

1. Министерство строительства, архитектуры и ЖКХ РТ 16.07.09. Строителям подгонят «Татарскую Бездну» цемента? // http://minstroy.tatar.ru.
2. Заседание научно-технического совета по теме: «Организация производства новых строительных материалов на минерально-сырьевой базе РТ». Ведущий НТС – руководитель секции по строительно-технологическим вопросам, заместитель министра строительства, архитектуры и ЖКХ РТ А.Д. Ясько // http://minstroy.tatar.ru.
3. Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. Минеральные вяжущие вещества: Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.

УДК 539.3

Р.А. Каюмов – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов и основ теории упругости

И.В. Строганов – кандидат технических наук, доцент

В.Ф. Строганов – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и инженерной экологии в строительстве

Тел.: (843) 526-93-43, e-mail: svf@ksaba.ru

А.Т. Мухаметшин – аспирант

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА С «ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ»*

АННОТАЦИЯ

Рассмотрены модели деформирования материала с «памятью формы» (МПФ), состоящего из смеси двух полимеров (эпоксидного и каучука) для стеклообразного и высокоэластического состояний.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: математическая модель, полимерный материал, память формы.

R.A. Kayumov – doctor of physical-mathematical sciences, professor, head of Materials Resistance and Foundations of the Elasticity Theory department

I.V. Stroganov – candidate of technical science, associate professor

V.F. Stroganov – doctor of chemical sciences, professor, head of Chemistries and Engineering Ecology in Building department

Tel.: (843) 526-93-43, e-mail: svf@ksaba.ru

A.T. Muhametshin – post-graduate student

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

MATHEMATICAL MODELS OF BEHAVIOR OF POLYMER MATERIAL “SHAPE MEMORY”*

ABSTRACT

The models of deformation of the material with “shape memory” (MPF), consisting of a mixture of two polymers (epoxy and rubber) for the glassy and highly elastic states.

KEYWORDS: mathematical model, a polymeric material, shape memory.

В настоящее время ведущая роль в развитии промышленности отводится новым эффективным технологиям и материалам, в том числе и полимерным, спектр применения которых весьма многообразен и открывает новые направления в исследованиях. Одним из таких направлений является формирование эффекта «памяти формы» (ЭПФ) для полимерных материалов и изделий и его применение в различных отраслях техники. Необходимо отметить, что большинство работ по формированию ЭПФ посвящено только термопластам: полиэтилену, полипропилену и т.д. [1-5]. Вопрос получения ЭПФ у сетчатых полимеров (реактопластов) мало изучен [5]. Согласно классификации, предложенной Кембриджским университетом, выделяют три варианта реализации ЭПФ в полимерных материалах [1]: 1) начальная форма получается путем формирования из расплава или жидкого субстрата. При необходимости проводится отверждение сшивающими агентами или облучением. В дальнейшем осуществляется деформирование (ориентирование) при температуре около или выше T_c (температуры стеклования) или $T_{пл}$ (температуры плавления). Это состояние фиксируется в процессе охлаждения, а восстановление формы достигается нагреванием образца выше T_c или $T_{пл}$; 2) использование полимеров с реверсивной формой, управляемой фото- или электрическими реакциями полимеров; 3) использование полимерных материалов, у которых ЭПФ контролируется химическими реакциями. Для сетчатых полимеров наиболее приемлем первый вариант.

Для математического описания МПФ возможны различные подходы. В литературе в основном

**Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 08-01-00628-а).*

рассматриваются сплавы металлов [6, 7-10]. Поэтому их авторы используют модели упругопластических материалов, свойства которых зависят от температуры [9, 10]. Для описания свойства памяти формы вводится новый параметр процесса – удельная доля мартенсита [9, 10]. Ниже приводятся простые модели для описания МПФ из смеси полимерных материалов, требующие меньшего количества механических характеристик по сравнению с моделями для сплавов, но достаточные для отыскания параметров, определяющих процесс соединения труб муфтами, изготовленными из МПФ.

Рассмотрим композиционный материал с памятью формы, образованный из смеси двух фаз (см. рис. 1) – эпоксидной смолы (первая фаза) и каучука (вторая фаза).

Этот материал обладает следующими свойствами. Во-первых, первая фаза имеет температуру стеклования T_c, ниже которой ее можно считать чисто упругой. Во-вторых, при температурах выше T_c она быстро переходит в высокоэластическое состояние.

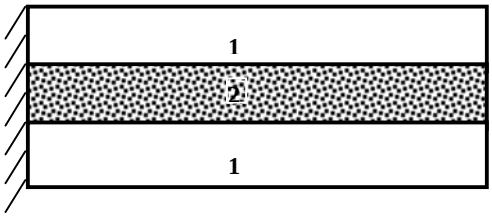


Рис.1

Считаем, что вторая фаза сохраняет свои упругие свойства и при температурах, превышающих T_c, и не имеет остаточных деформаций.

Тогда при температуре $T_T = T_c + \Delta T$ рассматриваемый материал приобретает высокоэластические свойства, а при охлаждении он становится почти полностью упругим. Свойства памяти формы проявляются следующим образом. Если при температуре T_T наш материал с памятью формы (МПФ) подвергнуть деформации ориентирования (например, увеличить радиус муфты с помощью так называемого процесса дорнирования), а затем охладить до рабочей температуры T_p, то в нем появятся остаточные деформации e_0. Они вызовут внутри тела напряжения $s_{(2)}$ во второй фазе и напряжения с обратным знаком $s_{(1)}$ в первой фазе. Они будут уравновешивать друг друга, и это равновесие будет сохраняться достаточно долго, поскольку обе фазы при $T = T_p < T_c$ являются почти чисто упругими.

При нагревании МПФ и достижении температуры $T > T_c$ жесткость первой фазы падает, она деформируется под воздействием напряжения $s_{(2)}$, происходит релаксация напряжений $s_{(1)}$ и их уменьшение до весьма малых значений. Это приводит к снижению и $s_{(2)}$, поскольку противодействие напряжению $s_{(2)}$ уменьшается, в пределе – до нуля. Нулевые значения $s_{(2)}$ означают, согласно закону Гука, что вторая фаза восстановила свою форму, а значит, восстановил форму и весь композит.

При разработке определяющих соотношений для МПФ будем использовать векторно-матричную символику, позволяющую компактно представлять основные уравнения механики, а именно будем использовать векторы s и e, которые вводятся соотношениями:

$$\sigma = \left\{\sigma^{11}, \sigma^{22}, \sigma^{33}, \sigma^{23}, \sigma^{13}, \sigma^{12}\right\}$$
$$\varepsilon = \left\{\varepsilon_{11}, \varepsilon_{21,} \varepsilon_{13}, 2\varepsilon_{23}, 2\varepsilon_{13}, 2\varepsilon_{12}\right\}$$

Матрицы будем обозначать прописными буквами, за исключением температуры Т.

Для разработки модели поведения МПФ используем следующие экспериментальные факты и упрощающие предположения. Во-первых, свойства полимеров хорошо описываются наследственной теорией, согласно которой деформация может быть представлена в виде:

$$\varepsilon = E^{-1}\sigma + \int_0^t H(t-\tau, \sigma, T)\sigma \, d\tau . \qquad (1)$$

Здесь E – матрица упругих характеристик, H – матрица реологических характеристик.

При малых уровнях нагружения это соотношение можно считать линейным относительно напряжений, т.е.

$$H = H_0(t - t,\ \mathrm{T}) \cdot s\,(t). \qquad (2)$$

Во-вторых, для большинства полимеров H_0 хорошо аппроксимируется функцией Абеля в виде

$$H_0 = \frac{C(\mathrm{T})}{(t-t)^{a(\mathrm{T})}}, \qquad (3)$$

$$\left|C(T)\right| > 0, \quad 1 > \alpha(T) > 0 . \qquad (4)$$

Первое неравенство в (4) и далее означает положительную определенность матрицы *C*.

В-третьих, относительно первой фазы сделаем предположение о том, что она относится к классу так называемых простых материалов, т.е. матрица-функция H_0 пропорциональна некоторой функции

температуры и не зависит от уровня напряжений. Это приводит к следующей форме H_0:

$$H_0 = a(\mathrm{T})H_{00}(t-t), \qquad (5)$$

где $a(T)>0$ – скалярная функция, H_{00} – положительно определенная матрица, вид которой для изотропного материала можно определить из анализа соотношений, приведенных, например, в [13, 14].

Отметим, что в случае нелинейно-наследственного полимера при описании его поведения хорошие результаты дает иерархический подход [11]. Согласно этому подходу коэффициенты H_0 считаются зависящими от инвариантов тензора напряжений. В случае изотропной среды можно считать их зависящими только от интенсивности напряжений s_i, что хорошо подтверждается некоторыми экспериментами [12]. Тогда можно соотношения (3), (4) с учетом (5) записать в виде:

$$H_0 = a(\mathrm{T})\frac{C(s_i)}{(t-t)a(s_i)}, \qquad (6)$$

$$\left|C(\sigma_i)\right| > 0, \quad 0 < \alpha(\sigma_i) < 1. \qquad (7)$$

Для определения функции $a(\mathrm{T})$ необходимо провести ряд испытаний первой фазы МПФ при различных температурах.

Для уменьшения объема работ по определению механических характеристик МПФ рассмотрим упрощающие предположения, основанные на приведенных выше свойствах МПФ, но приводящие к различным моделям МПФ.

Рассмотрим сначала процесс прямого преобразования, под которым будем понимать процесс деформирования МПФ, начиная с момента изготовления, т.е. с состояния, в котором еще нет памяти формы.

Первая модель основана на пренебрежении упругими деформациями первой фазы при температурах, больших температуры стеклования T_c. Такая модель применима в таких случаях, когда время деформирования МПФ не играет большой роли и может быть не ограничено технологическими процессами или техническими условиями.

Определяющие соотношения при низких температурах, т.е. до температуры стеклования T_c, можно представить в виде (используются соотношения структурной теории композиционных материалов):

$$T < T_c : \sigma = E\varepsilon\varepsilon E = E_1V_1 + E_2V_2 \ . \qquad (8)$$

Здесь E, E_1, E_2 матрицы упругих характеристик МПФ, первой и второй фазы соответственно; V_1, V_2 – удельные объемы первой и второй фаз.

Принимая, что ввиду неограниченности времени при $T = T_0 \geq T_c$ в первой фазе произошла полная релаксация напряжений, соотношения между заданной деформацией e_{00} и напряжениями σ_1, σ_2 в фазах, а также напряжением σ_0 в композите, как в гомогенном теле, можно представить в виде

$$\sigma_1 = 0, \quad \sigma_2 = E_2V_2\varepsilon_{00}, \quad \sigma_0 = E_2V_2\varepsilon_{00} \qquad (9)$$

Охладим теперь тело до температуры $T = T_p < T_c$ при постоянной деформации e_{00}. После снятия нагрузки получим остаточную деформацию ориентирования

$$e_0 = (1 - E\,E_1^{-1}V_2)e_{00}.$$

Эта модель исключительно проста, поскольку для отыскания остаточной деформации ориентирования необходимо знать только константы T_c, E_1, E_2, V_1, V_2, а задача прямого преобразования сводится к задаче теории упругости.

Рассмотрим вторую модель. В этой модели необходимо учитывать соотношения наследственной теории (1)-(4). Для простоты будем рассматривать линейную теорию (2). Тогда определяющие соотношения для композита можно записать в виде:

$$e = E^{-1}s + \int_0^t H_0(t-t,\mathrm{T})\,s(t)\,a\,t, \qquad (10)$$

$$E^{-1} = E_1^{-1}V_1 + E_2^{-1}V_2, \qquad (11)$$

$$H_0 = (H_0)_{(1)}V_1 = a(\mathrm{T})\cdot(H_{00})_{(1)}V_1. \qquad (12)$$

Здесь E^{-1}, E_1^{-1}, E_2^{-1} – матрицы, обратные к E, E_1, E_2, а $(H_0)_{(1)}$ – ядро ползучести для первой фазы.

Для температур $T<T_c$ здесь также можно считать, что деформации являются чисто упругими

$$a(\mathrm{T}) = 0 \ \text{ при } T<T_c. \qquad (13)$$

Тогда $a(T)$ – это функция типа функции Хевисайда:

$$h(T-T_c) = \begin{cases} 0 & при\ T < T_c \\ 1 & при\ T \geq T_c \end{cases} \qquad (14)$$

С использованием $h(T-T_c)$ функцию $a(T)$ можно представить в виде:

$$a(\mathrm{T}) = f(\mathrm{T})\cdot h(\mathrm{T}-\mathrm{T_c}), \qquad (15)$$

где $f(\mathrm{T})$ – некоторая гладкая функция. Для функции Хевисайда можно использовать известные аппроксимации гладкими функциями, например,

$$h(\mathrm{T}-\mathrm{T_c}) \approx 2^{-e^{-b(\mathrm{T}-\mathrm{T_c})}},\ b >> 1\cdot$$

Рассмотрим теперь процесс обратного преобразования. Это процесс восстановления формы, которую имело тело до деформации при прямом преобразовании (ориентированной деформации). Таким образом, считаем, что тело имеет начальную деформацию удлинения ε_0 к началу обратного преобразования (см. рис. 2). Пусть тело начинает разогреваться. При $T > T_c$ композит начнет деформироваться под воздействием напряжений, которые имеют место во второй фазе, поскольку в первой при этом начнется процесс релаксации.

Рассмотрим сначала первую модель. Считая время релаксации неограниченным, получим, что на упругие связи, противодействующие деформации МПФ (см. рис. 2), воздействует только вторая фаза. Это воздействие в виде реакции *p* можно найти по соотношению:

$$p = s_2 = E_2(e_0 - e)V_2, \qquad \mathrm{T} > \mathrm{T_c} \qquad (16)$$

Здесь – обратная деформация МПФ (см. рис. 2).

Если связь абсолютно жесткая, то =0 , и воздействие на нее будет максимальным. Если же связей нет, то напряжения в МПФ к концу обратного преобразования станут нулевыми.

Рассмотрим теперь случай, аналогичный соединению жестких труб муфтой, изготовленной из МПФ. Пусть абсолютно жесткая связь начинает действовать только после выборки некоторого зазора Δ. Тогда при восстановлении формы на эту связь (после полной релаксации напряжений в первой фазе) будет воздействовать нагрузка, определяемая формулой

$$p = E_2(e_0 - \Delta)V_2.$$

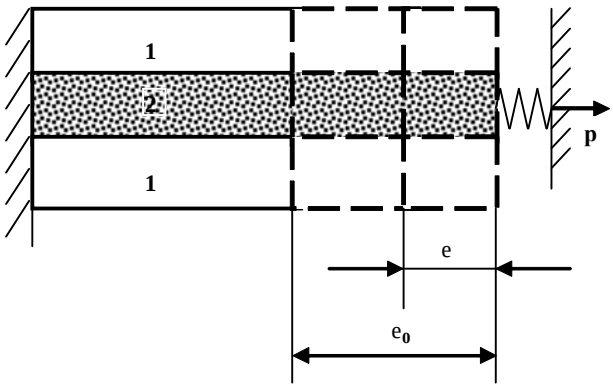


Рис. 2

Рассмотрим далее вторую модель.

В этом случае после достижения температурой величин выше $\mathrm{T_c}$ начнется процесс ползучести первой фазы и упругая разгрузка второй. Для определения давления на связи получим следующие соотношения:

1. Условия совместности деформации на границе фаз

$$G_n e_1 = G_n e_2, \qquad (17)$$

где индекс «*n*» означает, что матрица G, обеспечивающая условия совместности, определена на границе раздела фаз.

2. Уравнения равновесия на границе фаз:

$$C_n s_1 = C_n s_2, \qquad (18)$$

здесь C_n – матрицы, обеспечивающие условия статики на границе фаз.

3. Соотношение упругости для второй фазы

$$s_2 = E_2(e_0 - e_2), \qquad (19)$$

Где, как и прежде, e_0 – начальная остаточная деформация, приобретенная МПФ к концу прямого преобразования.

4. Соотношения наследственной теории в первой фазе:

$$\varepsilon_1 = E_1^{-1}\sigma_1 + \int_0^t H_1(t-\tau, T)\,\sigma_1(\tau)d\tau\,. \qquad (20)$$

5. Условия закрепления

$$\Gamma u = 0, \quad x \in S, \qquad (21)$$

где u – вектор перемещений, S – закрепленная поверхность, Γ – дифференциальный оператор, обеспечивающий условия закрепления.

Очевидно, что решить систему (17)-(20) в строгой постановке в общем случае не представляется возможным. Поэтому рассмотрим задачу отыскания ε для одномерной задачи, изображенной на рис. 2. Сначала исследуем вариант, когда образец из МПФ не ограничен какими-либо связями (см. рис. 1). Пусть композит имеет начальную деформацию e_0. Так как обе фазы работают совместно, то деформация МПФ, первой и второй фаз одинаковы:

$$e = e_1 = e_2. \qquad (22)$$

Следовательно, физические соотношения примут вид:

$$s_2 = E_2(e_0 - e), \qquad (23)$$

$$= E_1^{-1}{}_1 + \int_0^t H_1{}_1\, d\,. \qquad (24)$$

Уравнения равновесия имеют вид:

$$s_1 V_1 + s_2 V_2 = 0. \qquad (25)$$

Найдя s_2 из (25) и подставив в (23), получим выражение для σ_1. Тогда из (24) вытекает интегральное уравнение для определения деформации МПФ:

$$\int_0^t H_1(t-t)E_2(e_0-e)\frac{V_2}{V_1}at +$$

$$+ E_1^{-1}E_2(e_0-e)\frac{V_2}{V_1}+e=0. \qquad (26)$$

Для ее решения нужно применять численные методы. В простейшем случае, с помощью метода Эйлера, можно использовать следующий алгоритм.

1. Рассматриваемый интервал времени разбиваем на m подинтервалов времени Δt.

2. Обозначим через $e^{(k)}$ значения ε в моменты времени $t_{(k)}$.

3. На интервале времени $(t_{k-1},\ t_k)$ деформации аппроксимируем линейными фнкциями, т.е.

$$e=e^{(k)}\frac{t-t_{k+1}}{t_k-t_{k+1}}+e^{(k+1)}\frac{t-t_k}{t_{k+1}-t_k}. \qquad (27)$$

4. Для каждого момента времени t_k записываем уравнение (26)

$t_0 = 0$:

$$E_1^{-1}E_2(\varepsilon_0-\varepsilon^{(0)})\frac{V_2}{V_1}+\varepsilon_0=0 \qquad (28)$$

$t = t_1$:

$$\int_0^{t_1} H_1(t_1-\tau)E_2\left(\varepsilon_0-\left[\varepsilon^{(0)}\frac{t-t_1}{t_0-t_1}+\varepsilon_1\frac{t-t_0}{t_1-t_0}\right]\right)\frac{V_2}{V_1}d\tau +$$

$$+E_1^{-1}E_2(\varepsilon_0-\varepsilon^{(1)})\frac{V_2}{V_1}+\varepsilon^{(1)}=0 \qquad (28)$$

Поскольку $H_1(t_1-t)$ – известная функция, то в уравнениях (28) интегралы могут быть вычислены. Таким образом, получаем рекуррентную систему уравнений для определения деформаций $e^{(k)}$ МПФ в моменты времени t_k.

Теперь рассмотрим случай, изображенный на рис. 2, т.е. случай, когда на образец из МПФ накладываются упругие связи. Пусть известна ее реакция p на деформацию ξ:

$$p = E_c x. \qquad (29)$$

Тогда уравнения равновесия примут вид:

$$s_1V_1 + s_2V_2 = p. \qquad (30)$$

Если связь начинает действовать только после выборки некоторого зазора Δ, то

$$d=e-\Delta,\quad p=E_c(e-\Delta). \qquad (31)$$

Таким образом, уравнение равновесия примет вид:

$$s_1V_1 + s_2V_2 = E_c(e-\Delta). \qquad (32)$$

Физические соотношения (19), (20) не изменятся. Тогда из (22)-(24), (32) получаем систему уравнений относительно деформации образца из МПФ при обратном преобразовании

$$s_2=(E_c(e-\Delta)-s_1V_1)/V_2=E_2(e_0-e)$$

$$s_1=\frac{V_2}{V_1}\left[E_2(e-e_0)+\frac{E_c}{V_2}(e-\Delta)\right]$$

$$\int_0^t H_1(t-\tau)\frac{V_2}{V_1}\left[E_2(\varepsilon-\varepsilon_0)+\frac{E_c}{V_2}(\Delta-\varepsilon)\right]d\tau +$$

$$+E_1^{-1}\frac{V_2}{V_1}\left[E_2(\varepsilon-\varepsilon_0)+\frac{E_c}{V_2}(\Delta-\varepsilon)\right]+\varepsilon=0. \qquad (33)$$

Решение его проводится аналогично предыдущему случаю.

Найдя $e(t)$, можно теперь с помощью соотношения (31) определить реакцию связи (например, силу обжатия труб) в любой момент времени. Если же стоит задача определения времени t^*, необходимого для того, чтобы выбрать зазор между связью и образцом, то из (33), полагая $\varepsilon(t^*)=\Delta$, получаем уравнение относительно t^*. И в этом случае необходимо привлекать какие-либо численные методы.

Полученные результаты применим для расчета поверхностных сил обжатия труб, соединяемых с помощью муфт, изготовленных из МПФ. Для упрощения задачи делаем следующие предположения.

1. Труба и муфта имеют малые по сравнению с радиусами толщины $h_т$ и $h_м$ (индексами «т» и «м» в дальнейшем обозначается принадлежность трубе и муфте).

2. В виду тонкостенности трубы и муфты эффектом Пуассона в поперечном сечении можно пренебречь.

3. Зазор Δ между муфтой и трубой мал по сравнению с радиусами муфты и трубы.

4. Краевым эффектом в трубах и муфте можно пренебречь, считая напряженное состояние безмоментным.

Рассматривая отсеченную часть соединения (см. рис. 3), получим, что после соприкосновения муфты и трубы напряжения в них будут связаны уравнением равновесия

$$q\cdot R_т \cong s_т h_т. \qquad (34)$$

Следовательно, можно из (33), (34) найти

$$q\cong\frac{h_м}{R_т}s_м\cong\frac{s_т h_т}{R_т}. \qquad (35)$$

Из рис. 3 следует, что

$$\sigma_T h_T = -\sigma_м h_м$$

Связь деформаций труб с $s_{\text{т}}$ запишем в виде

$$s_{\text{т}} = \tilde{E}_{\text{т}} e_{\text{т}},\ \tilde{E}_{\text{т}} = E_{\text{т}}/(1-n_{\text{т}}^2) \qquad (36)$$

Здесь $n_{\text{т}}$ – коэффициент Пуассона материала трубы. Аналогично для муфты:

$$s_{\text{м}} = \tilde{E}_{\text{м}} e_{\text{м}},\ \tilde{E}_{\text{м}} = E_{\text{м}}/(1-n_{\text{м}}^2) \qquad (37)$$

Используем первую модель МПФ, т.е. считаем, что время для обратного преобразования (восстановления формы) не ограничено. Тогда к моменту соприкосновения трубы и муфты напряжения $s_{\text{м}} = s_{\text{т}} = 0$. В дальнейшем муфте остается выбрать только часть заданной при дорнировании деформации e_0. Для ее определения рассмотрим выражения для деформации труб и муфты в кольцевом направлении.

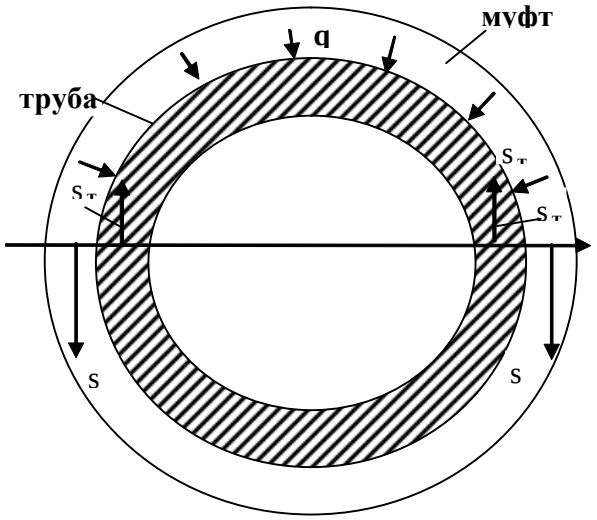


Рис. 3

$$\varepsilon_м = \frac{2\pi(\mathrm{R}_м + \Delta R_м) - 2\pi \mathrm{R}_м}{2\pi \mathrm{R}_м} = \frac{\Delta R_м}{\mathrm{R}_м}, \qquad (38)$$

$$\varepsilon_T = \frac{2\pi(\mathrm{R}+\Delta \mathrm{R}_T) - 2\pi \mathrm{R}_T}{2\pi \mathrm{R}_T} = \frac{\Delta \mathrm{R}_T}{\mathrm{R}_T}, \qquad (39)$$

где R_T, R_m – первоначальные радиусы трубы и муфты.

Ввиду малости толщин трубы и муфты можно считать, что

$$\Delta R_м \approx \Delta R_m, R_м \approx R_m \qquad (40)$$

$$e_{\text{м}} = e_{\text{т}} = e \qquad (41)$$

Следовательно, если муфта была дорнирована, а радиус ее увеличился на $\Delta R^0_{\text{м}}$, то из (38) получаем:

$$\varepsilon^0_м = \frac{\Delta R_м}{R_м} \qquad (42)$$

Если d – зазор между дорнированной муфтой и трубой, то к моменту их соприкосновения остается не выбранной деформация

$$\varepsilon^{\text{ост}}_м = \varepsilon^0_м - \frac{\delta}{R_м}. \qquad (43)$$

Тогда напряжения в муфте будут:

$$\sigma_м = \tilde{E}_м(\varepsilon^{\text{ост}}_м - \varepsilon) = \tilde{E}_2 V_2 \left(\varepsilon^0_м - \frac{\delta}{R_м} - \varepsilon \right). \qquad (44)$$

Для отыскания ε воспользуемся уравнением равновесия (34). С учетом (44) получим:

$$\tilde{E}_T \varepsilon \cdot h_T = \tilde{E}_2 V_2 \left(\varepsilon^0_м - \frac{\delta}{R_м} - \varepsilon \right) h_м. \qquad (45)$$

Отсюда вытекает выражение для ε :

$$\varepsilon = \frac{\tilde{E}_2 V_2 h_м (\varepsilon^0_м - \delta / R_м)}{\tilde{E}_T h_T + \tilde{E}_2 V_2 h_м} \qquad (46)$$

Используя закон упругости (36) и соотношение (35), получим поверхностную силу обжатия труб (давление на трубы):

$$q = \frac{1}{R_T R_м} \frac{\tilde{E}_2 V_2 h_м (\Delta R^0_м - \delta)}{1 + \tilde{E}_2 h_м / (h_T \tilde{E}_T) V_м}. \qquad (47)$$

Поскольку прочность соединения труб с муфтой зависит от толщины слоя клея, остающегося после обжатия концов соединяемых труб, а эта толщина зависит от давления q , то формула (47) позволяет оптимизировать размеры муфты и ее механические характеристики. В частности, из (47) вытекает, что q тем больше, чем больше толщина муфты, а также чем больше удельный объем и жесткость ее второй фазы. Из (47) вытекает также, что q зависит не от степени дорнирования $\Delta R^0_м$, а от разницы $\Delta R^0_м$ и зазора между муфтой и трубой.

Таким образом, первая математическая модель поведения полимерного материала с «памятью формы» позволяет достаточно просто провести первичный расчет муфтового соединения. Более точный анализ задачи с использованием второй модели требует использования численных методов.

Литература

1. Irie M. Shape memory polymers / Eds. K. Otsuka, C.M. Wayman // Shape Memory Materials. – Cambridge: Cambridge University Press, 1998. – P. 203-219.
2. Trznadel M., Kryszewski M. Thermal shrinkage of oriented polymers // J.M.C. – 1992/ – 32C, N 3, 4. – P. 259-300.
3. Lendlein A., Kelch S. Shape-memory polymers // Angew. Chem. Int. Ed. – 2002. – 41, N 12. – P. 2034-2057.
4. Белошенко В.А., Варюхин В.Н., Возняк Ю.В. Эффект памяти формы в полимерах // Успехи химии, 2005, 74, № 3. – С. 285-306.
5. Белошенко В.А., Варюхин В.Н. Эффект памяти формы в полимерах и его применение. – Киев: Наукова думка, 2005. – 191 с.
6. Мовчан А.А. Микромеханический подход к проблеме описания накопления анизотропных рассеянных повреждений // Изв. РАН. Механика твердого тела, 1990, № 1. – С. 115-123.
7. Лихачев В.А., Малинин В.Г. Структурно-аналитическая теория прочности. – СПб.: Наука, 1993. – 471 с.
8. Махутов Н.А., Кивилидзе А.А. Описание механического поведения сплавов с памятью формы // Заводская лаборатория, 1995, № 6. – С. 123-128.
9. Мовчан А.А., Казарина С.А. Механика активных композитов, содержащих волокна или слои из сплава с памятью формы // Механика композиционных материалов и конструкций, 1996, т. 2, № 2. – С. 29-47.
10. Мовчан А.А. Микромеханический подход к описанию деформации мартенситных превращений в сплавах с памятью формы // Изв. РАН. Механика твердого тела, 1995, № 1. – С. 197-205.
11. Патент Украины № 10299, бюл. № 4, 1996 г.
12. Зайцев Ю.С., Кочергин Ю.С., Пактер М.К., Кучер Р.В. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции. – Киев: Наукова думка, 1990. – С. 200.
13. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука, 1979. – С. 774.
14. Терегулов И.Г. Изгиб и устойчивость тонких пластин и оболочек при ползучести. – М.: Наука, 1969. – С. 206.

УДК 678.643.425.033:620.193.8
Д.А. Куколева – аспирант
Тел.: 89503136284, e-mail: daria-zd@rambler.ru
А.С. Ахметшин – соискатель
И.В. Строганов – кандидат технических наук, доцент
В.Ф. Строганов – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и инженерной экологии в строительстве
Тел.: (843) 526-93-43, e-mail: svf@ksaba.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

БИОПОВРЕЖДЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

АННОТАЦИЯ
Рассмотрена проблема биоповреждения полимерных композиционных строительных материалов. Проведен сравнительный анализ оценки биоповреждения различными методами. Показана возможность исследования биоразрушения в аэротенках, метантенках и модельных агрессивных средах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биоповреждение, полимерно-композиционные материалы, биокоррозия, строительные материалы, агрессивная среда.

D.A. Kukoleva – post-graduate student
Tel.: 89503136284, e-mail: daria-zd@rambler.ru
A.S. Akhmetshin – researcher
I.V. Stroganov – candidate of technical sciences, associate professor
V.F. Stroganov – doctor of chemical sciences, professor, head of Chemistries and Engineering Ecology in Building department
Tel.: (843) 526-93-43, e-mail: svf@ksaba.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

BIODETERIORATION OF POLYMERIC COMPOSITE BUILDING MATERIALS

ABSTRACT
The problem of biodamage of polymeric composite building materials is considered. The comparative analysis of an estimation of biodamage is lead by various methods. The opportunity of research of biodestruction in aerotank, methanetank and modelling excited environments is shown.

KEYWORDS: biodeterioration, polymeric-composite building materials, biocorrosion, building materials, aggressive environment.

В современном мире все более актуальной становится проблема повреждения зданий, сооружений, строительных материалов, вызванная заселением и развитием микроорганизмов: бактерий, грибов, актиномицетов, так как они могут представлять серьезную опасность как для конструкции зданий и сооружений, так и для здоровья людей. Эта проблема широко известна как биокоррозия. Биокоррозия – разрушение конструкционных материалов под действием микроорганизмов и продуктов их метаболизма. Чаще всего на конструкциях это проявляется в виде изменения окраски или появления грибковых пятен, более известных как «плесень».

В России уровень биокоррозии значительно превышает среднеевропейские и мировые нормы: многие строительные материалы (древесина, бетон, кирпич, штукатурка, сухие смеси, герметики и т.п.) способны даже в условиях средних широт, особенно при температуре выше 20 ^{0}C и относительной влажности выше 70 % подвергаться воздействию различных микроорганизмов, вызывающих серьезные биоповреждения строительных материалов. Это подтверждают данные исследований, выполненные В.Г. Ерофеевым, В.Ф. Смирновым, которые демонстрируют, что большое количество зданий в Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Владивостоке, Якутске, Саранске поражено различными микроорганизмами [1]. Для Казани эта проблема (по данным В.Н. Куприянова и Н.М. Чупракова) не менее актуальна.

Одним из самых распространенных строительных материалов являются бетон и железобетон. Эти материалы применяются как для строительства жилых и промышленных зданий и сооружений, так и для возведения инженерных сооружений специального назначения: коллекторов, тоннелей, переходов, конструкций метрополитена. Так как большинство из перечисленных специальных объектов являются подземными, то более 50 % коррозии связано с биологическими факторами, которые часто усугубляются воздействием грунтовых вод либо утечками из канализационных коллекторов или с очистных сооружений.

Биоповреждение минеральных строительных материалов (в т.ч. бетона) заключается в нарушении сцепления между компонентами бетонного камня в результате воздействия на него продуктов метаболизма микроорганизмов. Исходя из условий развития биокоррозии, связанных с жизнедеятельностью микроорганизмов, различают два вида биокоррозии:

- в первом случае микроорганизмы непосредственно контактируют с внутренними или наружными поверхностями конструкций. Продукты жизнедеятельности данных микроорганизмов взаимодействуют с компонентами конструкций, в результате чего снижаются эксплуатационные и физико-механические свойства материала;

- во втором случае микроорганизмы являются продуцентами веществ, агрессивных к строительному материалу, но непосредственно к материалу не прилегают. Процессы коррозии развиваются на расстоянии от места обитания микроорганизмов, вырабатывающих агрессивные вещества. Например, тионовые бактерии, поселяющиеся на поверхности карбонатного слоя бетона, разрушают цементный камень, изменяя pH прилегающей воды за счет образуемой ими серной кислоты [2].

Внешние проявления биокоррозии некоторых материалов, например металлов, мало отличаются от обычной коррозии, сопровождающейся, к примеру, в случае атмосферной коррозии появлением ржавчины. Поэтому даже специалисты в области коррозии не всегда могут распознать биокоррозию и для установления биологической природы тех или иных случаев коррозии вынуждены обращаться к микробиологам. Так, например, только благодаря большой работе, проведенной учеными Института микробиологии и вирусологии АН, удалось распознать микробиологическую природу сильных коррозионных поражений, угрожающих металлическим конструкциям тоннеля при строительстве метрополитена в Киеве. При прокладке тоннеля на одном из участков строительства метрополитена кессонным способом было обнаружено, что стальные болты, скрепляющие тюбинги тоннельной обводки, в течение нескольких месяцев прокорродировали почти наполовину. Чтобы предотвратить аварию, нужно было принять срочные меры, а причины коррозии не были ясны. Предварительные анализы грунта на коррозионную агрессивность дали отрицательные результаты. Однако микробиологи выявили, во-первых, наличие в пробах грунта минералов, содержащих соединения серы, например пирита, состоящего из дисульфида железа, во-вторых, наличие в этих же пробах тионовых (сероокисляющих) бактерий и, в-третьих, изменение атмосферных условий в тоннеле при его прокладке. Предварительные испытания до начала строительства тоннеля показали, что грунт влажный, условия анаэробные и тионовые бактерии не опасны. Кессонный способ прокладки тоннелей связан с подачей в забой сжатого воздуха под давлением около 3 атм. Как только появился третий фактор – кислород воздуха, создались благоприятные условия, в результате чего начался бурный рост и размножение тионовых бактерий, количество которых, как показали опыты, в считанные дни может возрасти с единиц в 1 г почвы до нескольких миллионов. В аэробных условиях эти бактерии интенсивно окисляют сульфиды с образованием серной кислоты, которая вызывает интенсивную коррозию. Самой эффективной рекомендацией по защите от биокоррозии, данной микробиологами строителям, было прекращение подачи воздуха в забой и применение вместо кессонного других способов прокладки тоннеля. Коррозия тут же прекратилась и аварию удалось предотвратить [3].

Установлено, что наиболее агрессивны по отношению к бетону нитрифицирующие и тионовые бактерии, которые в процессе жизнедеятельности выделяют такие сильные кислоты, как азотная и серная. Под их воздействием разрушается образованная на поверхности бетона в процессе затвердевания защитная пленка карбоната кальция. А именно она препятствует выщелачиванию гидроксида кальция.

Высокая влажность способствует биоразрушению, создавая благоприятные условия для развития микроорганизмов. Пытаясь воспрепятствовать проникновению влаги, в строительстве часто используют герметик. Однако его «защитное» действие рассчитано всего на пять-восемь лет. Дополнительная защита, например, оштукатуривание цементно-песчаным раствором, лишь в 1,5-2 раза увеличивает этот срок. Такие меры кардинально проблему не решают.

В связи с этим остро стоит проблема защиты бетонных сооружений от биоразрушения. Одним из вариантов такой защиты является защита полимерами, в том числе эпоксидными покрытиями. С целью выявления защитной способности данных покрытий нами проведены исследования биостойкости различных эпоксиполимеров. Испытания материалов на биостойкость проводятся по ГОСТ 9.049-91, однако стандартный метод оценки биоповреждения полимеров базируется на непосредственном

воздействии чистых культур микроорганизмов, что значительно ограничивает его применение, ввиду необходимости специально оборудованных микробиологических лабораторий. Одним из вариантов испытания материалов на биостойкость является испытания в аэротенках и метантенках. Данный метод имеет преимущества, которые обусловлены возможностью моделирования интенсивного биотического и абиотического воздействия на полимерный материал, в результате культивирования в биоценозе ила в сотни раз большего содержания микроорганизмов, обладающих высокой ферментативной активностью [4].

Пределы моделирования могут быть значительно расширены при интенсификации процесса разложения органических веществ в аэротенке под воздействием чистых культур микроорганизмов, активного угля, кислорода, озона, витаминов, ферментов и т.д. Кроме указанных преимуществ, автоматизация испытаний, непрерывный химический и гидробиологический контроль за процессами, протекающими в аэротенках и метантенках, позволяют получить точную информацию об условиях испытаний и гарантируют высокую воспроизводимость результатов. Объемы биологических очистных сооружений могут обеспечить испытание тысячи образцов, в том числе крупногабаритных изделий, одновременно и в одинаковых условиях, что экономически выгодно и экологически целесообразно [5].

Однако, несмотря на приведенные достоинства испытаний в аэротенках и метантенках, эти испытания не могут быть смоделированы в лабораторных условиях. Наиболее приемлемыми для решения указанных задач являются методы исследования биостойкости полимеров в модельных агрессивных средах.

Принято считать, что сами микроорганизмы не вызывают деградации полимеров, так как для того, чтобы полимерный материал стал доступен биодеградации, должны произойти изменения в его структуре, вызванные абиотическими факторами, в первую очередь в результате воздействия химических веществ – воды, карбоновых кислот и других химически активных сред [6-8].

В качестве объектов исследования нами использовались полимеры на основе эпоксидного олигомера марки ЭД-22, отвержденного изометилтетрагидрофталевым ангидридом (изо-МТГФА), катализатором гомополимеризации – комплексом трехфтористого бора с бензиламином (УП-605/3р), аминными отвердителями – УП-0633.

Образцы полимеров выдерживали в 0,01М водных растворах фумаровой, лимонной, щавелевой и винной кислот марки ч.д.а. и в дистиллированной воде при 20 ± 2^0С. Периодически (с 14 до 60 суток) контролировали относительные изменения показателей: массы ($\Delta m/m_0$) , диэлектрической проницаемости ($\Delta\varepsilon/\varepsilon_0$), тангенса угла диэлектрических потерь ($\Delta tg\delta/tg\delta_0$).

Установлено, что при выдержке образцов в воде в течение 14 суток водопоглощение ЭП, полученных при отверждении изо-МГТФА, увеличивается до максимума, а затем достигнутые значения колеблются в пределах 2-5 %. Масса ЭП, полученных при отверждении в присутствии УП-605/3р и алифатических аминов типа УП-0633, изменяется в большей степени, чем масса полимеров, отвержденных изо-МГТФА.

Сорбция воды и водных растворов карбоновых кислот сопровождается изменением свойств эпоксидных полимеров, например: повышением диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь.

Наглядно динамика относительного изменения показателей в воде, приведенных в таблице, может быть представлена в виде диаграммной зависимости (рис. 1. а, б, в). При выдержке образцов в водных растворах карбоновых кислот изменения этих показателей аналогичны.

Вышеописанный эксперимент позволил проследить динамику и количественные изменения свойств ($\Delta m/m_0$, $\Delta\varepsilon/\varepsilon_0$, $tg\delta/tg\delta_0$) эпоксиполимеров в агрессивных средах. Однако, для более полной оценки возможностей применения материалов на основе эпоксиполимеров необходимо иметь данные по исследованию изменения поверхностных (H_p), когезионных (σ_p), адгезионных ($\tau_в$) и структурных характеристик (n_c) в условиях биоповреждения. В качестве модельной среды при исследовании указанных свойств была выбрана щавелевая кислота, ввиду того, что деструкция полимеров происходит именно в растворе щавелевой кислоты [9].

Объекты и условия испытания в средах аналогичны описанному выше. Контролировались следующие показатели: число сшивок между узлами (n_c) рассчитывали по модулю высокоэластичности [10]; твердость по Роквеллу (H_p) образцов определяли на вискозиметре Гепплера; разрушающее напряжение при растяжении (σ_p) пленки образцов толщиной 150-200 мкм и их относительное удлинение при разрыве (ε) измеряли на динамометре Поляни.

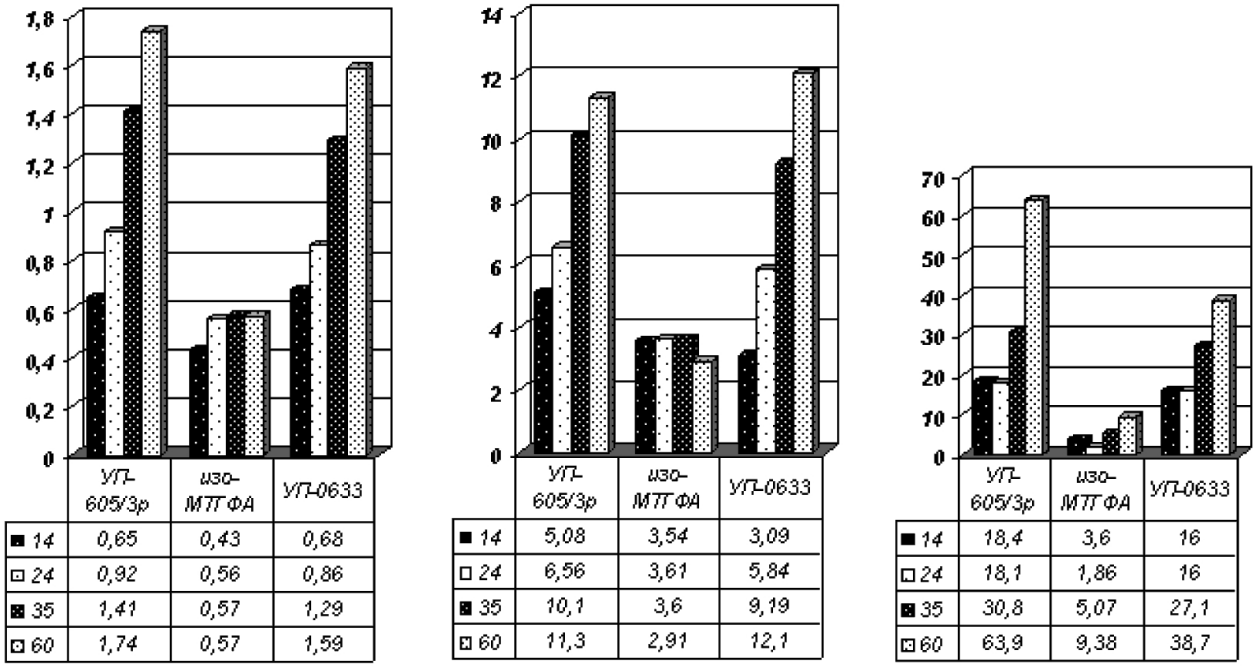
При сорбции физически агрессивных сред прочность связи между макромолекулами снижается [11], что повышает эластичность полимеров вследствие увеличения гибкости макромолекулярных цепей при набухании полимеров. Это подтверждается возрастанием степени изменения H_p полимеров в процессе сорбции агрессивных сред (рис. 2). При выдержке в воде и водном растворе щавелевой кислоты твердость композиций, отвержденных аминами и УП-605/3р, снижается, причем в большей степени в растворе щавелевой кислоты.

При выдержке эпоксиаминных образцов в воде и водном растворе щавелевой кислоты в период с 7 до 24 суток (рис. 3, а) n_c увеличивается. В то время, как у

Таблица 1

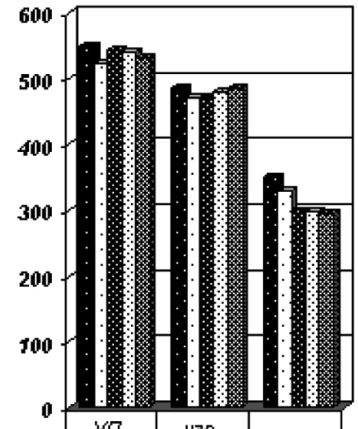
Влияние выдержки в водных растворах карбоновых кислот на массу и диэлектрические свойства эпоксиполимеров

Среда	Время выдержки, сут.	УП-605/3р			изо-МТГФА			УП-0633		
		$\Delta m/m_0$, %	$\Delta\varepsilon/\varepsilon_0$, %	$\Delta tg\delta/tg\delta_0$, %	$\Delta m/m_0$, %	$\Delta\varepsilon/\varepsilon_0$, %	$\Delta tg\delta/tg\delta_0$, %	$\Delta m/m_0$, %	$\Delta\varepsilon/\varepsilon_0$, %	$\Delta tg\delta/tg\delta_0$, %
Вода	14	0,65	5,08	18,4	0,43	3,54	3,60	0,68	3,09	16,0
	24	0,92	6,56	18,1	0,56	3,61	1,86	0,83	5,84	16,0
	35	1,41	10,1	30,8	0,57	3,60	5,07	1,29	9,19	27,1
	60	1,74	11,3	63,9	0,57	2,91	9,38	1,59	12,1	38,7
Щавелевая кислота	14	0,67	5,10	13,7	0,39	2,67	9,07	2,17	14,0	32,2
	24	1,04	5,63	13,0	0,53	3,01	-2,20	2,38	19,0	68,8
	35	1,56	10,7	28,5	0,72	3,51	5,30	3,36	23,8	132,0
	60	1,85	10,7	52,6	0,80	6,50	12,8	4,05	31,6	164,0
Лимонная кислота	14	0,99	5,92	25,7	0,44	3,36	8,92	0,76	3,14	17,2
	24	1,16	7,48	21,6	0,55	3,92	-2,24	1,36	6,94	18,5
	35	1,62	12,1	43,5	0,72	3,16	5,58	1,58	8,39	25,9
	60	1,87	13,8	57,0	0,73	5,24	14,8	2,01	12,6	50,3
Фумаровая кислота	14	1,01	7,66	25,2	0,41	3,81	8,68	1,08	3,75	35,7
	24	1,21	6,25	22,0	0,58	3,87	2,27	1,32	8,22	35,2
	35	1,70	13,7	44,8	0,66	4,72	9,08	1,89	11,9	48,4
	60	1,87	14,6	35,6	0,79	4,24	10,8	2,28	12,9	57,4
Винная кислота	14	0,70	5,28	25,1	0,50	2,60	10,9	0,82	9,77	29,1
	24	1,04	7,04	14,2	0,60	3,51	1,47	1,14	9,77	46,0
	35	1,54	12,8	32,0	0,75	4,52	3,60	1,66	19,0	38,0
	60	1,87	13,8	55,4	0,76	4,93	15,0	2,14	15,2	38,9



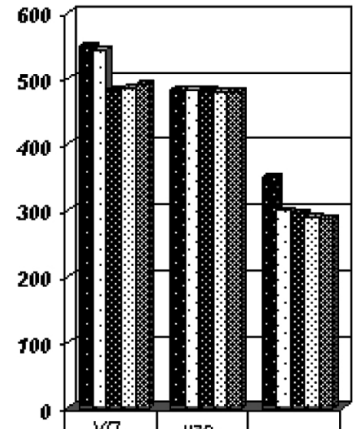
а) б) в)

Рис. 1. Относительное изменение массы (а), диэлектрической проницаемости (б) и тангенса угла диэлектрических потерь (в) при выдержке в воде



	УП-605/3р	изо-МТГФА	УП-0633
0	550	487	351
14	523	470	329
24	543	470	300
35	540	480	299
60	531	487	295

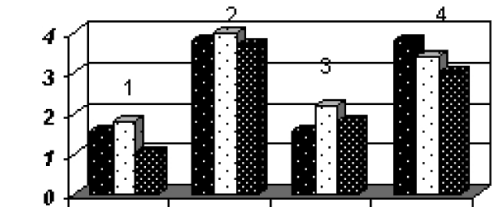
а)



	УП-605/3р	изо-МТГФА	УП-0633
0	550	484	351
14	543	484	300
24	484	484	295
35	485	480	290
60	492	479	287

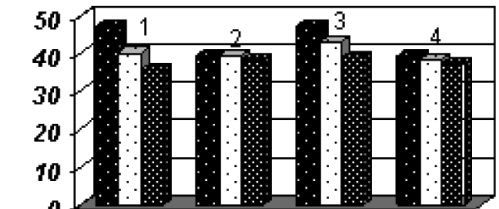
б)

Рис. 2. Изменение твердости (H_p) образцов на выдержке в водном растворе щавелевой кислоты (а) и воде (б)



	УП-0633	изо-МТГФА	УП-0633	изо-МТГФА
0	1,56	3,8	1,56	3,8
24	1,8	4	2,2	3,4
35	1	3,7	1,8	3

а)



	УП-0633	изо-МТГФА	УП-0633	изо-МТГФА
0	47,2	39,5	47,2	39,5
24	40,3	39,4	43,2	38,6
35	36	38,6	38,9	37,6

б)

Рис. 3. Влияние воды (1, 2) и водного раствора щавелевой кислоты (3, 4) на структурные – n_c (а) и деформационно-прочностные характеристики y_p (б) полимеров

эпоксиангидридных полимеров при экспозиции в воде структурный параметр – $\mathbf{n_c}$ увеличивается, а при выдержке в водном растворе щавелевой кислоты – снижается. При дальнейшей экспозиции (с 24 до 35 суток) аминных и ангидридных ЭП их структура $(\mathbf{n_c})$ изменяется значительно. Некоторое увеличение $\mathbf{n_c}$ на начальной стадии, очевидно, можно объяснить доотверждением композиции, а последующее ее снижение – гидролитическим действием воды и водного раствора щавелевой кислоты [12]. При воздействии агрессивной среды $\boldsymbol{\sigma_p}$ композиций снижается, что особенно заметно у аминоэпоксиполимеров, а у эпоксиангидридных полимеров $\boldsymbol{\sigma_p}$ уменьшается незначительно.

Таким образом, полученные результаты показали, что полимерные материалы на основе эпоксидных олигомеров достаточно устойчивы к биоповреждению. Исходя из этого, можно сделать вывод о целесообразности разработки различных модифицированных эпоксидных материалов в качестве защитных покрытий бетонных и железобетонных конструкций от биокоррозии.

Литература

1. Карпенко Н.И., Ерофеев В.Г., Смирнов В.Ф., Морозов Е.А., Богатов А.Д. Проблема биоповреждений и биозащиты строительных

материалов, изделий и сооружений // Материалы международной научно-технической конференции «Биоповреждения и биокоррозия в строительстве». – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004. – С. 6-11.
2. Сломатов В.И., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф, Семичева А.С., Морозов Е.А. Биологическое сопротивление материалов. – Саранск: Типография Мордов. ун-та, 2001, – 172 с.
3. Скороходов В.Д. Защита неметаллических строительных материалов от биокоррозии: Учеб. Пособие / В.Д. Скороходов, С.И. Шестакова. – М.: Высшая школа, 2004. – 204 с.
4. Строганов В.Ф., Куколева Д.А., Ахметшин А.С., Строганов И.В. Биоповреждение полимеров и полимерных композиционных материалов // Клеи, герметики, технологии, 2009, № 2. – С. 21-25.
5. Строганов В.Ф., Куколева Д.А., Ахметшин А.С., Строганов И.В., Хабибуллин И.Г. Сравнительный анализ методов исследования процессов биокоррозии полимеров // Клеи, герметики, технологии, 2009, № 2. – С. 25-28.
6. Белоконь Н.Ф., Тетевосян Е.Л., Филатов И.С. и др. Влияние биокоррозии на некоторые свойства пластических масс // Пластические массы, 1972, № 7. – С. 69-71.
7. Нюкша Ю.П. Действие на бумагу продуктов обмена веществ грибов // Проблемы биологических повреждений и сооружений. – М.: Наука, 1972. – С. 55-70.
8. Анисимов А.А., Смирнов В.Ф., Семичева А.С. Биохимические основы грибостойкости полимерных материалов // Микроорганизмы и низшие растения – разрушители материалов и изделий. – М.: Наука, 1979. – С. 16-27.
9. Строганов В.Ф., Куколева Д.А., Ахметшин А.С., Строганов И.В., Хабибуллин И.Г. Влияние воды и водного раствора карбоновых кислот на свойства эпоксидных полимерных материалов // Клеи, герметики, технологии, 2009, № 4. – С. 27-31.
10. Пактер М.К., Парамонов Ю.М., Белая Э.С. Структура Эпоксиполимеров. – М.: НИИТЭХИМ, 1984. – 45 с.
11. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений. – М.: Химия, 1981. – 285 с.
12. Thomson K.W. e.a. Polymer Engng. Sci., 1984, v. 24, № 16, p. 1270.

УДК 691.328

Д.Г. Сагдатуллин – аспирант
Тел.: 89196366269, e-mail: dinar-207@mail.ru
Н.Н. Морозова – кандидат технических наук, доцент
В.Г. Хозин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНЫХ СУСПЕНЗИЙ КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО И ЕГО КОМПОНЕНТОВ

АННОТАЦИЯ

В статье показаны водоредуцирующие активности гипер-, супер-и пластификаторов в водноминеральных суспензиях композиционного гипсового вяжущего (КГВ) и его компонентов. Установлено положительное влияние термоактивации цеолитсодержащей породы на реологические характеристики ее водной суспензии и прочностные свойства КГВ. Показана концентрационно-водоредуцирующая чувствительность к гипер-супер-и пластификаторам кремнеземсодержащих и алюмосиликатных систем. Подобрано оптимальное содержание химической добавки для получения высокоподвижного (расплыв по Суттарду более 165 мм) и высокопрочного КГВ (прочность на сжатие до 50 МПа).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: композиционное гипсовое вяжущее, химические добавки, реологические характеристики.

D.G. Sagdatullin – post-graduate student
Tel.: 89196366269, e-mail: dinar-207@mail.ru
N.N. Morozova – candidate of technical sciences, 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 RESEARCH OF RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF COMPOSITE GYPSOUS BINDING AGENT AND IT'S COMPONENTS

ABSTRACT

The article shows water-reducing activity of hyper-, super-and plasticizers in hydro-mineral dispersion of composite gypsous binding agent (CGBA) and it's components. The posi-tive influence of thermo-activation of celitcontaining rock on it's rheological behavior and stenght properties of CGBA was specified. Concentration water-reducing sensitiveness to hyper-, super-and plastisizers of silicon-containing and aluminosilicate systems was shown. The optimal content of chemical modifying agent for getting highly mobile (melting by Suttard is more than 165 mm) and high-strength CGBA (strength for compressin is up to 50 MPa) was selected.

KEYWORDS: composite gypsous binding agent, chemical modifying, rheological behavior.

Композиционное гипсовое вяжущее (КГВ) – многокомпонентная сухая смесь строительного гипса и цемента с активными минеральными и химическими добавками, высокие технологические и эксплуатационно-технические характеристики которого определяются не только оптимальным соотношением компонентов, но и видом функциональных модификаторов и необходимой подготовкой всех компонентов [1, 2, 3].

Для получения высокопрочного КГВ решалась задача немеханического дезагрегирования минеральных частиц и установления предельно-концентрированных литьевых дисперсных систем с высокой концентрацией твердой фазы.

Основными компонентами КГВ явились: гипс строительный марки Г-6 Аракчинского гипсового завода РТ; портландцемент марки ПЦ500Д0 производства ОАО «Вольскцемент» и функционально значимые активные минеральные добавки, роль которых состоит в обеспечении долговечности композиционно-гипсового камня. В качестве активных минеральных добавок (АМД) в рассматриваемой работе использованы порошки следующих групп:

Таблица 1

Водоредуцирующая активность химических модификаторов в различных минерально-водных системах

№ пп	Наименование порошка	Наименование пластификатора	В/Т	Водоредуцирующий индекс [4], ($В_д$)	$\Delta В_д$, %	Плотность суспензии, кг/м^3
1.	Микрокремнезем (МК)	-	1,60	-	-	1218
2.		*С-3*	*0,73*	*2,18*	*54,2*	*1374*
3.		Melflux2651F	2,07	0,77	-29,2	1190
4.	Биокремнезем (БК)	-	1,03	-	-	1335
5.		*С-3*	*0,86*	*1,21*	*17,1*	*1327*
6.		Melflux2651F	1,11	0,93	-6,7	1317
7.		*ЛСТ*	*0,76*	*1,36*	*26,4*	*1375*
8.		ПБ-2000	0,78	1,33	24,8	762
9.	Цеолитсодержащая порода (ЦСП)	-	*1,33*	-	-	*1334*
10.		*С-3*	*1,40*	*0,95*	*-5,0*	*1325*
11.		Melflux2651F	1,53	0,87	-15,0	1304
12.		*ЛСТ*	*1,23*	*1,08*	*7,5*	*1358*
13.		ПБ-2000	0,90	1,48	32,5	1112
14.	Термоактивированная цеолитсодержащая порода	-	*0,93*	-	-	*1449*
15.		*ЛСТ*	*0,77*	*1,22*	*17,8*	*1432*
16.		ПБ-2000	0,76	1,23	18,5	1090
17.	Гальваношлам (ГШО-1)	-	*1,23*	-	-	*1347*
18.		*С-3*	*1,23*	*1,00*	*0*	*1347*
19.		Melflux2651F	1,24	0,99	-0,8	1340
20.	Гальваношлам (ГШО-2)	-	*1,23*	-	-	*1315*
21.		*С-3*	*1,23*	*1,00*	*0*	*1315*
22.		Melflux2651F	1,10	1,12	10,8	1393
23.	Карбонатная порода (КП)	*0,51*	-	-	-	*1666*
24.		*С-3*	*0,45*	*1,13*	*11,7*	*1728*
25.		Melflux2651F	0,46	1,11	10,2	1712
26.	Золошлам гидроудаления (ЗШО)	-	*0,37*	-	-	*1780*
27.		*С-3*	*0,29*	*1,30*	*23,2*	*1821*
28.		Melflux2651F	0,25	1,52	34,1	1913
29.	Портландцемент (ПЦ)	-	*0,38*	-	-	*1959*
30.		*С-3*	*0,28*	*1,37*	*26,9*	*2065*
31.		Melflux2651F	0,14	2,8	64,2	2329
32.	Гипсовое вяжущее (Г)	-	*0,57*	-	-	*1637*
33.		*С-3*	*0,33*	*1,15*	*40,9*	*1661*
34.		Melflux2651F	0,33	1,69	40,9	1869
35.	Известь гашеная (И)	-	*0,48*	-	-	1329
36.		*С-3*	*0,35*	*1,31*	*23,6*	1381
37.		Melflux2651F	0,20	2,38	57,9	1438

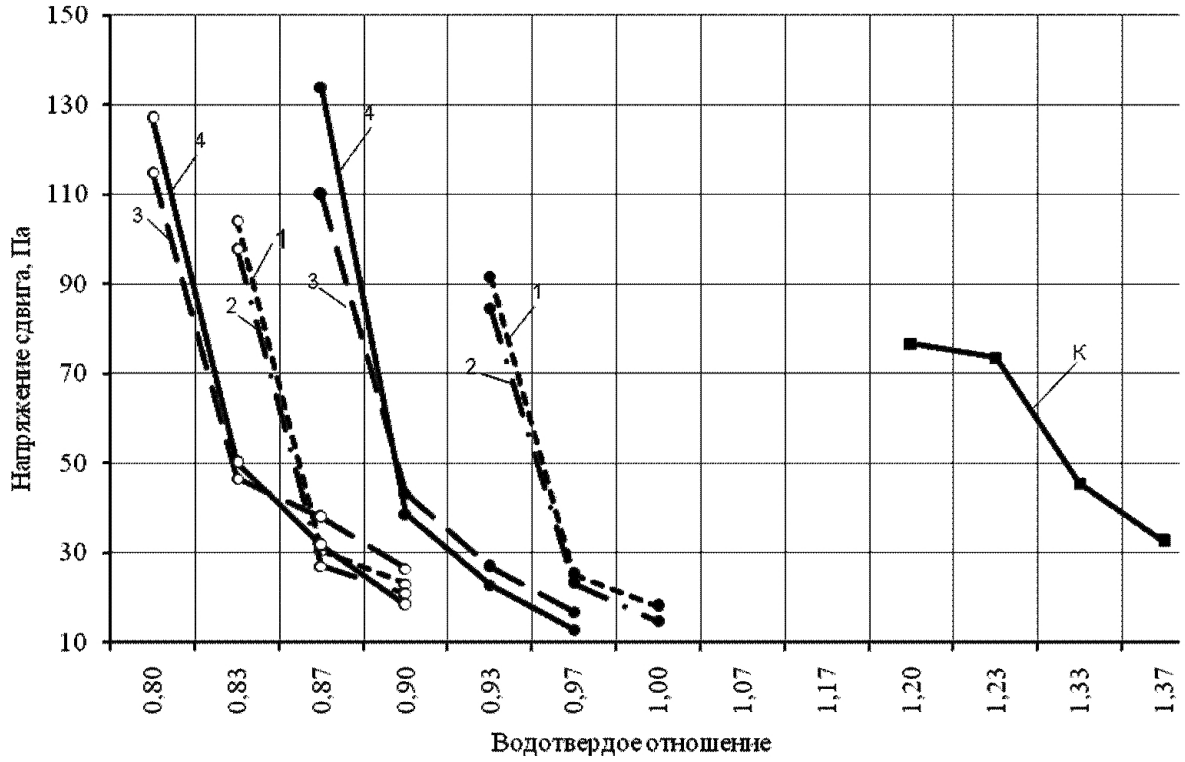


Рис. 1. Зависимость напряжения сдвига от В/Т отношения модифицированной водной суспензии ЦСП с добавкой ПБ-2000, где количество добавки: 1 – 0,15 %; 2 – 0,5 %; 3 – 1 %; 4 – 3 %.
Способ введения добавки: ● – традиционный; **0** – предадсорбционный; "К" – контрольный

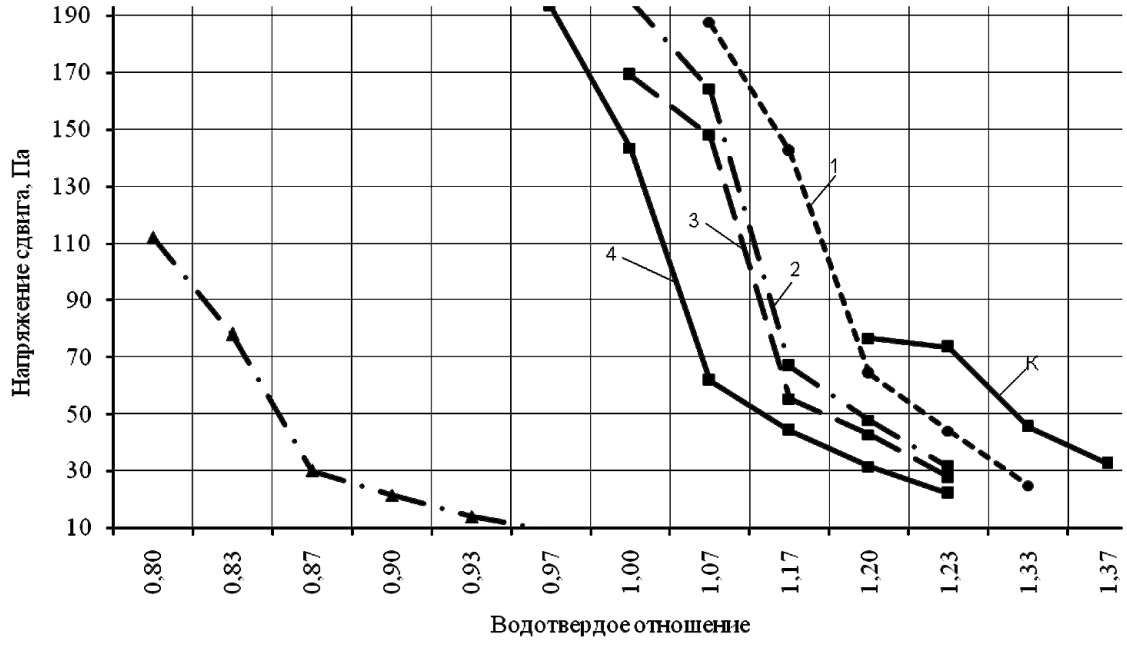


Рис. 2. Зависимость напряжения сдвига от В/Т отношения модифицированной водной суспензии ЦСП с добавкой ЛСТ
1 – 0,15 %; 2 – 0,5 %; 3 – 1 %; 4 – 3 %.
● – традиционный; р – традиционный способ введения ПБ-2000 (0,5 %) с пеногасителем (6 %) и без ЛСТ;
"К" – контрольный

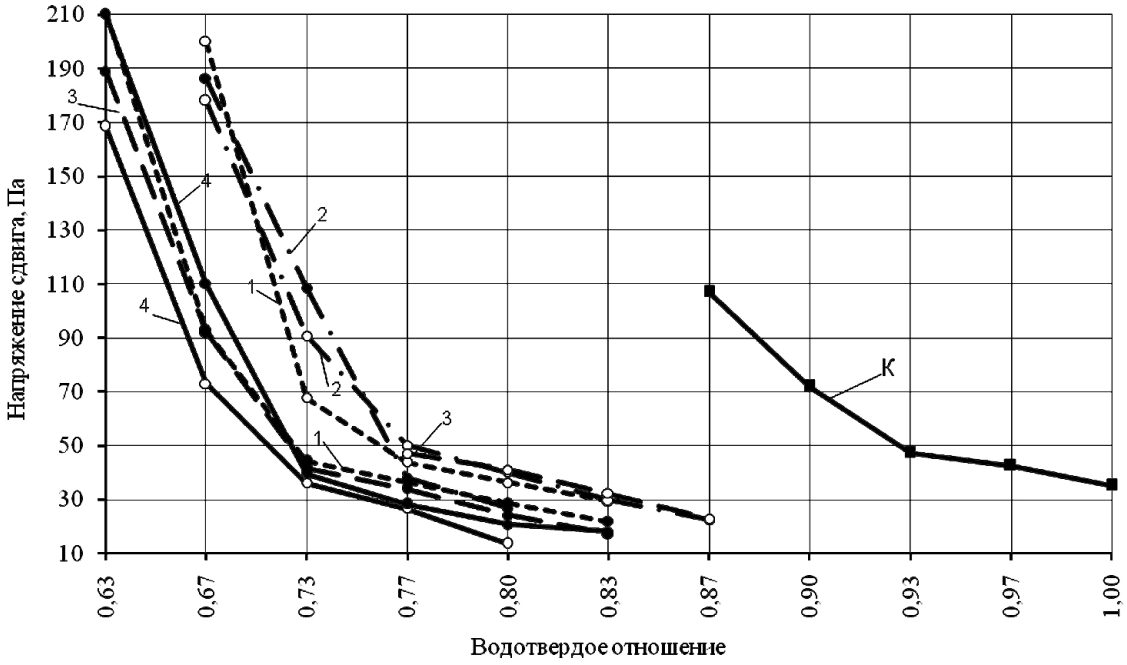


Рис. 3. Зависимость напряжения сдвига от В/Т отношения модифицированной водной суспензии термоактивированной ЦСП с добавкой ПБ-2000
1 – 0,15 %; 2 – 0,5 %; 3 – 1 %; 4 – 3 %.
● – традиционный; **0** – предадсорбционный; “К” – контрольный

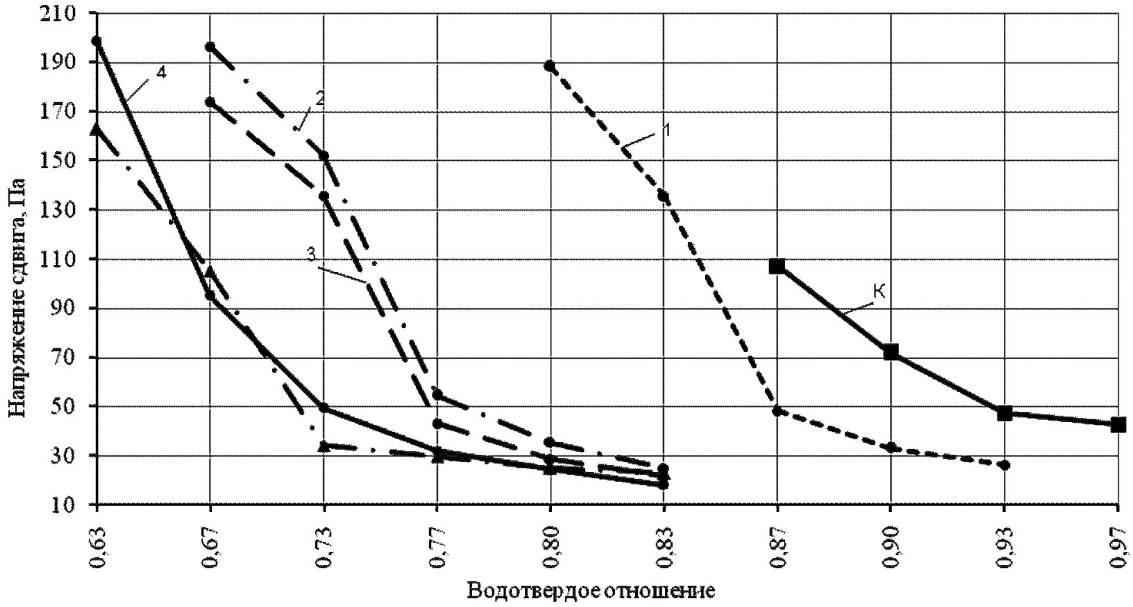


Рис. 4. Зависимость напряжения сдвига от В/Т отношения модифицированной водной суспензии термоактивированной ЦСП с ЛСТ
1 – 0,15 %; 2 – 0,5 %; 3 – 1 %; 4 – 3 %.
● – традиционный; р – традиционный способ введения ПБ-2000 (0,5 %) с пеногасителем (6 %) и без ЛСТ;
“К” – контрольный

– кремнеземсодержащие: «Биокремнезем» (БК) Ульяновского диатомитового комбината, микрокремнезем марки МК-85 (МК) Липецкого металлургического комбината, золошлам гидроудаления (ЗШО) от сжигания угля Казанской ТЭЦ-2;

– алюмонатриевые – отходы гальванических производств г. Казани (ГШО-1) и г. Наб. Челнов (ГШО-2);

– алюмосиликатные – цеолитсодержащая порода (ЦСП) Татарско-Шатрашанского месторождении РТ в виде сухого и термоактивированного порошков;

– карбонатсодержащие – отсевы дробления карбонатного щебня (КП) Потанихенского месторождения РТ в виде сухого порошка.

В качестве химических добавок применяли гиперпластификатор Melflux 2651F, суперпластификатор – С-3, дозировка которых составила 0,5 % от массы вяжущего; лигносульфонат технический ЛСТ и синтетический пенообразователь ПБ-2000 с дозировками от 0,15 до 0,5 % от массы порошка.

Результаты реологических исследований минерально-водных компонентов КГВ, которые получены на равноподвижных минерально-водных суспензиях, представлены в табл. 1.

Известная закономерность [5] высокой активности гиперпластификатора Melflux 2651F по сравнению с суперпластификатором С-3 в цементных суспензиях не проявляется в гипсовой суспензии. Как видно из табл. 1, для суспензии гипсового вяжущего значения водоредуцирующего эффекта при использовании Melflux2651F и С3 составляют соответственно 13,2 % и 40,9 %, что в 2 раза меньше по сравнению с цементной суспензией.

Также из приведенной выше таблицы видно, что наибольшее снижение водопотребности модифицированных воднодисперсных систем, оцениваемое по водоредуцирующему эффекту (“Вд) [3], достигается в кремнеземсодержащих АМД при введении суперпластификатора С-3, и этот эффект составляет 54 % для МК, для ЗШО-23,2 % и БК-17,1 %. Модификация кремнеземсодержащих АМД гиперпластификатором резко снижает подвижность водно-минеральных суспензий и повышает В/Т отношение. Аналогично ведет себя Melflux 2651F и в суспензиях из ЦСП и ГШО1. Умеренная пластификация от Melflux 2651F проявляется в карбонатной породе и ГШО2. Водная суспензия из ЦСП слабо пластифицируется добавкой ЛСТ, но сильно – ПБ 2000. Применение ПБ-2000 способствует снижению плотности суспензии на 18...20 % для ЦСП и на 23...25 % для термоактивированной ЦСП [6].

Таким образом, высокая реологическая активность суперпластификатора С-3 в водной суспензий проявляется в МК, а гиперпластификатора Melflux 2651F – в ЗШО. Сложная по вещественному составу ЦСП пластифицируется только пенообразователем или ЛСТ.

Для выявления наилучшего разжижения водной суспензии ЦСП была изменена процедура введения добавок и их дозировка. В качестве модификаторов были выбраны ПБ-2000 и ЛСТ, их дозировки составляли 0,15 %, 0,5 %, 1 % и 3 % от массы сухого вещества. Способы введения добавок: а) традиционный – введение добавки через воду затворения; б) предадсорбционный – водный раствор добавки вводили в порошок, перемешивали и полученную

Таблица 2

Физико-механические свойства КГВ

№ пп	Вид АМД	Вид и количество химической добавки, % от массы вяжущего		В/Т отношение	Расплыв по Суттарду, мм	Прочность на сжатие в возрасте 7 сут. (высушенные до постоянной массы), МПа	Средняя плотность, кг/м^3	Коэффициент размягчения
		ЛСТ	Melflux 2651F					
1.	ЦСП	-	0,5	0,39	165	25,8	1490	0,63
2.	Термоактивированная ЦСП	-	0,5	0,29	160	38,7	1850	0,80
3.		0,4	0,5	0,24	250	52,2	1935	0,81
4.	БК	0,4	0,5	0,24	190	46,9	1850	0,89
5.	МК	0,4	0,5	0,24	190	53,6	1900	0,95
6.	МК	0,4	0,5	0,22	190	54,8	1970	0,98

суспензию в последующем сушили для удаления влаги; и в) традиционный, но совместно с пеногасителем. Результаты исследований представлены на рис. 1-4. В качестве контрольного состава использована водно-минеральная суспензия без химических добавок.

Анализ рис.1-4 показывает, что смещение значений равновесного предельного напряжения сдвига, при условии сохранения постоянного расплыва по вискозиметру Суттарда, в исследуемых суспензиях наблюдается в сторону малых значений В/Т отношения и оно тем ближе к нулю, чем больше модификатора (ЛСТ или ПБ-2000), как для обычной ЦСП, так и для термоактивированной ЦСП. В большей степени такое смещение наблюдается в присутствии ПБ-2000, введенного по второму методу. В этом случае В/Т уменьшается с 1,33 до 0,83, т.е. на 37,6 %, тогда как по традиционному способу – только на 32 %. Селективное действие термоактивированной ЦСП в присутствии ПБ-2000 также ведет к уменьшению водотвердого отношения с 0,93 до 0,73 независимо от способа введения добавки. Кривые напряжения сдвига от В/Т отношения для третьего способа совпадают с кривыми для второго способа, что говорит об отсутствии влияния образующейся пены на подвижность водной суспензии ЦСП.

Таким образом, наилучший эффект пластификации водной суспензии ЦСП возможен при предадсорбционном введении химической добавки с дополнительной его термообработкой. Физико-механические свойства полученных КГВ представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, введение комплексного модификатора усиливает водоредуцирующий эффект и способствует получению высокопрочного КГВ на рядовых гипсовых и цементных вяжущих и увеличению его коэффициента размягчения. Термоактивация ЦСП позволяет снизить В/Т на 26 % и повысить прочность на 50 %.

Литература

1. Волженский А.В., Стамбулко В.И., Ферронская А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. – М.: Издательство литературы по строительству, 1971. – 318 с.
2. Ферронская А.В. Долговечность конструкций из бетона и железобетона. – М.: Издательство АСВ, 2006. – 360 с.
3. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. – М.: Издательство Ассоциации вузов, 2006. – 368 с.
4. Калашников В.И., Коровкин М.О., Кузнецов Ю.С. Методические указания к лабораторным работам по курсу “Вяжущие вещества”. – Пенза, 1995. – 17 с.
5. Калашников В.И. Основы пластифицирования минеральных систем для производства строительных материалов // Автореферат докт. дисс. на соиск. степени д.т.н. – Воронеж, 1996. – 90 с.
6. Сагдатуллин Д.Г., Хозин В.Г., Морозова Н.Н. Влияние полимерных добавок на реологические характеристики минеральных воднодисперсных систем // Материалы научных трудов Третьих Воскресенских чтений «Полимеры в строительстве». – Казань: КГАСУ, 2009. – С. 97-98.

УДК 691.175
И.А. Старовойтова – кандидат технических наук, ассистент
Тел.: 89173929302, e-mail: irina-starovoitova@yandex.ru
Л.А. Абдрахманова – доктор технических наук, профессор
В.Г. Хозин – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций
Л.М. Кузнецова – старший преподаватель
Э.М. Ягунд – кандидат химических наук, доцент
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ГИБРИДНЫХ ОРГАНО-НЕОРГАНИЧЕСКИХ СВЯЗУЮЩИХ ТЕРМОАНАЛИТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ*

АННОТАЦИЯ
В работе исследованы структура и свойства гибридных органо-неорганических связующих методами дифференциальной сканирующей калориметрии, термического и термомеханического анализа. Выявлены закономерности изменения температур фазовых превращений и теплостойкости от состава и химической структуры связующих.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гибридные связующие, оптимизация, метод главных компонент, нелинейная регрессия на главные компоненты.

I.A. Starovoytova – candidate of technical sciences, assistant
Tel.: 89173929302, e-mail: irina-starovoitova@yandex.ru
L.A. Abdrakhmanova – doctor of technical sciences, professor
V.G. Khozin – doctor of technical sciences, professor, head of Technologies of the Building Materials, Product and Designs department
L.M. Kuznetsova – senior lecturer
E.M. Yagund – candidate of chemical sciences, associate professor
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

RESEARCH ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF HYBRID BINDERS BY THERMOANALITICAL METHODS

ABSTRACT
In this paper structure and properties hybrid organic-inorganic binders are investigated by methods of differential scanning calorimetry, the thermal and thermomechanical analysis. Laws of change of temperature of phase transformation and thermostability from composition and chemical structure of binders are revealed.

KEYWORDS: hybrid binders, organic-inorganic systems, structure, thermostability, thermal analysis, differential scanning calorimetry.

Теплостойкие полимерные композиционные материалы (ПКМ) предназначены для использования при высоких температурах. Теплостойкость определяется падением модуля упругости материала с повышением температуры и характеризуется температурой, при которой жесткость образца снижается до предельно допустимого значения (материал перестает быть жестким).

Теплостойкость ПКМ повышается с возрастанием их температур стеклования или плавления. В меньшей степени на теплостойкость влияют степень кристалличности и наличие пространственной сетчатой структуры. Наиболее часто для оценки теплостойкости ПКМ используют такие характеристики, как температура размягчения термопластов по Вика (теплостойкость по Вика) и теплостойкость по Мартенсу [1].

Огнестойкими полимерными композиционными материалами иначе называют ПКМ с пониженной горючестью. Изделия из материалов на основе полимеров в процессе эксплуатации редко подвергаются воздействию пламени, и их способность

* Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (государственный контракт № П221 от 22.07.2009 г.).

Таблица 1

Составы гибридных связующих

№ состава	Характеристика неорганического компонента (вид, $CM=SiO_2/Na_2O$)	Соотношение органического и неорганического компонентов в связующем ПИЦ:ЖС(ПН)
1	Жидкое стекло (ЖС), CM=2,8	75:25
2	Жидкое стекло, CM=3,1	80:20
3		70:30
4		60:40
5	Жидкое стекло, CM=3,5	80:20
6	Жидкое стекло, CM=3,7	80:20
7	Полисиликат натрия, CM=4,0	85:15
8	Полисиликат натрия, CM=4,5	85:15

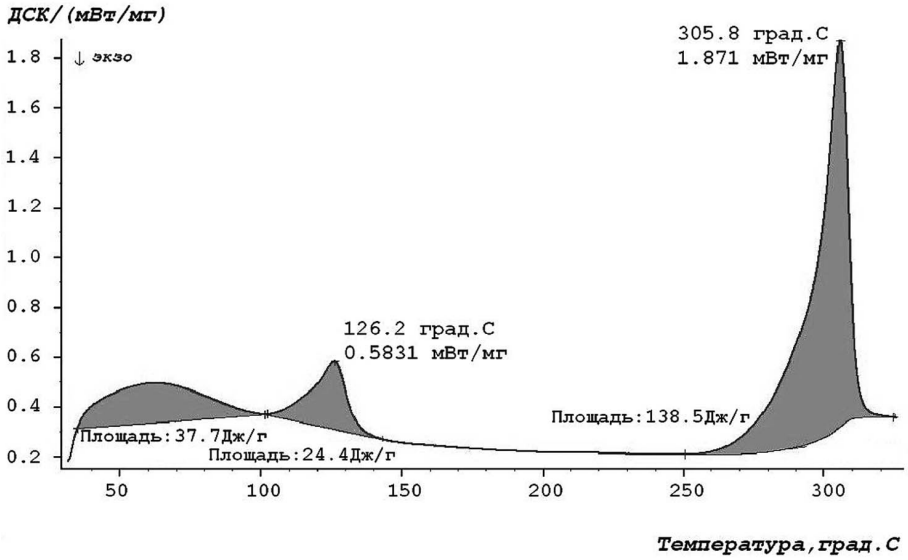


Рис. 1. ДСК для связующего ПИЦ:ЖС (CM=3,1) = 80:20 (состав 2)

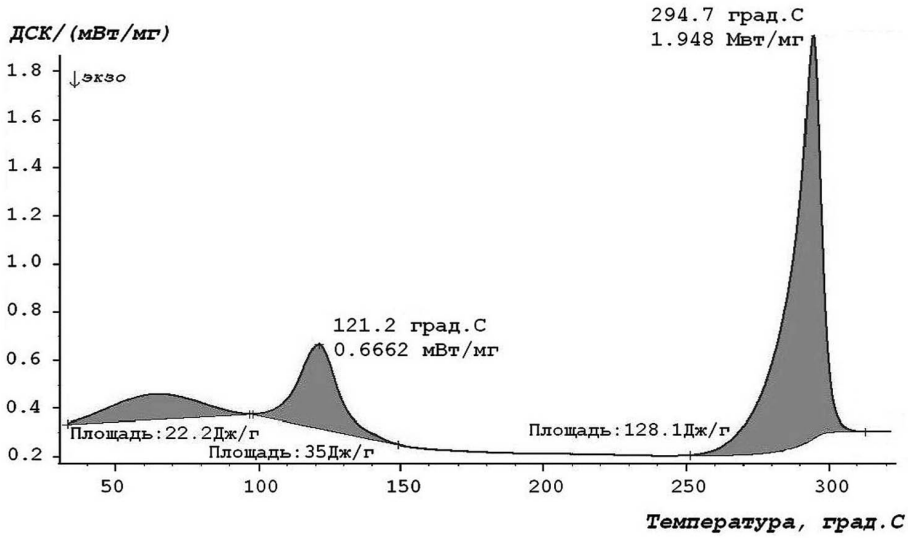


Рис. 2. ДСК для связующего ПИЦ:ЖС (CM=3,1) = 80:20 (состав 3)

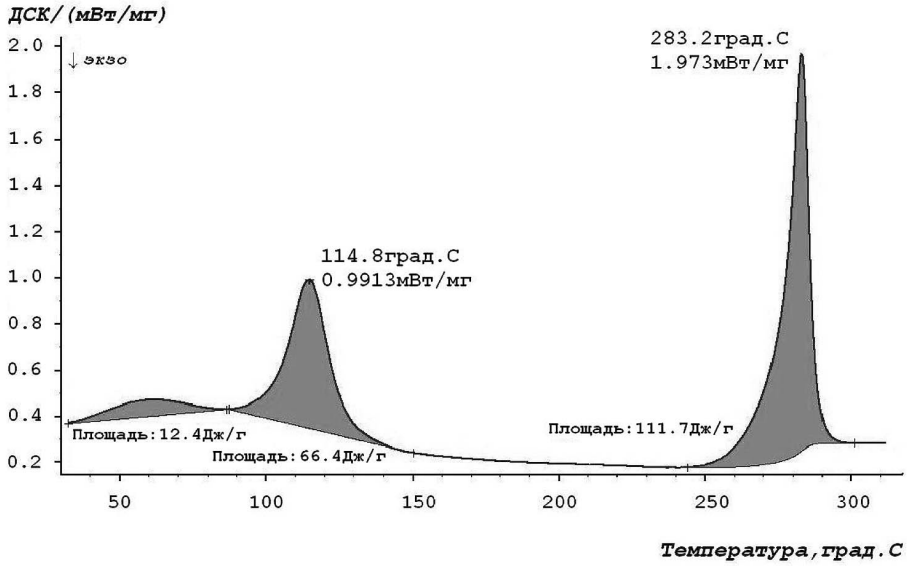


Рис. 3. ДСК для связующего ПИЦ:ЖС (СМ=3,1) = 80:20 (состав 4)

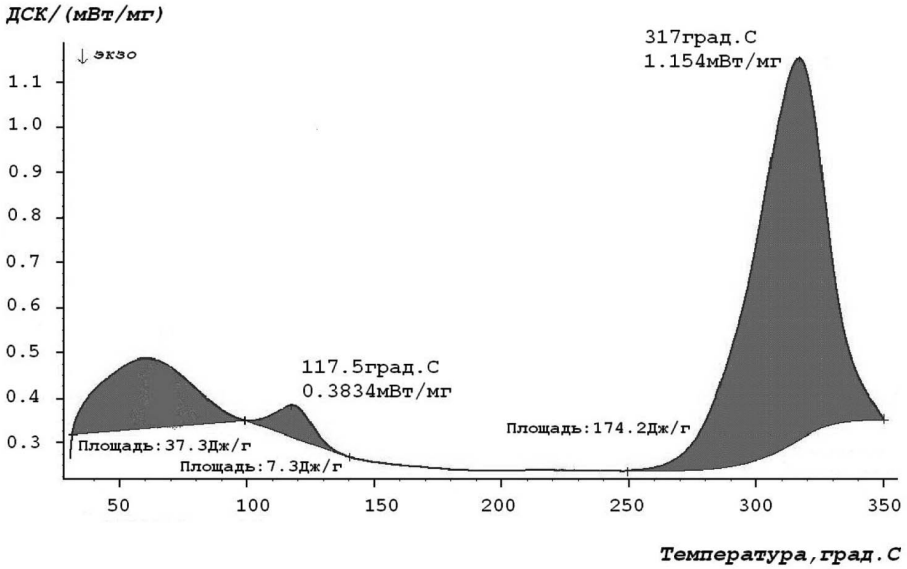


Рис. 4. ДСК для связующего ПИЦ:ПН (СМ=4,5) = 85:15 (состав 8)

Таблица 2

Данные термического анализа образцов, связующих на жидком стекле (СМ=3,1)

№	СМ	ПИЦ:ЖС	Первый эндоэффект		Второй эндоэффект		Третий эндоэффект	
			Т-ный интервал, ^{0}С	Потеря массы, %	Т-ный интервал, ^{0}С	Потеря массы, %	Т-ный интервал, ^{0}С	Потеря массы, %
1	3,1	80:20	50-100	4,3	100-150	3	250-320	13
2	3,1	70:30	50-100	3,7	100-150	3	250-310	12
3	3,1	60:40	50-100	6,3	85-140	6	245-300	11

противостоять горению становится важной характеристикой только в экстремальных условиях пожара. Тем не менее, повышенные требования по огнестойкости в настоящее время являются обязательными при применении полимерных материалов в строительстве, в авиа- и машиностроении, электротехнике и других областях промышленности.

Горючесть полимерных материалов заметно снижается при введении в них негорючих минеральных или стеклянных наполнителей. Однако для перевода материала из группы горючих в группу негорючих или самозатухающих материалов этого недостаточно. Для этого необходимо добавлять в полимерные композиции специальные вещества – антипирены. Наиболее часто с этой целью используют хлорпарафины и другие галогенсодержащие соединения в сочетании с оксидом сурьмы, гидроксиды металлов (в первую очередь, гидроксид алюминия), а также производные фосфорной и борной кислот.

Альтернативой использования наполнителей и антипиренов с целью снижения горючести и повышения термо- и теплостойкости ПКМ, на наш взгляд, может быть разработка гибридных органо-неорганических связующих.

Ранее нами были разработаны составы гибридных связующих на основе полиизоцианата и водных растворов силикатов натрия (жидких стёкол и полисиликатов) с разным силикатным модулем (СМ), изучены их технологические, физико-механические характеристики [2, 3], исследована структура [5]. Установлено [4, 5], что отверждение связующих сопровождается сложными физико-химическими взаимодействиями, в результате которых в состав отверждённых систем входят: полимочевины, полиуретан, триизоцианурат и непрореагировавший изоцианат.

Целью данной работы является исследование поведения отверждённых гибридных связующих при воздействии повышенных температур с привлечением универсальных термоаналитических методов: дифференциальной сканирующей калориметрии, термического и термомеханического анализа.

Для исследований были выбраны составы связующих с соотношением реакционных групп – NCO к –OH около 1:1 (табл. 1). Для оценки влияния соотношения реакционных групп были исследованы составы 2-4 (на жидком стекле с СМ=3,1) с соотношением NCO:OH 1:1, 1:2 и 1:3 соответственно.

Отверждение связующих проводили путём ступенчатой тепловой обработки при 80-100 ^{0}C после предварительной выдержки в течение 10-16 ч. при комнатной температуре (20-25 ^{0}C).

Из представленных данных дифференциальной сканирующей калориметрии (рис. 1-4) видно, что образцы отверждённых связующих имеют два ярко выраженных эндотермических максимума: первый – в области 100-150 ^{0}C, второй – в интервале температур 250-350 ^{0}C.

Ещё один небольшой эндотермический эффект наблюдается в области температур 50-100 ^{0}C. Второй эндотермический максимум (100-150 ^{0}C), скорее всего, связан с расстекловыванием полиуретановой составляющей. Третий эндотермический максимум сопровождает термоокислительную деструкцию мочевинных групп.

Температурные интервалы и потери массы на этих стадиях для образцов связующих на жидком стекле с СМ=3,1, представлены в табл. 2.

Совместный анализ ДСК-данных для образцов, содержащих различное количество ЖС (СМ=3,1) (рис. 2-4), и данных термического анализа (табл. 2) позволяет сделать следующие выводы. При увеличении содержания ЖС в композиции оба эндотермических максимума смещаются в область более низких температур. Так, при увеличении ЖС с 20 до 40 % пик второго теплового эффекта смещается со 126,2 ^{0}C до 114,8 ^{0}C, а третьего теплового эффекта – с 305,8 ^{0}C до 283,2 ^{0}C.

Следует также отметить значительное увеличение относительной площади второго теплового эффекта при росте доли ЖС. Напротив, площадь третьего теплового эффекта с увеличением доли ЖС уменьшается. Такие изменения площадей тепловых эффектов связаны с изменением соотношения соединений, совершающих те или иные переходы в указанных температурных интервалах (100-150^{0}C и 250-350^{0}C).

Таблица 3

Изменение относительного содержания полимерных продуктов реакций в процессе отверждения связующих при 100 ^{0}C

№ состава	Относительное содержание органических продуктов (суммарное количество продуктов реакций принято за 100 %), %, до тепловой обработки/после			
	Полиуретан	Продукт деструкции	Полимочевина	Триизоцианурат
2	48/11	-	20/45	32/44
4	77/17	0/11	18/37	5/35
7	65/9	-	7/40	28/51
8	67/10	-	9/37	28/53

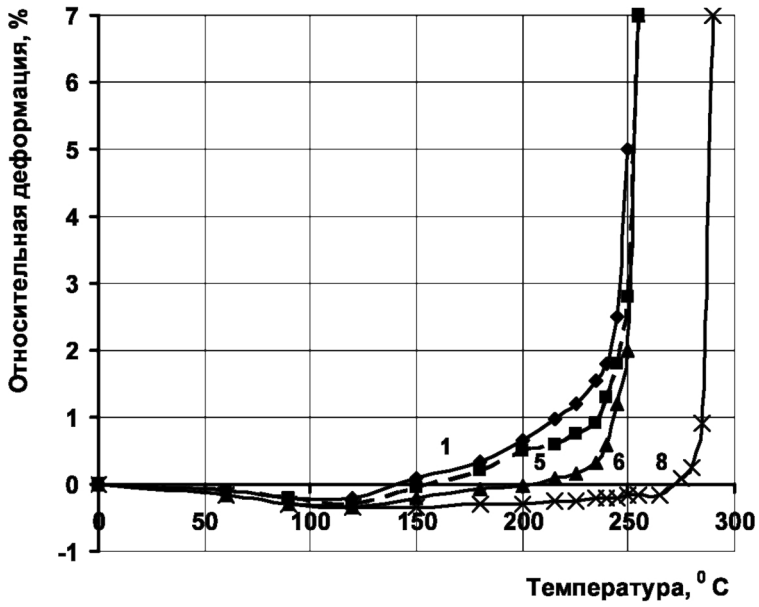


Рис. 5. Термомеханические кривые отверждённых связующих составов 1, 5, 6 и 8 (соотношение NCO:OH=1:1)

Действительно, по данным ИК-спектроскопии, приведённым в табл. 3, в отверждённой композиции, содержащей 40 % ЖС, уретан образуется в большем количестве и появляется новый продукт, содержащий кетонные или альдегидные группы, термическая устойчивость которых также невысока. В то же время при увеличении содержания ЖС с 20 до 40 % доля образующейся полимочевины снижается с 45 до 37 %, несколько снижается и количество образующегося триизоцианурата (термически более устойчивого).

Максимальное смещение в область высоких температур третьего теплового эффекта наблюдается для образца, содержащего полисиликат натрия с СМ=4,5 в количестве 15 % (NCO:OH = 1:1) (рис. 4) – пик приходится на 317 ^{0}С.

На рис. 5 представлены термомеханические кривые (ТМК) отверждённых связующих на жидком стекле с СМ=2,8, 3,5, 3,7 и полисиликате натрия с СМ=4,5 (составы 1,5,6 и 8 соответственно).

Из анализа ТМК следует, что наибольшей теплостойкостью обладают композиции, содержащие наименьшее количество неорганического компонента, но с высоким СМ (рис. 4, состав 8). Это обусловлено преобладанием в продуктах отверждения состава 8 триизоцианатов и полимочевин (табл. 3), отличающихся высокой термостойкостью по сравнению с полиуретанами.

Таким образом, установлено, что отверждённые гибридные связующие на основе полиизоцианата и водных растворов силикатов натрия вполне стабильны при температурах до 200 ^{0}С. Потеря массы при нагреве связующих до 300-320 ^{0}С не превышает 20-23 %. Наиболее устойчивы по отношению к температурному воздействию образцы связующих, содержащие минимальное количество неорганического компонента (15-20 %, NCO:OH = 1:1). Дальнейшее снижение содержания водного раствора силиката натрия (до 10 %) в составе связующего нецелесообразно вследствие формирования неоднородной структуры. Большей термической стабильностью при одном и том же соотношении реакционноспособных групп (NCO:OH = 1:1) обладают связующие на основе полисиликатов натрия.

Литература

1. Марков А.В. Принципы выбора полимерных материалов для изготовления изделий / А.В. Марков, С.В. Власов // Полимерные материалы. Изделия. Оборудование. Технологии, 2004, № 6-8. – С. 17-24.
2. Абдрахманова Л.А. Перспективы использования органоминеральных связующих в строительных материалах / Л.А. Абдрахманова, И.А. Старовойтова, В.Г. Хозин // Строительные материалы, 2007, № 9. – С. 2-4.
3. Старовойтова И.А. Изучение связующих на основе смесей реакционноспособных органических и неорганических олигомеров / И.А. Старовойтова, Л.М. Кузнецова, В.Г. Хозин, Л.А. Абдрахманова // Сб. тезисов Третьей международной школы по химии и физикохимии олигомеров. – Петрозаводск, 2007. – С. 130.
4. Ищенко С.С. Взаимодействие изоцианатов с водными растворами силикатов щелочных металлов / С.С. Ищенко, А.Б. Придатко, Т.И. Новикова, Е.В. Лебедев // Высокомолек. соед., Серия А, том 38, № 5, 1996. – С. 786-791.
5. Старовойтова И.А. Исследование структуры связующих на основе полиизоцианатов и водных растворов силикатов натрия / И.А. Старовойтова // Известия КазГАСУ, 2007, № 2. – С. 89-94.

УДК 691.175
А.М. Сулейманов – доктор технических наук, профессор
Тел.: (843) 510-46-04, e-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)
А.Л. Померанцев – доктор физико-математических наук, профессор
О.Е. Родионова – доктор физико-математических наук, профессор
Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва (ИХФ РАН)

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПРОЕКЦИОННЫМИ МАТЕМАТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ*

АННОТАЦИЯ

Разработана многомерная модель процессов старения материалов мягких оболочек для анализа связей в исследуемых системах и их прогноза. Использованы проекционные математические методы: метод главных компонент (МГК) и метод проекции на латентные структуры (ПЛС).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: многомерная модель, прогнозирование, метод главных компонент, метод проекции на латентные структуры.

A.M. Suleymanov – doctor of technical science, professor
Tel.: (843) 510-46-04, e-mail: alfred-sulejmanov@yandex.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)
A.L. Pomerantsev – doctor of physical-mathematical sciences, professor
O.Y. Rodionova – doctor of physical-mathematical sciences, professor
N.N. Semenov Institute of Chemical Physics, RAS, Moscow

PREDICTION DURABILITY OF MATERIALS BY PROJECTIVE MATHEMATICAL METHODS

ABSTRACT

The multivariate model of processes of ageing of materials is developed for soft environments for the analysis of connections in researched systems and their prediction. Projective mathematical methods have been used: a method of Principal Component Analysis (PCA) and a method of a Projection to Latent Structures (PLS).

KEYWORDS: multivariate model, prediction, method of Principal Component Analysis, a method of a Projection to Latent Structures.

При решении прогностических задач важным этапом является построение *прогнозирующей системы*, т.е. системы методов и средств их реализации. Разнообразие и оптимальное сочетание этих методов и средств зависит от природы и сложности *объекта прогнозирования* – процесса, системы или явления, о состоянии которого делается прогноз. От этих же факторов зависит и выбор *модели прогнозирования*, исследование которой позволяет получить информацию о возможных состояниях объекта прогнозирования. Так, при моделировании сложных физико-химических систем, каковыми являются процессы старения и разрушения различных полимерных материалов и изделий в условиях эксплуатации, можно выделить два принципиально разных подхода:

- содержательное моделирование, так называемые «белые» модели;
- формальное моделирование – «черные модели».

В первом случае детально изучаются процессы, происходящие в системе, и строятся математические модели, обычно в виде дифференциальных или интегрально-дифференциальных уравнений. Далее применяются специальные пакеты и методы для их решения. Во втором случае используется гибкий и достаточно надёжный способ анализа входных (X) и выходных (Y) данных, основанный на многофакторном формальном моделировании. Формально-математический подход особенно эффективен в случаях, когда непонятно, как строить содержательную модель, либо для ее построения и дальнейших вычислений требуются чрезмерные усилия. У каждого подхода есть свои плюсы и минусы, и соотношение

* Работа выполнена в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (государственный контракт № П2462 от 19.11.2009 г.).

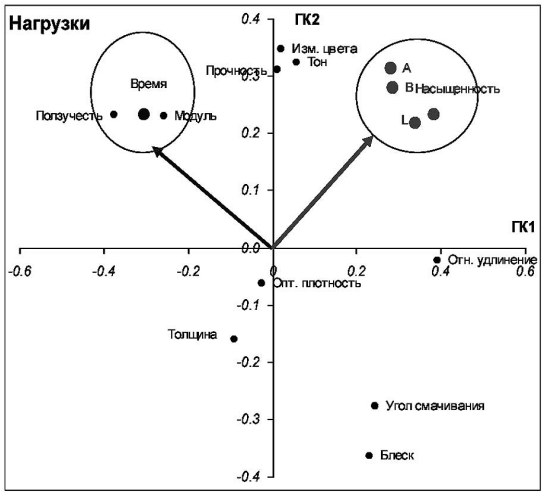


Рис. 1. График нагрузок в ГК1 и ГК2

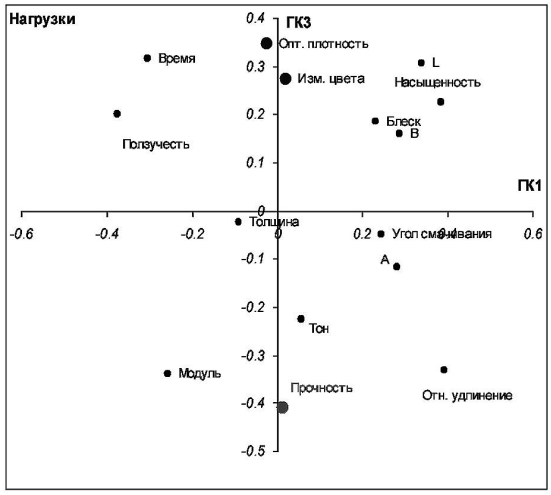


Рис. 2. График нагрузок в ГК1 и ГК3

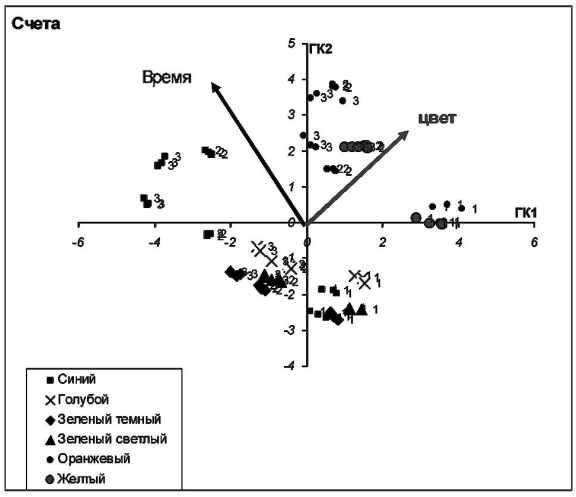


Рис. 3. График счетов по ГК1 и ГК2.
Цвета соответствуют цветам образцов.
Номера соответствуют времени старения:
1-0 час; 2-500 час; 3-1000 час старения соответственно

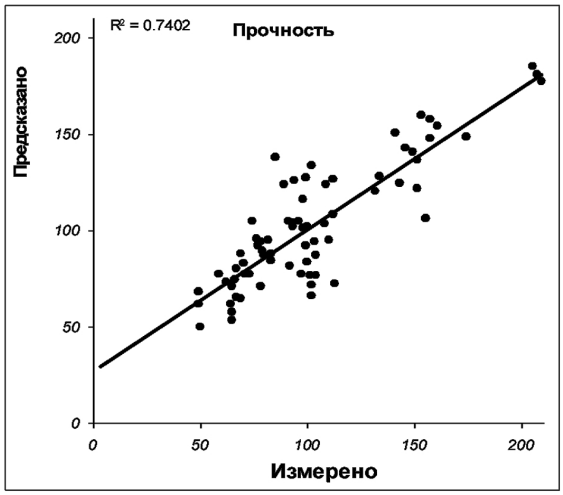


Рис. 4. Зависимость предсказанного значения прочности от измеренного

Таблица 1

Матрица предиктов X			
Условия старения			
Время	Толщина	Нагрузка	Интенсивность
	X_1		

Физические свойства			
Цвет	Блеск	Оптическая плотность	Краевой угол смачивания
	X_2		

PLS

Матрица откликов Y			
Механические свойства			
Прочность	Модуль упругости	Удлинение при разрыве	Ползучесть
	$Y_{тестовые}$		
	$Y_{новые}$		

“белых” и “чёрных” подмоделей в полномасштабной модели исследуемой системы зависит от поставленных задач, уровня наших знаний и научного потенциала в данный период времени.

Для построения содержательных моделей необходимо знание причинно-следственных связей, обуславливающих поведение системы. Для поиска этих связей и научно обоснованной сборки модели необходимо раздельное изучение физических и химических процессов в системе. Для материаловедческих исследований именно такой подход и нужен. Однако, как правило, не всегда удается обойтись только детерминистическими методами. Одно из обстоятельств, обуславливающих принципиальные сложности в моделировании процессов старения и разрушения в различных полимерных композиционных материалах, состоит в том, что эти процессы проходят на различных структурных уровнях с проявлением различных причинно-следственных связей. На сегодняшний день нет общей теории старения и разрушения полимерных композиционных материалов, и качественные переходы в развитии этих процессов ограничивают использование каких-либо единых физических концепций и математических зависимостей при сквозном описании процесса. Ситуация усугубляется также многомерностью и многокритериальностью процессов. И здесь очень эффективно можно применить современные методы анализа многомерных данных, в основе которых лежат проекционные математические методы. Эти методы позволяют выделить в больших массивах данных скрытые (латентные) переменные и анализировать связи, существующие в исследуемой системе. Здесь очень важно отметить, что при таком синтезе «белых» и «черных» моделей формальное моделирование не должно заменять собой содержательное. Методы анализа многомерных данных позволяют получить всеобъемлющее представление о структуре данных, которое, как будет показано ниже, можно охватить одним взглядом.

На примере материалов мягких оболочек (МО) строительного назначения (пневматические и тентовые сооружения) была разработана многомерная модель процессов старения этих типов материалов для анализа связей в исследуемых системах и их прогноза. Для этого были использованы проекционные математические методы: метод главных компонент (МГК) и метод проекции на латентные структуры (ПЛС) [1, 2]. В установках ускоренного старения [3] по разработанным лабораторным режимам [4, 5] были состарены образцы материалов МО различных цветов, т.е. с различным пигментным составом, и различной толщины. В процессе старения определялось изменение физических (цвет, блеск, оптическая плотность, краевой угол смачивания) и механических (прочность, относительное удлинение при разрыве, модуль упругости, ползучесть) характеристик материалов.

По полученным экспериментальным данным в программе *Unscrambler* были построены модели главных компонент и многомерные регрессионные модели для прогнозирования.

На плоскости первых двух главных компонент (ГК1 и ГК2) имеются две группы переменных (рис. 1), вносящих равновеликий вклад в пространство ГК. Первая группа переменных разделяет параметры цвета в колориметрической системе CIE Lab, вторая группа переменных связана со временем старения. Время старения и цвет образца – два ортогональных независимых фактора. Они имеют определяющее значение в модели. Кроме того, в графике счетов (рис. 2) видно разделение образцов на две группы, соответствующие цветовой гамме (1 – сине-зелено-голубые, 2 – желто-оранжевые). Такое расположение цветов на графике счетов (под 45 градусов) говорит о том, что цвет материала (пигментный состав) оказывает сильное влияние и на изменение механических свойств материала в процессе эксплуатации.

Из графика нагрузок (рис. 2) также видно, что блеск отрицательно коррелирует с прочностью. Уменьшение блеска говорит о поверхностной поврежденности материала, что и вызывает падение его прочности. Блеск материала и краевой угол смачивания положительно коррелируют друг с другом (об этом свидетельствует близкое расположение данных показателей на графике нагрузок). То есть поверхностные изменения в материале были замерены двумя методами. Если на графике нагрузок в ГК1 и ГК2 изменение оптической плотности оказывает

Таблица 2

Измеренные и предсказанные значения цветов по результатам теста

Время старения, час	Измерено			Предсказано		
	L	a	b	L	a	b
0	42	-40	30	42	-40	30
500	44	-42	33	46	-33	24
1000	42	-41	32	46	-30	30

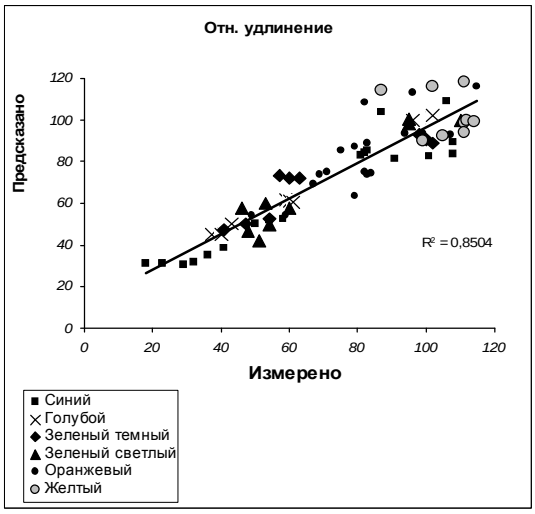


Рис. 5. Зависимость предсказанного значения относительного удлинения при разрыве от измеренного

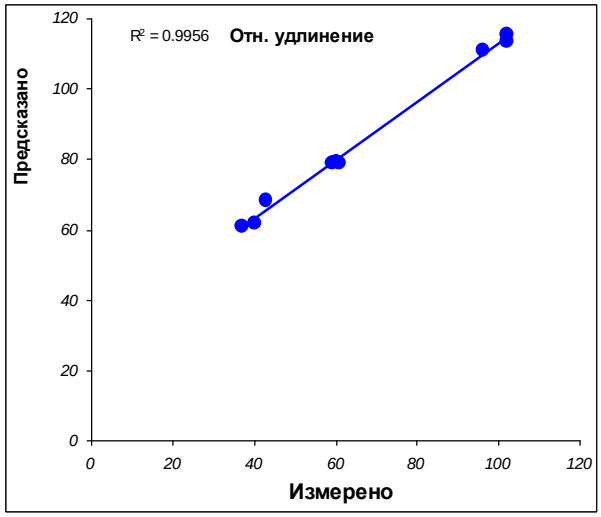


Рис. 6. Зависимость предсказанного значения относительного удлинения при разрыве от измеренного по результатам теста

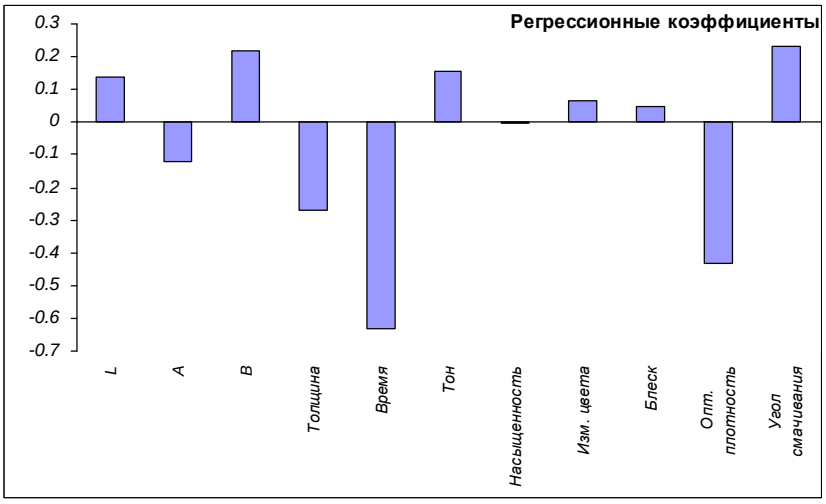


Рис. 7. Регрессионные коэффициенты по относительному удлинению при разрыве

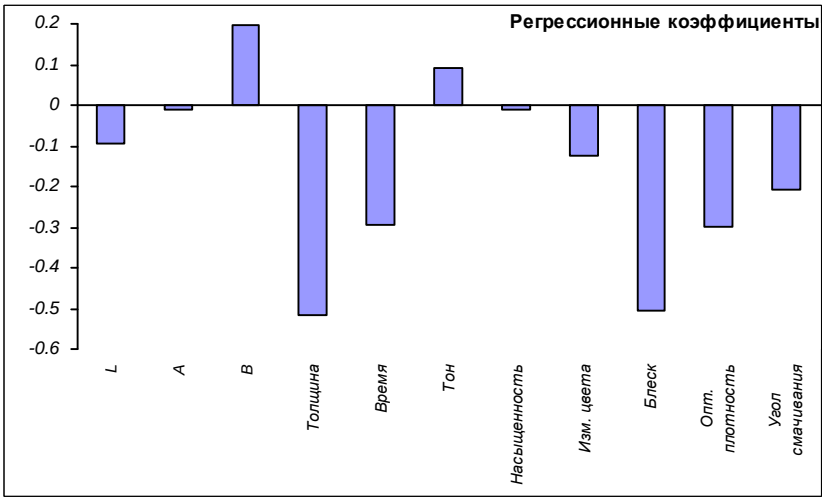


Рис. 8. Регрессионные коэффициенты по прочности при разрыве

незначительное влияние на прочность материала, то в координатах ГК1-ГК3 (рис. 2) видна большая отрицательная корреляция между ними. Следовательно, на изменение прочности материала оказывают влияние как поверхностные явления, так и структурные изменения. Таким образом, для построения модели, связывающей механические и физические свойства, нельзя ограничиваться рассмотрением парных зависимостей, а необходимо учитывать взаимовлияние самых разных факторов. Учесть взаимовлияние факторов возможно, применив метод ПЛС.

Из проведенного МГК-анализа следует, что механические и физические свойства материалов связаны между собой. Это предположение обосновывается наличием характерных корреляционных связей между указанными переменными (например, прочностью и оптической плотностью, рис. 2).

При построении многомерной регрессионной модели для прогнозирования эксплуатационных свойств методом ПЛС в блок независимых переменных ***X*** (табл. 1) были включены следующие факторы: параметры цвета в колориметрической системе CIE Lab; цветовой тон; насыщенность и полное изменение цвета; блеск; краевой угол смачивания; оптическая плотность; толщина образца; время старения. Блок зависимых переменных ***У*** включал механические свойства: прочность; модуль упругости; относительное удлинение при разрыве; ползучесть.

Четыре ПЛС-компоненты хорошо описывают имеющиеся данные. Например, в модели относительного удлинения 70 % изменений ***X*** объясняют 85 % изменений ***У***. На рис. 4 и 5 показаны зависимости предсказанного значения прочности и относительного удлинения от измеренного.

Проверка прогностических способностей построенной модели была проделана следующим образом. Из полного массива набора данных были исключены все данные, относящиеся к образцам материалов голубого цвета. На оставшихся данных была построена модель, которая впоследствии была применена к материалам голубого цвета (тестовый набор). Результат теста приведён на рис. 6. Квадрат коэффициента корреляции равен 0,99. Таким образом, разработанная ПЛС-модель позволяет по измеренным физическим характеристикам материала предсказывать механические характеристики с высокой точностью.

Аналогичная процедура была сделана для предсказания изменения цвета материала. В таблице показано изменение цвета светло-зеленых образцов после 500 и 1000 часов старения в климатической камере.

Как показывают регрессионные коэффициенты (рис. 7 и 8), ни одно свойство не предсказывается каким-либо одним фактором, а является результатом комбинации нескольких факторов.

Литература

1. Esbensen K.H. Multivariate Data Analysis. – In Practice 4-th Ed., CAMO, (2000), 598 p.
2. Sulejmanov, A.M. Optimization of a Structure of a Composite Material by a Method of Data Analysi / A.M. Sulejmanov // Modern Methods of Data Analysis. Fourth Winter Symposium on Chemometrics. – Chernogolovka, 2005. – S. 29-30.
3. Сулейманов А.М. Установка для моделирования воздействия эксплуатационных факторов на материалы мягких оболочек // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – М.: 2005. – Том 71, № 12. – С. 44-46.
4. Сулейманов А.М. Работа, старение и разрушение материалов ограждений мягких оболочек / А.М.Сулейманов // Строительные материалы, 2005, № 11. – С. 62-65.
5. Сулейманов А.М. Исследования эксплуатационных свойств композиционных материалов для мягких оболочек // Материалы докладов Академических чтений РААСН, посвященных 75-летию со дня рождения Ю.М. Баженова. Часть II. – Белгород, 2005. – С. 150-162.

УДК 691.33

М.И. Халиуллин – кандидат технических наук, доцент
Тел.: (843) 236-27-21, e-mail: khaliullin@ksaba.ru
И.Л. Кузнецов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой металлических конструкций и испытания сооружений
E-mail: kuznetsov@ksaba.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)
В.А. Чупрунов – инженер
E-mail: snxm2@list.ru
ЗАО «Казанский Гипрониавиапром»

ОСОБО ЛЕГКИЙ ПЕНОГИПС ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ЛЕГКИХ КАРКАСИРОВАННЫХ ПЛИТ ПОКРЫТИЙ

АННОТАЦИЯ

Разработаны составы эффективных теплоизоляционных пеногипсовых материалов средней плотностью 200-300 кг/м^3. Проведены исследования сравнительной эффективности ряда современных пенообразователей. Исследованы физико-технические свойства пеногипсовых образцов с добавлением полиакриловых волокон. Предложена конструкция легкой ограждающей каркасированной плиты покрытия с применением пеногипса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пеногипс, пенообразователь, ограждающие конструкции, каркасированная плита покрытия.

M.I. Khaliullin – candidate of technical sciences, associate professor
Tel.: (843) 236-27-21, e-mail: khaliullin@ksaba.ru
I.L. Kuznetsov – doctor of technical sciences, professor, chief of the Metal Designs and Test of Constructions department
E-mail: kuznetsov@ksaba.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)
V.A. Chuprunov – engineer
E-mail: snxm2@list.ru
JSC «Kazan Giproniiaviaprom»

ESPECIALLY EASY FOAM PLASTER FOR WARM ISOLATION OF EASY FRAME PLATES OF COVERINGS

ABSTRACT

The structures effective heat insulating foam plaster materials of average density 200-300 kg/m^3 are developed. The researches of comparative efficiency of a line modern foaming agentare carried out. The physicotechnical properties foam of plaster samples with addition polyacrilic of fibres are investigated. The design of an easy protecting frame plate of a covering with application foam plaster is offered.

KEYWORDS: foam plaster, foaming agent, protecting designs, frame plate of a covering.

В последние годы в отечественной строительной практике возрастает интерес к применению гипсовых материалов в качестве элементов архитектурно-строительных конструктивных систем [1, 2], в том числе и как эффективных утеплителей. Этому способствует негорючесть, экологичность, относительная дешевизна материалов на основе гипсовых вяжущих, а также возможность использования местных минеральных ресурсов для их производства.

Целью данной работы стала разработка составов эффективных теплоизоляционных пеногипсовых материалов и конструкции легкой ограждающей каркасированной плиты покрытия с применением пеногипса.

В работе использовался строительный гипс ОАО «Гипсополимер» (г. Пермь) по ГОСТ 125-79 марки Г-6 Б II. Пеногипсовые образцы изготавливались с применением метода сухой минерализации пены [3]. Использовался лабораторный смеситель со скоростью вращения смесительного вала 2000 об/мин.

На первом этапе проведены исследования сравнительной эффективности ряда современных

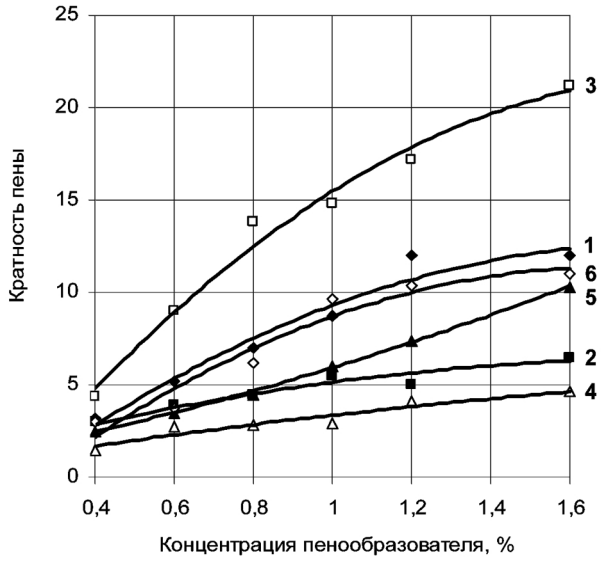


Рис. 1. Зависимость кратности пены от концентрации растворов пенообразователей

1 – t ПБ 2000; 2 – ¢ «Neopor»; 3 – £ «Пеностром»; 4 – r ПО-6ЦТ; 5 – p ПО-6НП; 6 – ¸ ТЭАС

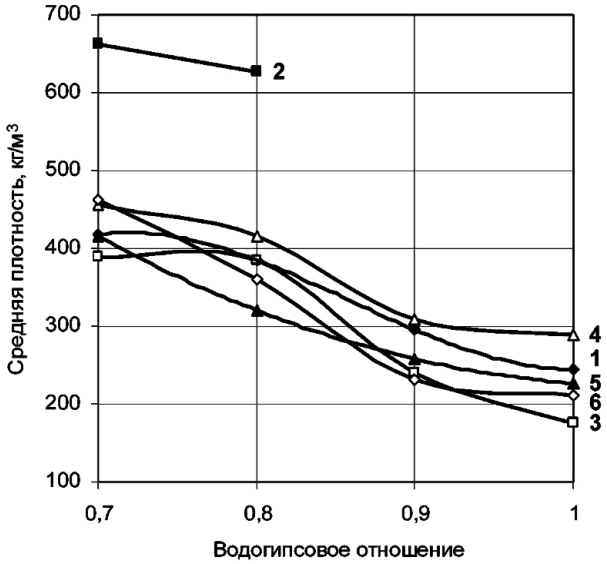


Рис. 2. Зависимость средней плотности пеногипса от вида пенообразователя и водогипсового отношения

1 – t ПБ 2000; 2 – ¢ «Neopor»; 3 – £ «Пеностром»; 4 – r ПО-6ЦТ; 5 – p ПО-6НП; 6 – ¸ ТЭАС

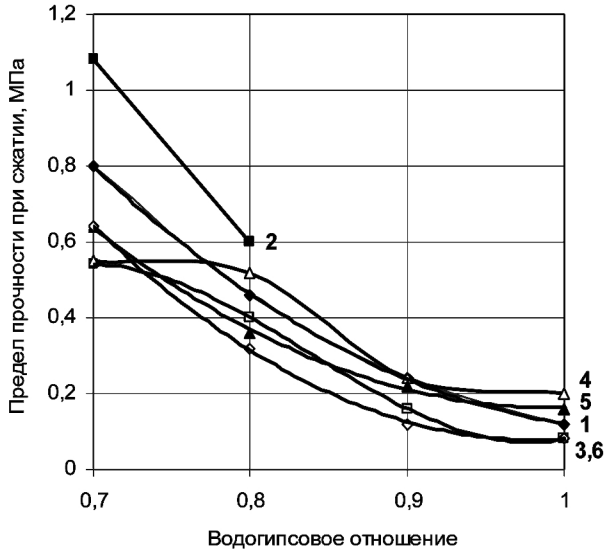


Рис. 3. Зависимость прочности при сжатии пеногипса от вида пенообразователя и водогипсового отношения

1 – t ПБ 2000; 2 – ¢ «Neopor»; 3 – £ «Пеностром»; 4 – r ПО-6ЦТ; 5 – p ПО-6НП; 6 – ¸ ТЭАС

пенообразователей различного химического состава: ПО-6НП (ТУ 38-00-05807999-33-95), ПО-6ЦТ (ТУ 0258-148-05744685-96), ПО-6ОСТ (ТЭАС) (ТУ 2481-006-22299560-00), ПБ 2000 (ТУ 2481-185-05744685-01), «Пеностром» (ТУ 2481-001-22299560-99), белковый пенообразователь фирмы «Neopor» System GmbH (Германия).

Определение оптимальной концентрации пенообразователей проводилось исходя из условия получения устойчивой пены. Исследовалось изменение кратности и стабильности пены в зависимости от расхода пенообразователей. Стабильность определяется как промежуток времени в минутах от окончания процесса взбивания до момента оседания пены на половину высоты.

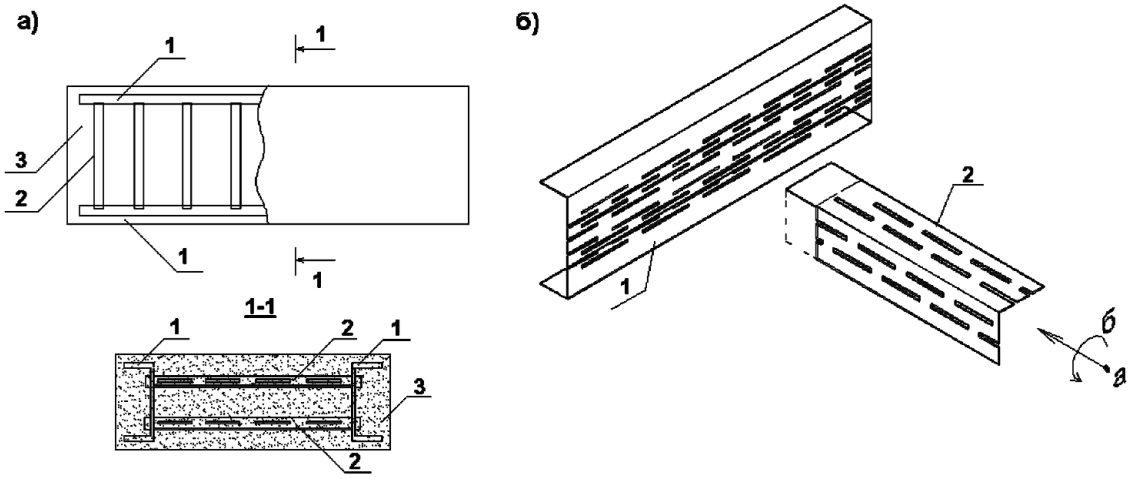


Рис. 4. Каркасированная плита покрытия
1 – продольные металлические ребра с прорезями в стенках;
2 – перфорированные ребра каркаса; 3 – пеногипсовый утеплитель

Результаты исследований (рис. 1) показывают, что с увеличением концентрации пенообразователей в водном растворе в пределах рассмотренного диапазона кратность пены увеличивается. Среди рассмотренных пенообразователей пена наибольшей кратности получена при использовании пенообразователя «Пеностром». Наименьшая кратность пены получена при использовании пенообразователя ПО-6ЦТ.

Наибольшей стабильностью обладает пена, полученная с использованием пенообразователя ПБ 2000 при концентрации более 0,8 %, ПО-6НП при концентрации 1,0-2,0 %, «Пеностром» при концентрации 0,8-1,2 %, ПО-6ОСТ (ТЭАС) при концентрации 0,8-1,2 %, ПО-6ЦТ при концентрации более 1,2 %, пенообразователя фирмы «Neopor» при концентрации 1 %.

На основании результатов проведенных исследований в качестве оптимальных приняты следующие концентрации пенообразователей: ПБ 2000 – 1,2 %, ПО-6НП – 2,0 %, «Пеностром» – 0,8 %, ПО-6ОСТ (ТЭАС) – 1,0 %, ПО-6ЦТ – 1,2 %, пенообразователь фирмы «Neopor» – 1 %.

Далее были проведены исследования влияния вида добавки пенообразователей при оптимальных концентрациях и водогипсового отношения на физико-механические свойства пеногипса. Пределы изменения водогипсового отношения (В/Г) от 0,55 до 0,8 определялись из условия получения пеногипсовой массы литой консистенции с расплывом пеногипсовой массы по вискозиметру Суттарда от 18 до 22 см.

Изготовленные образцы-балочки 4х4х16 см после извлечения из форм в течение 2 часов хранились при температуре 20 ± 2^0С и относительной влажности 60-70 % с последующей сушкой при температуре 50-60^{0}С до достижения постоянной массы.

Представленные на рис. 2, 3 результаты исследований показывают, что для рассмотренных пенообразователей с применением пенообразователей «Пеностром», ТЭАС, ПО-6НП при водогипсовых отношениях 0,85-1,0 может быть получен пеногипс с наименьшей средней плотностью 200-300 кг/м^3, пределом прочности при сжатии 0,08-0,3 МПа.

Принимая во внимание полученные результаты, а также стоимость рассмотренных в работе пенообразователей, предпочтение в дальнейших исследованиях отдано пенообразователю «Пеностром» при концентрации 0,8 %.

Теплопроводность полученных пеногипсовых образцов плотностью 200-300 кг/м^3 определялась с помощью прибора ИТП-МГ-4 и составила 0,08-0,12 Вт/(м · ^{0}С).

Исследованы физико-технические свойства пеногипсовых образцов с добавлением полиакриловых волокон марки «Ricem MC» длиной 4, 8, 12, 24 мм. Количество добавок волокон, вводимых в водный раствор при приготовлении пены, составляло 0,1-0,3 % от массы вяжущего. Установлено, что оптимальным является введение волокон длиной 12 мм в количестве 0,2 % от массы вяжущего. Волокна равномерно распределяются по объему пеногипса и благодаря дисперсному армированию прочность на сжатие по сравнению с контрольными образцами без добавления волокон возрастает на 33 %, прочность на изгиб – на 17 %.

Известны ограждающие конструкции покрытия, включающие продольные профильные металлические ребра, каркас из перфорированных элементов, выполненных из тонкостенных профилей, и утеплитель в виде монолитной плиты [4, 5].

С применением полученного теплоизоляционного пеногипса предложена новая конструкция легкой плиты покрытия с каркасом из термопрофилей (патент

РФ № 2305160, дата приоритета от 29.12.2005; патент РФ № 2342347, дата приоритета от 18.01.2007) [4, 5].

На рис. 4 изображен общий вид предлагаемой конструкции плиты покрытия. Плита покрытия включает стальной каркас из термопрофилей, который размещается в массиве дисперсноармированного пеногипса.

Каркас из термопрофилей включает продольные (1) и поперечные (2) ребра из оцинкованной тонколистовой стали. Крепление ребер каркаса между собой осуществляется путем пропуска и отгиба концов поперечных ребер (2) в имеющиеся отверстия в стенках продольных ребер (1) (рис. 4 б). Собранный стальной каркас замоноличивается в массиве дисперсноармированного пеногипса (3). При этом толщина монолитной плиты больше, чем высота сечения термопрофилей.

Предлагаемая плита обладает высокими теплозащитными и противопожарными свойствами, не требует установки обшивок, а использование тонкостенных элементов, местная устойчивость которых обеспечивается монолитной плитой утеплителя, уменьшает расход металла.

Таким образом, на основании выполненных исследований получены следующие результаты.

Установлены зависимости, отражающие влияние ряда современных синтетических пенообразователей на физико-технические свойства пеногипса. На основании полученных зависимостей произведена оценка сравнительной эффективности пенообразователей, установлены оптимальные виды и дозировки пенообразователей, водогипсового отношения из условия изготовления пеногипсовой массы литой консистенции для получения теплоизоляционного пеногипсобетонов марок по плотности D200-D300, прочностью при сжатии 0,08-0,45 МПа, прочностью при изгибе 0,06-0,3 МПа, теплопроводностью 0,08-0,12 Вт/(м · ^{0}С).

Предложен способ модификации полученного пеногипса, позволяющий повысить показатели физико-механических свойств при введении дисперсноармирующих добавок.

Разработано защищенное патентом РФ № 2342347 новое техническое решение конструкции легкой ограждающей каркасированной плиты покрытия с применением пеногипса, обладающей высокими теплозащитными, противопожарными свойствами, экономичностью благодаря уменьшению расхода металла.

Литература

1. Лосев Ю.Г., Желкевский В.Н. Экологичное, энергосберегающее малоэтажное жилищное строительство на основе гипсовых вяжущих // Материалы II Всероссийского семинара с международным участием «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий». – М.: Изд-во «ЛМ-ПРИНТ», 2004. – С. 49-50.
2. Лунин Е.М., Баранов И.М. Новый композиционный фибропенополимергипсовый конструкционно-огнезащитный материал металлических конструкций // Материалы международной научно-практической конференции «Гипс, его исследование и применение». – М.: Изд-во «Реклама и продвижение», 2005. – С. 195-198.
3. Меркин А.П., Румянцев Б.М., Кобидзе Т.Е. Облегченный пеногипс- основа для отделочных звукопоглощающих изделий // Строительные материалы, 1979, № 6. – С. 16-17.
4. Тамплон Ф.Ф. Ограждающие конструкции из алюминиевых панелей. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1976. – С. 8-43.
5. Плита покрытия: авторское свидетельство № 1337494 СССР; заявл. 17.11.86; опубл. 15.09.1987. Бюл. № 34. – 3 с.

УДК 666.964:691.327
Г.Т. Ханнанова – инженер
И.Б. Струговец – кандидат технических наук
Ш.Х. Аминов – кандидат технических наук
Тел.: (347) 228-83-15, e-mail: infodor@mail.ru
ГУП «Башкиравтодор»
И.В. Недосеко – доктор технических наук, профессор
Тел.: (347) 243-14-19, e-mail: info@mail.ru
Уфимский государственный нефтяной технический университет (УГНТУ)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В СОСТАВАХ ЩЕБЕНОЧНО-МАСТИЧНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА

АННОТАЦИЯ

Исследования по применению пиритных огарков в составах асфальтобетонов показывают, что имеется возможность значительного расширения сырьевой базы минеральных материалов для строительства дорог за счет полной или частичной замены дорогостоящих доломитовой муки и мелких щебеночных фракций на отходы производства. При этом улучшается экологическая обстановка за счет вовлечения в производство невостребованного пиритного огарка.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пиритный огарок, составы асфальтобетонов, строительство дорог, щебеночные фракции, отходы производства.

G.T. Khannanova – engineer
I.B. Strugovec – candidate of technical science
S.H. Aminov – candidate of technical science
Tel.: (347) 228-83-15, e-mail: infodor@mail.ru
SUE «Bashkirautodor»
I.V. Nedoseko – doctor of technical science, professor
Tel.: (347) 243-14-19, e-mail: info@mail.ru
Ufa State Petroleum Technological University (USPTU)

THE USE OF INDUSTRIAL WASTE IN THE COMPOSITION OF STONE MASTIC ASPHALT CONCRETE

ABSTRAST

The research on the use of pyrite dross in the composition of asphalt concrete shows that it is possible to expend greatly the raw materials of minerals for the constructions of roads at the expense of full or partial change of the expensive dolomitic flour and crushed stone fines on the industrial waste. At that the ecological situation improves due to the introduction of pyrite dross to the production.

KEYWORDS: pyrite dross, the composition of asphalt concrete, the constructions of roads, crushed stone fines, industrial waste.

Проблема повышения эффективности и качества дорожных покрытий неразрешима без разработки и внедрения современных композиционных материалов и технологий дорожного строительства, обеспечивающих их технологичность и высокие эксплуатационные характеристики. Транспортно-эксплуатационное состояние автомобильных дорог общего пользования Российской Федерации близко к исчерпанию своей несущей способности. Сложившаяся ситуация усугубляется постоянным увеличением нагрузки на дорожные покрытия, что обусловлено быстрым ростом числа транспортных средств в стране. Причем, в последние годы, особенно на дорогах высоких категорий, в связи со значительно возросшим транспортным потоком, применением ошипованной резины, а также в результате широкого применения односкатных баллонов на грузовых автомобилях и, как следствие, увеличения нагрузки на ось выше нормативной, все острее стала возникать проблема образования колеи.

В ходе изучения мирового опыта выяснилось, что подобные проблемы и пути выхода из них коснулись дорожные службы Германии середине 60-х годов прошлого столетия, когда была изобретена шипованая колесная резина. На трассах, в особенности на скоростных, стали появляться колеи, которые с точки зрения обострения ситуации с безопасностью дорожного движения ни в чем не уступали гололеду.

Была предложена и испытана технология заливки колеи специальной мастикой с последующей присыпкой щебнем и уплотнением. Мастика с составом: 40-50 % от веса – песок 0-2 мм, 30-35 % от веса – минеральный порошок и 25 % – битум изготавливалась на заводах литого асфальта и развозилась в специальных машинах с миксером при 250 °С. Далее она вручную распределялась по поверхности и присыпалась щебнем 5-8 мм. Полученную смесь с соотношением: 30 % от объема мастика и 70 % от объема щебень – прикатывали катком. Восстановленные по этой технологии участки дорожного полотна показали в ходе эксплуатации высокую степень сопротивления последующему износу. Однако подобная технология имела ряд существенных недостатков: большой объем ручных работ и, как следствие, низкая производительность и высокая стоимость работ, к тому же поверхность не всегда получалась однородной.

Следующим этапом было создание щебеночно-мастичной смеси на АБЗ. Состав смеси был следующим: 75 % щебень 5-8 мм, 15 % песок 0-2 мм, 10 % мин. порошок, битум 7 % от общего веса, компоненты смешивались при температуре 180 °С. Недостатком технологии было вытекание вяжущего в процессе транспортировки смеси.

30 июля 1968 года считается датой «рождения» щебеночно-мастичного асфальтобетона (ЩМА). Компания «Strabag» предложила и получила патент на идею в использовании «Натуральных волокон» в качестве стабилизирующей добавки. Именно эти волокна не позволяли битумному вяжущему растекаться в процессе транспортировки.

ЩМА сразу продемонстрировал свои прекрасные эксплуатационные качества и в 1984 году был принят первый национальный стандарт Германии на его спецификацию и применение. С тех пор данный вид асфальта нашел свое распространение во многих странах. В настоящий момент ЩМА используется в качестве верхнего дорожного покрытия в аэропортах, на мостах и в речных портах таких стран, как США, ЮАР, Китай, Норвегия, Финляндия, Швеция, Франция и множества других.

Щебеночно-мастичный асфальтобетон в России известен достаточно давно. Проблема применения ЩМА в России состояла в том, что до настоящего времени отсутствовала приемлемая для местных условий стабилизирующая добавка. Начиная с 1999 года, появился ряд компаний, которые предложили использовать в качестве стабилизирующих добавок целлюлозные волокна или гранулы на их основе типа «Viatop» и «Topcel», а также на основе асбоцементных волокон типа «Хризотоп».

Начиная с 2000 г., в России в различных климатических регионах уложено более 6 000 000 м^2 покрытия из ЩМА. Процесс внедрения данной технологии с каждым годом расширяется. Разработан и внедрён межгосударственный стандарт ГОСТ 31015-2002 «Смеси асфальтобетонные и асфальтобетон щебёночно-мастичные».

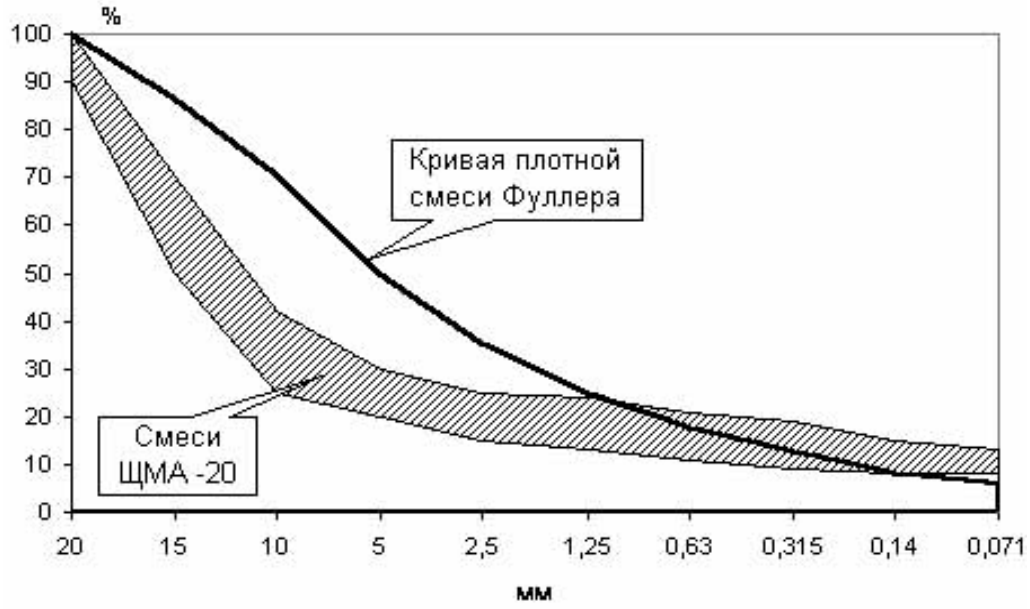


Рис. 1. Сравнение гранулометрического состава плотной асфальтобетонной смеси и щебёночно-мастичного асфальтобетона

ЩМА по входящим в состав компонентам практически не отличается от остальных горячих асфальтобетонных смесей. Единственное отличие в компонентах состава – это применение специальных стабилизирующих добавок, для предотвращения стекания битума при транспортировании и укладке смеси. Однако, к смесям ЩМА, как стоящим на более высокой ступени в эволюции развития горячих асфальтобетонных смесей, нельзя подходить со стандартными мерками. Для получения дорожной поверхности, соответствующей всем характеристикам, присущим смесям ЩМА, в обязательном порядке необходимо применение высококачественных материалов. Если щебень, то только кубовидной формы и количество частиц пластинчатой и чешуйчатой формы не должно превышать 10 %, а песок – то только из отсевов дробления. Кроме этого, в обязательном порядке необходимо иметь пофракционный состав инертного материала, соответствующего подобранной в лаборатории спецификации смеси.

Специфические характеристики ЩМА обусловлены составом смеси, состоящей из щебеночного скелета, в котором все пустоты между крупным щебнем заполнены смесью битума с дробленым песком, минеральным порошком и стабилизирующей добавкой (битумная мастика).

В зависимости от типа ЩМА его структура строится на следующих размерах щебня: 2-6 мм, 4-8 мм, 6-11 мм или 8-16 мм. В некоторых странах применяют более крупный щебень 16-20 мм. Особенно это характерно для северных стран с устойчивым снежным покровом и связано с массовым применением ошипованных шин в зимний период.

Принципиальная разница между ЩМА и обычным асфальтобетоном заключается в том, что допуск на размер щебня в асфальтобетонной смеси намного шире, чем в ЩМА, повышенным содержанием щебня и присутствием неструктурированного битума в асфальтовом вяжущем. Сравнение типичных кривых распределения зёрен плотной асфальтобетонной смеси и щебёночно-мастичной асфальтобетонной смеси выявляют разницу в гранулометрическом составе минеральных материалов (рис. 1).

Обусловлено это наличием большего объема пустот в асфальтобетонной смеси, которые необходимо заполнить более мелкими фракциями. В ЩМА основную структуру составляет крупный щебень, а мелкий служит только для создания «мастики», заполняющей пустое межзёрновое пространство в щебеночном скелете. Мастика состоит из битума, песка, минерального порошка, стабилизирующей добавки (рис. 2).

Мастика, в которой битум находится в свободном состоянии (содержание битумного вяжущего составляет от 6,3 до 7,0 %), придаёт материалу устойчивость к воздействию природно-климатических факторов. Высокое содержание битума в ЩМА – смеси требует применения битумоносителей волокон или гранул-стабилизирующей добавки, чтобы исключить стекание битума во время транспортировки и укладки смеси. Основные виды добавок представлены на рис. 3.

С объемной точки зрения структура ЩМА похожа на структуру пористого асфальта, которая также образовывается крупным каменным материалом, но в пористом асфальте пространство между каменным материалом заполняется только на 80 % от объема, а в ЩМА объем незаполненного пространства составляет не более 3-6 %.

Исходя из концепции ЩМА, контакт между отдельными частицами каменного материала должен отвечать специфическим требованиям, а именно: для получения стабильной структуры должны быть особые требования к внешнему виду каменного материала. Он должен быть обязательно дроблёный и желательно кубовидной формы.

Известно, что основными критериями при выборе типа асфальта для верхнего слоя дорожной поверхности являются следующие функциональные характеристики применяемых материалов с учетом себестоимости укладки:

- коэффициент сцепления;
- устойчивость к образованию колеи;
- уровень шума;
- долговечность;
- обзорность.

Кроме этого, в последнее время существенную роль стала играть такая характеристика, как возможность вторичного использования или переработки материала.

Состав ЩМА может быть подобран для улучшения коэффициента сцепления буквально при любом применении. Величина коэффициента сцепления зависит от двух принципиальных факторов:

- подбор типа каменного материала;
- выбор текстуры (шероховатости) поверхности.

В обязательном порядке должен применяться каменный материал с соответствующим уровнем шероховатости камня (УШК). Чем выше УШК, тем дольше будет противостоять камень сглаживанию под действием колес транспорта.

Шероховатость поверхности имеет решающее значение для вывода воды из-под пятна контакта шины и дорожной поверхности для силы сцепления, возникающей при проникновении резины движущегося колеса в неровности дорожной поверхности.

При применении ЩМА возможно получение различных текстур поверхности, т.к. их вид зависит от размера применяемого каменного материала и заполнения мастикой межкаменного пространства. Например, применение крупного каменного материала (0-14; 0-16) даст глубину текстуры поверхности 1,5 ÷ 2,0 мм. Таким образом, варьируя

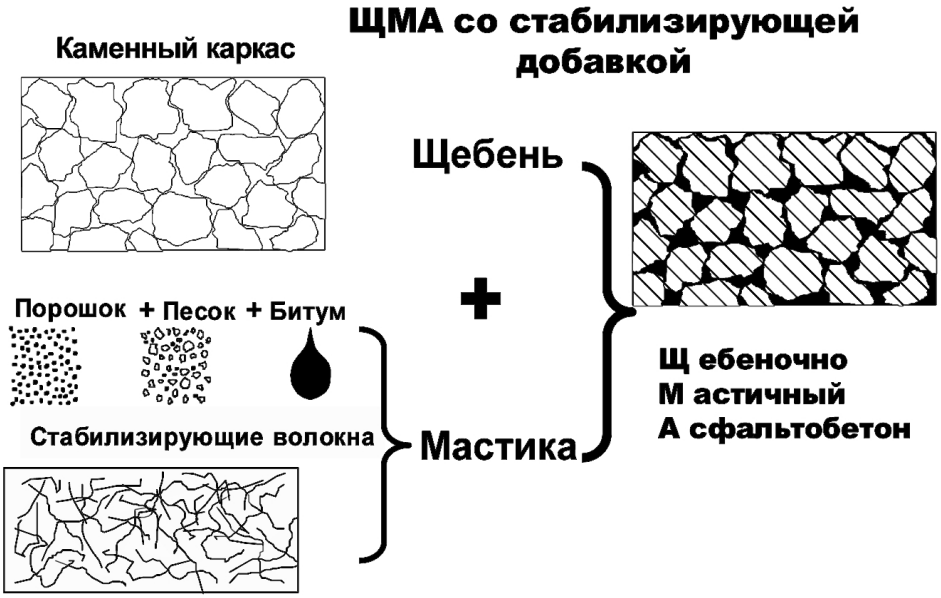


Рис. 2. Структура ЩМА

Виды стабилизирующих добавок на основе целлюлозных волокон

Название	Агрегатное состояние	Содержание в смеси
Topcel	Гранулы	0,25-0,3 %
Technocel	Волокна	более 0,3 %
Genicel	Гранулы	0,45-0,6 %
Viatop 66	Гранулы	0,45 %
Viatop 85	Гранулы	0,4 %
Arbocel	Волокна	более 0,3 %

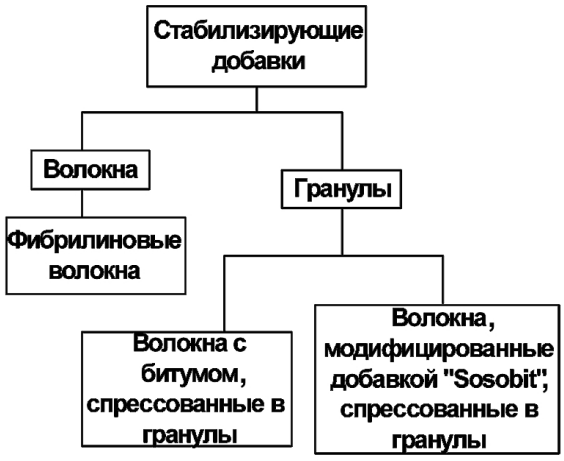


Рис. 3. Стабилизирующие добавки на основе целлюлозных волокон

размер применяемого каменного материала, можно добиться необходимой шероховатости поверхности.

Благодаря своей жесткой скелетной конструкции, когда нагрузка с поверхности передается в нижележащие слои через непосредственно контактирующие друг с другом отдельные крупные частицы каменного материала, слой ЩМА подвергается меньшим деформациям, как в поперечном, так и в продольном направлениях. Отсюда и высокая стойкость ЩМА к образованию колеи. Проведенные исследования продемонстрировали, что показатель прочности на сжатие для ЩМА в 1,5 ÷ 4 раза выше, чем для обычного асфальтобетона.

Как показывают исследования, проводимые в различных странах, применение ЩМА в качестве верхнего покрытия уменьшает уровень шума на 2-4 Дб по сравнению с обычным асфальтобетонным покрытием. В том случае, когда требуется поверхность с крупной шероховатостью для увеличения коэффициента сцепления, применение ЩМА, по сравнению с другими асфальтобетонными покрытиями, также существенно снижает уровень шума.

ЩМА появился вследствие необходимости исправления поверхностных деформаций и усиленного износа из-за применения «ошипованных» шин. Дальнейшая эксплуатация дорог с покрытием из ЩМА показала, что данный вид покрытия решил возникшую проблему. Кроме этого, было обнаружено, что такие дефекты, как отслаивание, образование

трещин и колеи, в случае применения ЩМА практически не проявляются.

Долговечность данного покрытия объясняется наличием довольно большого процента связующей мастики, имеющей в своём составе повышенное содержание битума, которая препятствует проникновению влаги внутрь слоя.

Первые образцы покрытия ЩМА появились в середине 60-х годов. Некоторые из них уже на протяжении 30 лет находятся в хорошем состоянии без регулярного обслуживания. Опыт использования ЩМА в других странах, начиная с середины 80-х годов, также показал хорошие результаты его долговечности.

Высокая шероховатость поверхности ЩМА по сравнению с обычным асфальтобетоном позволяет большему количеству воды "скрыться" внутри текстуры, а не разливаться по поверхности. Отсюда и меньшая возможность возникновения бликов от освещения фар в ночное время.

ЩМА рекомендуется в качестве верхнего дорожного покрытия для высоконагруженных трасс. Однако, для получения качественного покрытия необходимо выполнять следующие технические условия:

- контактная нагрузка между отдельными частицами каменного материала в ЩМА больше, чем в обычном асфальтобетоне, а, следовательно, и больше возможность их абразивного разрушения. Поэтому больше внимания должно быть уделено качеству каменного материала (прочности, форме) и технологии уплотнения, т.к. при ее несоблюдении вероятно разрушение общей структуры слоя;

- при применении ЩМА для высоконагруженных трасс необходимо уделить внимание не только составу смеси, но и толщине укладываемого слоя. Рекомендуемая толщина слоя находится в прямой зависимости от размера применяемого каменного материала. Причем, чем выше предполагаемая нагрузка, тем более тщательно необходимо подходить к подбору толщины укладываемого слоя;

- при укладке верхнего слоя необходимо иметь достаточное сцепление с нижележащим слоем, чтобы не было их взаимного скольжения;

- количеством песчаной массы в смеси можно регулировать эксплуатационные характеристики покрытия в сторону долговечности или работоспособности.

Но при этом, для того чтобы избежать или уменьшить образование колеи, необходимо чтобы нижележащие слои и основание дороги имели низкую подверженность деформациям.

Известно, что изготовление щебёночно-мастичных асфальтобетонов предусматривает более высокие температурные режимы нагрева битума, что существенно сказывается на его вяжущих свойствах и долговечности работы в асфальтобетонных покрытиях.

Качество битумов, полученных с НПЗ или нефтебазы, не всегда соответствует требованиям

Таблица 1

Сравнительный химический состав битумов, произведённых по разным технологиям

Битум	Средняя мол. масса	Отношение А / ПН %	Состав					
			Парафино-нафтеновые	Ароматика			Смолы, суммарно	Асфальтены
				Лёгкая	Средняя	Тяжёлая		
Окисленный	800	1,02	16,2	7,1	4,5	27,8	27,9	16,5
Остаточный	766	1,26	8,4	8,7	7,2	37,8	27,3	10,6
Компаунди-рованный	737	2,81	6,9	4,5	2,1	33,1	34,0	19,4

Таблица 2

Изменение качественных показателей битумов после прогрева

Битумы	Температура размягчения, °С		Пенетрация, 0,1 мм при 25 °С		Растяжимость, см при 25 °С		Сцепление с песком	
	До прогрева	После прогрева	До прогрева	После прогрева	До прогрева	После прогрева	До прогрева	После прогрева
Окисленный	43	48	119	78	80	47	№ 2	№ 3
Остаточный	44	47,5	118	88	более 100	более 100	№ 1	№ 2
Компаунди-рованный	43	46	110	86	более 100	более 100	№ 1	№ 1

стандарта. Но даже применение битумов, полученных по технологии окисления, которые соответствуют требованиям ГОСТ, как показывает практика, не обеспечивает требуемой долговечности дорожных покрытий. Основной причиной этого является недостаточная деформативность окисленных битумов, слабая адгезия к минеральным материалам (особенно кислого характера), низкая устойчивость к процессам старения.

При исследовании группового химического состава различных битумов, приведенных в табл. 1, показано, что неокисленные битумы содержат в своем составе незначительное количество парафино-нафтеновых углеводородов и повышенное количество полициклических ароматических соединений и смол. За счет этого они обладают повышенной растяжимостью и лучшей адгезией к минеральным материалам. Кроме того, в составе неокисленных битумов присутствуют неразрушенные структуры гетероатомов природного происхождения, которые накладывают свой отпечаток на явления адгезии и устойчивости таких битумов к процессам окислительного старения (табл. 2).

Крайне важным свойством битумов (любых) является стабильность их качества во времени как при обычных, так и при повышенных температурах. Причем вопрос стабильности следует рассматривать с двух позиций. Первая – устойчивость к процессам окислительного старения при повышенных температурах и вторая – коллоидная стабильность. Что касается коллоидной стабильности, то более высокой устойчивостью обладают системы типа «золь». Важную информацию дают исследования коллоидной структуры битумов с использованием методов малоуглового рассеяния рентгеновских лучей. Установлено, что неокисленные битумы содержат 85-87 % мелких коллоидных образований, с размерами частиц 9-10 Å и 12-13 % крупных коллоидных частиц размером 405-414 Å. Окисленные же битумы дают другое распределение, а именно: 30-31 % с размерами до16 Å и 69-70 % крупных коллоидных частиц с размерами до 440 Å. Следовательно, неокисленные битумы являются мелкодисперсными коллоидными образованиями типа «золь», в то время как окисленный битум представляет собой в большей степени грубодисперсную систему типа «золь-гель».

Битумные системы типа «золь» более пластичны, что обеспечивается благоприятной коллоидной структурой вяжущего. Отношение содержания асфальтенов к содержанию парафино-нафтенов значительно выше в неокисленных битумах (табл. 1), что является прямым свидетельством их высокого качества. Асфальтобетоны, изготовленные на основе неокисленных битумов, обладают гидрофобными свойствами, а гидрофобность уже напрямую связана с водостойкостью. В свою очередь, повышенная водостойкость увеличивает долговечность службы дорожного покрытия.

При оценке термической стабильности битумы подвергали нагреву до 163 °С в течение 5 часов в тонкой пленке 2-3 мм. Результаты испытаний представлены в табл. 2. Следовательно, термостабильность неокисленных битумов заметно выше. Окисленные битумы, подвергшиеся термообработке, в большей степени теряют пластичность, растяжимость, ухудшаются также их адгезионные характеристики.

В связи с тем, что температурный режим укладки ЩМА выше, чем обычного асфальтобетона, на стандартных (окисленных) битумах, получаемых по технологии прямого окисления нефтяных остатков, достаточно сложно получить качественные и долговечные покрытия, даже при применении качественных инертных материалов и строгом соблюдении технологических режимов. Поэтому в качестве связующего для ЩМА рекомендуется использование термостабильных неокисленных битумов марок БНН, промышленное производство которых освоено на ряде заводов, в частности, по технологии института ГУП «Нефтехимпереработка» на ОАО «Уфанефтехим» и ОАО «Ухтинский нефтеперерабатывающий завод».

В настоящее время для промышленного производства ЩМА в республике Башкортостан смонтирован высокопроизводительный асфальтобетонный завод фирмы «AMMAN», который дооборудован узлом подачи стабилизирующих добавок. Намечен ремонт покрытия участка автодороги Уфа – Инзер – Белорецк протяжённостью 3 км. В последующие годы планируется значительное увеличение объемов производства щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Литература

1. Аминов Ш.Х., Струговец И.Б., Ханнанова Г.Т. Повышение долговечности асфальтобетонных покрытий на основе применения щебеночно-мастичного асфальтобетона // Десятые академические чтения РААСН «Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения». – Пенза –Казань, 2006. – С. 495-500.
2. Аминов Ш.Х., Струговец И.Б., Ханнанова Г.Т., Бабков В.В., Недосеко И.В. Использование пиритного огарка в качестве минерального наполнителя в асфальтобетонах // Строительные материалы, 2007, № 9. – С. 42-43.
3. Илиополов С.К., Мардиросова И.В., Углова Е.В., Безродный О.К. Органические вяжущие для дорожного строительства. – Ростов н/Д: ДортрансНИИ, РГСУ, 2003.
4. Аминов Ш.Х., Кутьин Ю.А., Струговец И.Б., Теляшев Э.Г. Современные битумные вяжущие и асфальтобетоны на их основе. – СПб.: ООО «Недра», 2007.

УДК 628.17.175
Е.Г. Чикляев – аспирант
О.Р. Каратаев – кандидат технических наук, доцент
Е.С. Перикова – кандидат технических наук, доцент
Тел.: 89047666221, e-mail: elena_perikova@inbox.ru
В.Ф. Новиков – доктор химических наук, профессор
Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)
А.В. Танеева – кандидат химических наук, доцент
Тел.: 89503258555, e-mail: sun-2007@list.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

АННОТАЦИЯ

Проведена оценка степени загрязнения воздушной среды Казанского домостроительного комбината с использованием газохроматографического и линейно-колористического метода анализа. В ходе анализа была найдена зависимость концентрации загрязняющих веществ различной химической природы от объема производственных помещений и наличия в них различных энергетических установок. Установлены причины, по которым концентрация загрязняющих веществ в воздушной среде промышленного предприятия превышает нормы ПДК.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: хроматография, индикаторная трубка, загрязнение, линейно-колористический метод.

E.G. Chiklyaev – post-graduate student
O.R. Karataev – candidate of technical sciences, associate professor
E.S. Perikova – candidate of technical sciences, associate professor
Tel.: 89047666221, e-mail: elena_perikova@inbox.ru
V.F. Novikov – doctor of chemical sciences, professor
Kazan State Power-Engineering University (KSPEU)
A.V. Taneeva – candidate of chemical sciences, associate professor
Tel.: 89503258555, e-mail: sun-2007@list.ru
Kazan State University of Arcitecture and Engineering (KSUAE)

ECOLOGICAL SAFETY PROBLEMS OF AIR ENVIRONMENT OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES

ABSTRACT

The estimation of the contamination level of air at the Kazan building construction complex was made using gas chromatography and linear-dyeing method of analysis. In the course of analysis the dependence of concentration of pollutants of various chemical natures on the size of workshops and the presence of various energetic installations was found. The reasons have been set why the content of the air pollutants of an industrial enterprise exceed the MPC standards.

KEYWORDS: chromatography, display tube, pollution, linear-colored method.

Как известно, основными объектами, загрязняющими окружающую среду, являются предприятия химии, нефтехимии, машиностроения, нефтяной промышленности, энергетики, транспорта и др. При этом техногенная нагрузка на окружающую среду в городе Казани по многим показателям выше, чем в других городах Республики Татарстан [1].

К одним из основных загрязнителей воздушного бассейна города Казани и Республики Татарстан относится теплоэнергетический комплекс, в который входит 22 предприятия ОАО «Татэнерго» и 35 предприятий объектов «Таткоммунэнерго», которые выбрасывают в окружающую среду большое количество вредных химических веществ.

Предприятия строительного комплекса, как правило, располагаются на промышленных площадках, расположенных в городской черте. Они специализируются на выпуске крупнопанельных

изделий, которые используются на строительстве объектов жилого и производственного назначения. В состав предприятия обычно входят цеха, потребляющие значительное количество энергоресурсов, такие как: производство бетонных смесей и арматурных изделий, формовочные, ремонтно-механические и транспортные цеха, а также котельные, работающие на жидком, твердом или газообразном топливе.

Предприятия строительного комплекса выбрасывают в окружающую среду относительно небольшое количество загрязняющих веществ. Однако, если учесть тот факт, что количество таких предприятий достаточно велико и располагаются они в густо населенных районах городов и рабочих поселках, становится актуальной проблема обеспечения экологической безопасности районов, подверженных влиянию таких объектов [2]. Загрязняющие вещества, попадающие в атмосферный воздух г. Казани из технологических установок предприятий строительного комплекса, за счет трансграничного переноса могут перемещаться на большие расстояния, при этом под воздействием различных факторов они могут трансформироваться с образованием более токсичных соединений, чем исходные [3]. При этом существует риск возникновения заболеваний организма человека, связанных с экологическим фактором [4].

В выбросах промышленных предприятий строительного комплекса содержится большое число различных вредных примесей как неорганической, так и органической природы. При сжигании газообразного топлива, которое в настоящее время используется в котельных цехах, в основном выбрасываются оксиды азота. Однако при нарушении режима горения топлива в атмосферу могут попадать и ароматические углеводороды, часть которых относится к канцерогенно-активным веществам [5].

Для получения информации о качественном и количественном составе органических и неорганических химических веществ, загрязняющих воздушную среду, необходимо осуществлять регулярный контроль за их концентрацией [6], так как в результате антропогенной деятельности в окружающую среду ежегодно поступают токсичные вещества, которые приводят к ухудшению экологических условий жизнедеятельности живых организмов, нанося ущерб здоровью человека. Организация и проведение наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха в городах на региональном и фоновом уровнях, методики химического анализа концентрации вредных веществ в воздушной среде, методы сбора, обработки и статистического анализа результатов наблюдений регламентируются рядом нормативных документов [7-14]. С целью оценки экологического состояния воздушной среды нами были проведены исследования по определению содержания химических веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух от технологических установок Казанского домостроительного комбината.

Для решения этой задачи нами в соответствии с методическими рекомендациями, опубликованными в литературе [10-14], были отобраны пробы воздуха в стеклянные газовые пипетки объемом 250 мм с помощью электрического аспиратора путем прокачивания воздуха в течение 5 минут со скоростью 2 мл/мин. После прокачки аспиратор отключали и перекрывали оба зажима на концах газовой пипетки. В процессе отбора пробы проводили измерение температуры окружающей среды и атмосферного давления с целью введения поправочных коэффициентов в формулу расчета массовой концентрации. Непосредственно перед проведением анализа газовые пипетки с анализируемыми пробами предварительного выдерживали в помещении лаборатории до комнатной температуры.

Экспериментальную часть работы проводили на газовом хроматографе Кристалллюкс-4000М, оборудованном катарометром и пламенно-ионизационным детектором, насадочными колонками, заполненными слабополярными сорбентами и приспособлением для дозировки пробы, состоящим из крана-дозатора и адсорбционного патрона, позволяющего улавливать примеси кислородосодержащих соединений и пропускать алкилароматические углеводороды. В качестве адсорбционного патрона применяли стеклянную трубку, заполненную хлорнокислым магнием, который улавливает кислородосодержащие соединения, затрудняющие анализ алкилароматических углеводородов, в результате «наложения» хроматографических пиков. При этом хроматографические пики бензола, толуола, ксилолов, α-метилстирола выходят симметричными, пригодными для количественной интерпретации.

Для определения ароматических углеводородов пробу воздуха вытесняли в дозировочную петлю крана-дозатора газового хроматографа через фильтрующий патрон с хлорнокислым магнием, который улавливает кислородосодержащие соединения.

Дозировку пробы в хроматограф осуществляли краном-дозатором не менее трех раз. При этом кран-дозатор переводили в положение «отбор» пробы, подсоединяли к нему газовую пипетку и вытесняли пробу объемом 1 мл в дозировочную петлю газового хроматографа. Вытеснение пробы из пипеток проводили насыщенным раствором хлористого натрия, в котором ароматические углеводороды не растворяются, что исключает их потери на стадии пробоподготовки. После этого газовую пипетку отсоединяли от крана-дозатора для выравнивания в нем давления и через 1-2 сек. переводили кран-дозатор в положение «анализ».

Анализ проводили в соответствии с методикой, применяемой для государственного экологического мониторинга окружающей природной среды [11].

Разделение проводили на сорбенте, приготовленном на основе твердого носителя

Цветохром фракции 0,14-0,25 мм, который предварительно обрабатывали соляной кислотой в течение трех часов. После обработки Цветохром отмывали дистиллированной водой до отрицательной реакции на ионы хлора. На обработанный таким образом твердый носитель наносили неподвижную жидкую фазу – нитрилотрипропионитрил в количестве 10 % от его массы. Нитрилотрипропионитрил растворяли в растворителе и заливали в колбу с твердым носителем, выдерживали в течение одного часа и при осторожном перемешивании нагревали на водяной бане до получения сыпучей однородной массы. Полученный таким образом сорбент загружали в хроматографическую колонку, подсоединяли её к хроматографу и проводили кондиционирование при температуре 100 °С в течение пяти часов.

В качестве газа-носителя использовали воздух, который предварительно пропускали через каталитический реактор, в котором происходил процесс его очистки от органических примесей. Колонку с сорбентом подключали к пламенно-ионизационному детектору хроматографа.

Градуировку детектора хроматографической аппаратуры проводили по бензолу (аттестованная газовая смесь бензол в азоте) измеряли концентрации от 0,2 до 100 мг/м^3. Градуировку проводили методом абсолютной калибровки путем использования серии аттестованных газовых смесей бензола в азоте с различными концентрациями.

При анализе градуировочных смесей проверяли выполнение следующего условия:

$$\frac{S_{i\ \max} - S_{i\ \min}}{\overline{S}_i} \cdot 100\,\% \le 10\,\%,$$

где $S_{i\ \max}$ – максимальная площадь хроматографического пика, мм^2; $S_{i\ \min}$ – минимальная площадь хроматографического пика, мм^2; S_i – среднее арифметическое площадей пиков, мм^2.

Приведенное значение площадей ($S_{\text{пр}}$) пика бензола в і-ой смеси рассчитывали по формуле:

$$S_{\text{пр}} = \overline{S}_{\text{i}} \cdot M,$$

где M – масштаб ослабления выходного сигнала детектора.

Массовую концентрацию бензола вычисляли по формуле:

$$\overline{X}_{\text{в}} = S_{\text{впр}} \cdot A \cdot k \cdot z \cdot f,$$

где K – градуировочный коэффициент, мг/м^3"мм^2; A – коэффициент относительной чувствительности, равны для бензола 0,81; z – поправочный коэффициент, который учитывает различия в атмосферном давлении при анализе и градуировке:

$$z = \frac{P_{гр}}{P_a},$$

где $P_{гр}$ и P_a – атмосферное давление при градуировке и при анализе, кПа; f – коэффициент, учитывающий поправку массовой концентрации к температуре, который берется из справочных данных [12].

Обработку полученных экспериментальных данных проводили на разработанной компьютерной программе, в которую заложены формулы расчета массовой концентрации приоритетных загрязнителей окружающей среды. Формирование сигнала производили через интерфейс сопряжения компьютер-хроматограф, где детектор и является исполнительным механизмом.

В соответствии с рис. 1 газовый хроматограф подключали к последовательному интерфейсу (com-порту) компьютера, который передает результаты анализа индивидуального состава анализируемой смеси в компьютерную программу. Вначале данные от хроматографа поступали в часть программы, где осуществляли управление аппаратурой, контролировали его техническое состояние в реальном режиме времени, проводили обработку полученных хроматограмм с возможностью вывода их на печать. Аналитические сигналы хроматографа обрабатывали в соответствии с базой данных хроматографической части программы, в которой находятся значения характеристик удерживания определенных веществ при использовании различных сорбентов и сорбатов, а также их физико-химические характеристики.

Компьютерная программа по результатам анализа проводила сравнение полученных экспериментальных данных с нормируемыми характеристиками в соответствии с базой данных. В случае отклонения полученных значений от нормируемых показателей формируется сигнал на исполнительный механизм, величина которого определяется базой данных компьютерной программы.

Аналитический сигнал, сформированный компьютерной программой, перед поступлением на исполнительный механизм преобразовывается и усиливается, после чего газовый хроматограф проводит измерение концентрации ароматических углеводородов. Впоследствии через определенный промежуток времени проводится проверочный анализ произведенных ранее измерений концентраций. Если отклонение не будет обнаружено, то программа оставляет все без изменений и сигнал не формируется.

Таким образом, по результатам газохроматографического анализа состава загрязняющих веществ в воздушной среде полученные результаты сравнивали со значением базы данных по ПДК для определяемых компонентов в компьютерной программе. Формирование сигнала на

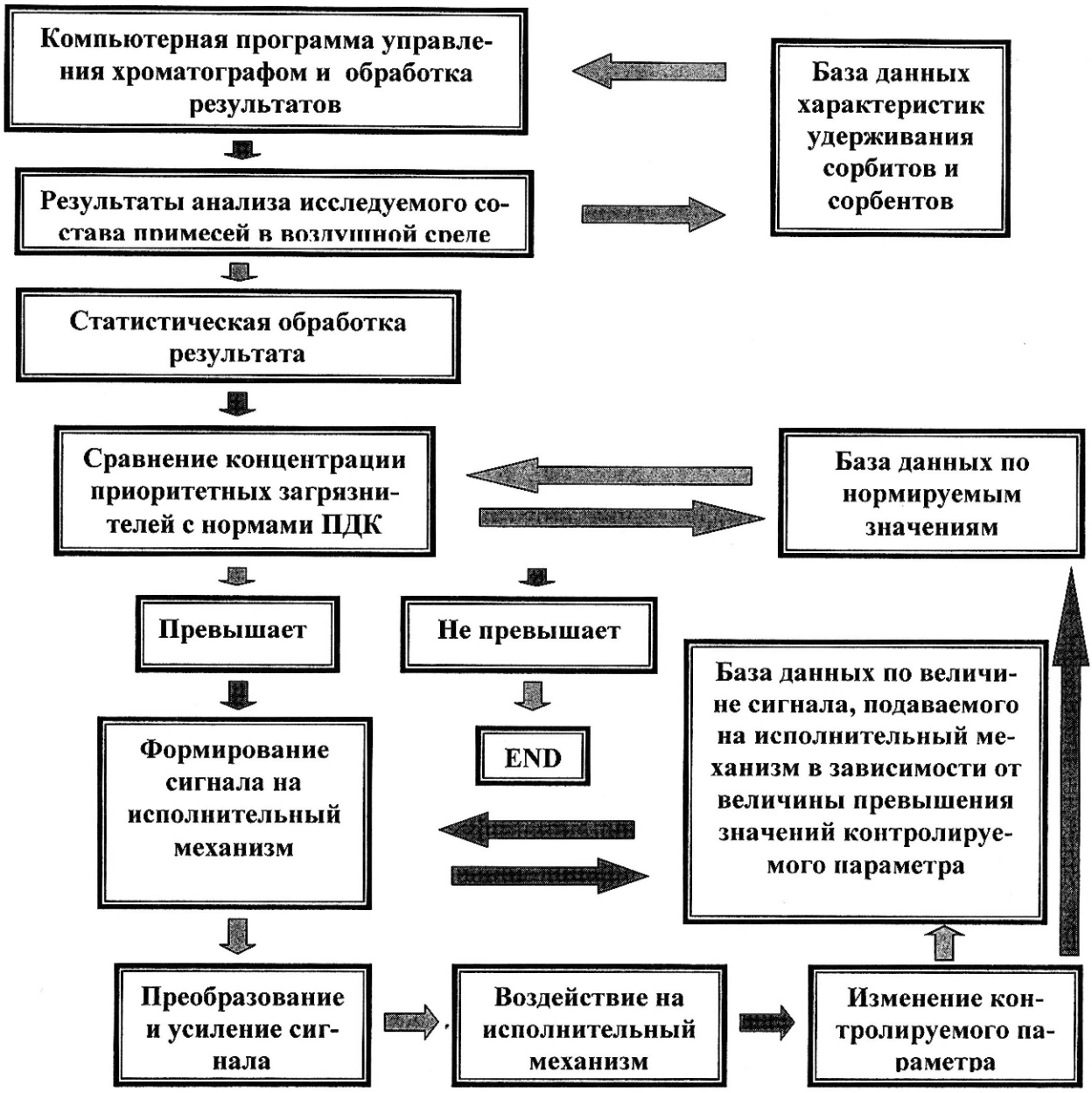


Рис. 1. Алгоритм компьютерной программы анализа приоритетных загрязнителей воздушной среды промышленных предприятий методом газовой хроматографии

исполнительный механизм происходило в соответствии с базой данных, в которой записаны зависимости величин превышений ПДК в воздушной среде предприятий. В случае загрязнения производственных помещений регулирование и контроль качества воздуха проводили путем изменения кратности воздухообмена с окружающей средой и её температурой.

Для проведения предварительного экспресс-анализа воздушной среды в работе применяли линейно-колористический метод анализа, основанный на изменении цвета сорбента, помещенного в индикаторную трубку. Эта тест-система представляет собой автономное средство однократного использования, которое позволяет проводить определение загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в экспресс-режиме [13-17].

В этом случае хроматографические процессы, протекающие в индикаторной трубке при пропускании пробы анализируемого воздуха, протекают на границе раздела фаз. При этом разделяемые компоненты содержатся в газовой фазе, а “проявление” происходит в результате колористической реакции уже на первом этапе хроматографического процесса. Длина изменившего окраску столбика зависит не только от скорости химической реакции, но также и от скорости диффузии газа через слой продуктов реакции к свежей поверхности реактива, то есть от условий протекания

химической реакции и от свойств реактива, находящегося в индикаторной трубке. Концентрацию в исследуемой смеси определяли как:

$$C_{изм} = (C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n)/n,$$

где $C_{изм}$ – среднее арифметическое n-результатов измерения, мг/м^3; $C_1, C_2, C_3, ..., C_n$ – результат измерения концентрации газа индикаторными трубками, n – количество измерений.

Для повышения точности определения концентрации анализируемого вещества полученные экспериментальные значения корректировали с учетом атмосферного давления воздушной среды.

С этой целью использовали уравнение связи:

$$C_{прив} = C_p \cdot K_p,$$

где $C_{прив}$ – значение концентрации анализируемого вещества в пробе, приведенное к условиям измерений, при которых выполнена градуировка индикаторных трубок (20 °С, 101,3 кПа); C_p – полученное значение концентрации диоксида серы; K_p – поправочный коэффициент на атмосферное давление:

$$K_p = P_{ст}/P_p,$$

где $P_{ст}$ – давление атмосферного воздуха, при котором выполнена градуировка ($P_{ст}$=101,3 кПа); P_p – атмосферное давление в момент проведения измерений, кПа.

В результате такого комплексного анализа в воздушной среде Казанского домостроительного комбината были найдены: диоксид азота, диоксид серы, диоксид углерода, изо-пентан, формальдегид и бензол, концентрации которых в некоторых производственных помещениях превышали норму ПДК для рабочей зоны.

Полученные результаты вполне согласуются с литературными данными [18], где было проведено исследование процессов горения газообразного топлива в теплоэнергетических установках Казанского домостроительного комбината и установлено существенное загрязнение окружающей среды газообразными продуктами горения.

На рис. 2. приведена зависимость концентрации различных загрязняющих веществ от места отбора пробы (ремонтно-механический цех, котельная).

Как видно из рисунка, для котельной содержание бензола и диоксида серы более чем в два раза превышает норму ПДК, что свидетельствует о неоптимальной работе котельной установки и требует проведения дополнительных исследований по оптимизации процесса горения в котлах, работающих на газообразном топливе.

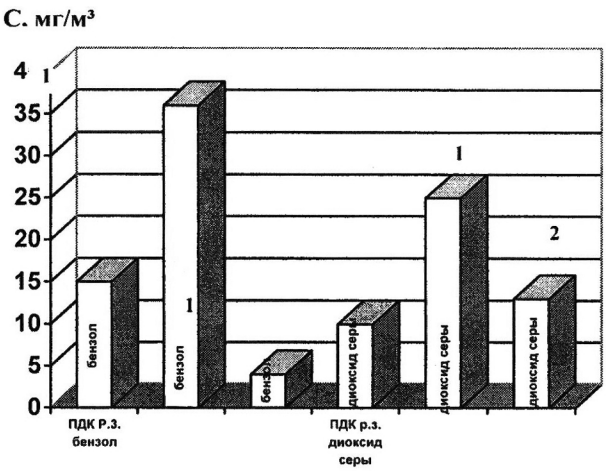


Рис. 2. Концентрации приоритетных загрязнителей воздушной среды Казанского домостроительного комбината:
$ПДК_{р.з.}$ – предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в рабочей зоне; 1 – котельная; 2 – ремонтно-механический цех

Для ремонтно-механического цеха содержание бензола не превышало нормы ПДК, что очевидно определяет его миграцию из котельной установки в результате инфильтрации через дверные и оконные проемы. Концентрация бензола в котельной превышает нормы ПДК более чем в два раза.

Выводы

С использованием газохроматографического и линейно-колористического метода проведен анализ экологического состояния Казанского домостроительного комбината и установлено, что концентрация бензола и диоксида серы в воздушной среде превышает нормы ПДК.

Литература

1. Петров Б.Г. Экологическая безопасность Республики Татарстан // Безопасность жизнедеятельности, 2005, № 7. – С. 3-9.
2. Гиззатуллин А.Р. Совершенствование методов и приборов контроля природной среды в зоне влияния предприятий строительной индустрии // Автореф. канд. дисс. – Казань, 2005. – 16 с.
3. Малышева А.Г. Закономерности трансформации органических соединений в окружающей среде // Гигиена и санитария, 1997, № 3. – С. 5-9.
4. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практике управления качеством окружающей среды. – СПб., 1997. – 103 с.
5. Салова Т.Ю., Громова Н.Ю., Шкрабак В.С., Курмашев Г.А. Основы экологии. Аудит и экспертиза техники и экологии. – СПб. – М. – Краснодар, 2004. – 335 с.
6. Лейте В. Определение загрязнений воздуха в

атмосфере и на рабочем месте / Пер. с нем. А.Ф. Дашкевича, под ред. П.А. Коузова. – Л.: Химия, 1980. – 342 с.
7. ГОСТ Р 50820-95 «Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности газовых потоков».
8. ПНД Ф 12.1.1-99 «Методические рекомендации по отбору проб при определении концентрации вредных веществ (газов и паров) в выбросах промышленных предприятий».
9. Лурье А.А. Хроматографические материалы. – М.: Изд-во «Химия», 1978. – 438 с.
10. ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны при установившемся технологическом режиме работы обследуемого источника выделения загрязняющих веществ в атмосферу».
11. ПНД Ф 13.1:2:3.25-99 «Количественный химический анализ атмосферного воздуха и выбросов в атмосферу. Методика выполнения измерений массовых концентраций предельных углеводородов C_2-C_5 (суммарно), непредельных углеводородов C_5C_{10} (суммарно) и ароматических углеводородов (бензола, толуола, этилбензола, ксилола, стирола) при их совместном присутствии в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны и промышленных выбросах методом газовой хроматографии».
12. Гольберт К.А., Вигдергауз М.С. Курс газовой хроматографии. – М.: Химия, 1974. – 375 с.
13. ГОСТ Р 51712-2001. «Трубки индикаторные. Общие технические условия».
14. ГОСТ Р 51945-2002. «Аспираторы. Общие технические условия».
15. ГОСТ 12.1.014-84 «Воздух рабочей зоны. Метод измерения концентрации вредных веществ индикаторными трубками».
16. Трубки индикаторные технические модели ТИ - [ИК-К]. Технические условия. КРМФ. 415522.003 ТУ. – СПб.: ЗАО «Крисмас+».
17. МИ 2606-200 Концентрация вредных веществ в воздухе, в атмосфере и выбросах в атмосферу. Методика выполнения измерений с использованием газоопределителей химических и трубок индикаторных. ГХ-Е. УНИМ. – Екатеринбург, 2000.
18. Александров Ю.Б., Танеева А.В., Новиков В.Ф. Методы исследования процесса горения газообразного топлива в теплоэнергетических установках // Известия вузов. Проблемы энергетики, 2006, № 9. – С. 23-32.
19. Александров Ю.Б. Совершенствование методов анализа индивидуального состава газообразного топлива и продуктов его горения на основе компьютерно-хроматографического модуля // Автореф. канд. дисс. – Казань: КГУ, 2007. – 24 с.

УДК 624(075.8)
И.Ю. Майстренко – кандидат технических наук, старший преподаватель
Тел.: 89053132253, e-mail: maystr5555@mail.ru
А.З. Манапов – кандидат технических наук, доцент
Тел.: 89178904302, e-mail: man48-75@mail.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

ОЦЕНКА РЕЗЕРВОВ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МОСТОВ С УЧЕТОМ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

АННОТАЦИЯ
Представлена технология оценки резервов несущей способности и долговечности эксплуатируемых мостов, основанная на имитационном статистическом моделировании эксплуатационной надежности. Рассмотрены две расчетные комбинации: нагрузка – прочность – износ – среда; циклы нагрузки – усталостная прочность.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оценка, резервы, долговечность, мост, имитация, статистический, моделирование.

I.Yu. Maystrenko – candidate of technical sciences, senior lecturer
Tel.: 89053132253, e-mail: maystr5555@mail.ru
A.Z. Manapov – candidate of technical sciences, associate professor
Tel.: 89178904302, e-mail: man48-75@mail.ru
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

ESTIMATION OF RESERVES A LOAD-CARRYING AND DURABILITY EXPLOITED BRIDGES WITH A GLANCE FOR INDIVIDUAL FEATURES

ABSTRACT
The technology of estimation of reserves a load-carrying and durability exploited bridges is present. This technology is based on the imitational statistical simulation of the structural reliability of used constructions. Two combinations were considered: stress – strength – damage – environment; cycles of loads – fatigue strength.

KEYWORDS: estimation, reserves, durability, bridge, imitation, statistical, simulation.

В связи с введением в действие ГОСТ Р 52748-2007 [1] повышены требования к нагрузкам от автотранспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования. Перенаправление грузовых потоков потребует проведение оценки резервов несущей способности и долговечности мостов, находящихся на этих направлениях, с учетом тенденций роста интенсивности подвижной нагрузки.

Для решения этой задачи предлагается использовать имитационную статистическую модель оценки эксплуатационной надежности несущих элементов мостовых конструкций, на основании которой из общего числа эксплуатируемых мостов обоснованно выделить те, которые подлежат первоочередной реконструкции или усилению.

В общем виде модель процесса имитационного статистического моделирования эксплуатационной надежности представляет собой многоступенчатую технологию, которая включает:

1. Процедуру определения случайных внешних характеристик модели (начальных и изменяющихся во времени), например, геометрических размеров конструкции с учетом допусков на размеры проката и предельных отклонений от номинальных размеров сборочных единиц, действующих нагрузок и прочностных свойств, условий эксплуатации конструкции (агрессивность среды, интенсивность воздействий подвижной нагрузки, изменение расчетной схемы моста, нестационарность режима нагруженности). Для описания внешних характеристик используются функции статистического распределения и оценка параметров с помощью доверительных интервалов.

2. Статистический анализ внешних характеристик и формирование на его основе векторных процессов, характеризующих изменение расчетных параметров во времени. При этом используется регрессионный анализ постепенного ухудшения технического состояния конструкции во времени, исходя из предположения об эволюторности поведения системы.

3. Разработку процедуры вычисления внутренних характеристик по известным внешним

характеристикам. На этой ступени определяются критерии оценки эксплуатационной надежности конструктивного элемента и выбираются аналитические функции взаимодействия между расчетными параметрами (например, на основе методов строительной механики с учетом требований, предъявляемых к расчету металлических конструкций мостов).

4. Формирование дискретной динамической системы на базе массивов случайных реализаций расчетных параметров, полученных с помощью генераторов случайных чисел, и разработка компьютерной программы для численного решения задачи, включающей блоки обработки результатов и оценки показателей надежности системы.

5. Проведение имитационного эксперимента путем численного статистического моделирования процесса нагружения, получение параметров надежности конструктивного элемента. Для компьютерного воспроизведения течения процесса нагружения применяется дискретизация имитационной модели.

6. Анализ результатов имитационного эксперимента и выявление наличия или отсутствия резервов несущей способности и долговечности.

В качестве примера выбрана сварная двутавровая главная балка пролетного строения моста, выполненного по разрезной схеме 6х21 м, находящегося в эксплуатации с 1989 года. Расчетная проектная нагрузка: А11, НК-80 [2]. Габарит моста Г–11,5+2х1. За время эксплуатации капитальный ремонт моста не проводился. В ходе обследования технического состояния моста в 2007 году проведен визуально-измерительный контроль и толщинометрия расчетных элементов. Материал несущих конструкций – сталь марки 10ХСНД по ГОСТ 6713.

Расчет главной балки по прочности по нормальным напряжениям в детерминированной постановке на повышенные нагрузки А14, НК-100 [1], показал перенапряжение расчетного сечения до 1,3 %. Расчет главной балки на выносливость, выполненный с учетом износа расчетных элементов, показал недонапряжение расчетного сечения в пределах 0,2 %.

Выполним оценку несущей способности методом имитационного статистического моделирования, предполагающего использование параметров статистического распределения исходных данных и расчетных параметров.

На первой ступени проведено описание внешних характеристик:

а) Начальные геометрические размеры сечения главной балки определены из проектных решений, при этом учтены допуски на толщину проката. Фактические геометрические размеры сечения главной балки определены путем прямых инструментальных измерений при обследовании технического состояния моста, проведенного спустя 18 лет эксплуатации. Выполнено по двадцать измерений каждого из параметров, для которых определены границы доверительных интервалов с помощью распределения Стьюдента [3]. Уровень достоверности интервальной оценки принят равным 0,90. Учитывая, что значения геометрических размеров в пределах границ допусков и границ доверительных интервалов равновероятны, используем равномерное распределение вероятностей случайной величины в пределах этих границ.

Для расчета на выносливость определены границы варьирования параметра g_w, учитывающего случайный характер режима нагруженности автодорожного моста, концентрации напряжений в соединяемых элементах, вида соединений, длины загружения линии влияния и асимметрии цикла переменных напряжений в расчетном сечении. Описание изменчивости расчетного параметра g_w выполнено по равномерному закону распределения в пределах границ варьирования:

$$p(g_m) = j\ (0{,}75;0{,}90).$$

б) Определение расчетного числа циклов нагружения конструктивного элемента $N_p(t)$ и эквивалентного числа нагружений, принимаемого при расчете на выносливость $N_э(t)$, производим на основе статистики наблюдений за интенсивностью движения автотранспорта [4, 5].

Расчетное число циклов нагружения за время эксплуатации t определяется по формуле:

$$N_p(t) = 24 \cdot 365 \cdot t_p \cdot J(t) \cdot n_p(t), \qquad (1)$$

где: t_p – расчетный промежуток времени эксплуатации, годы; $J(t)$ – функция изменения во времени интенсивности воздействий подвижной нагрузки за 1 час; $n_p(t)$ – функция изменения во времени числа колебательных воздействий рессорной части единицы подвижной нагрузки на пролетное строение, зависящая от расчетной схемы моста, силы инерции и силы упругости, действующих на главную балку.

На рисунке 1 приведена эмпирическая функция изменения во времени расчетного числа циклов нагружения главной балки

$$N_p(t) = 10^3 \cdot (34{,}7 \cdot t^{0{,}69} + 140{,}2).$$

Расчетное число циклов, принимаемое для расчета на выносливость $N_э(t)$, определяется по усредненным графикам загрузки пролетного строения подвижной нагрузкой (рис. 2). На графиках P_i и $P_н$ – соответственно переменная, действующая в течение

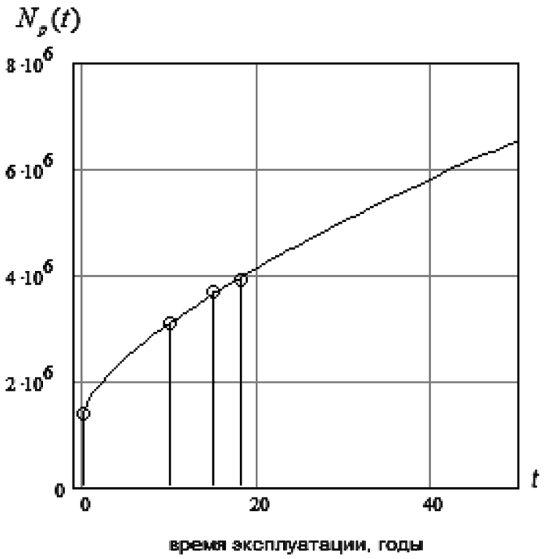


Рис. 1. Эмпирическая функция изменения во времени расчетного числа циклов нагружения главной балки

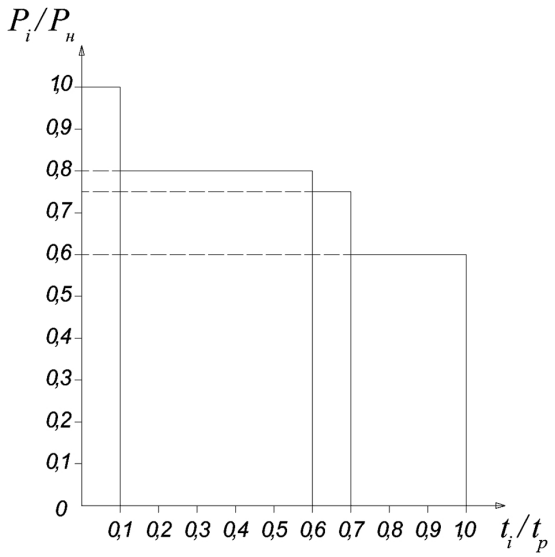


Рис. 2. График загрузки пролетного строения подвижной нагрузкой

времени t_i , и номинальная нагрузки; t_p – общее время эксплуатации конструкции.

в) В расчетах учтены постоянные нагрузки и нагрузки от автотранспортных средств на автомобильных дорогах общего пользования [1, 2] с учетом изменчивости величин этих нагрузок. Для описания силовых воздействий на пролетное строение использовано нормальное распределение вероятностей случайной величины [3]. Статистические параметры внутренних усилий сведены в таблицу 1.

При расчете на выносливость произвольные законы распределения нагрузок по интервалам нагружения (см. рис. 2) приводятся к взвешенной сумме равномерных распределений.

г) Статистические характеристики стали, использованной для изготовления главной балки приняты по экспериментальным данным, представленным в работе [6]: среднее значение предела текучести m_R = 44,57 кгс/мм², стандарт Δ_R = 3,84 кгс/мм², коэффициент вариации v_R = 8,6.

На второй ступени расчетные параметры d_i, изменяющиеся во времени t, подвергаем регрессионному анализу (это касается, в первую очередь, утончения элементов расчетного сечения в результате износа) и определяем поля расчетных значений, которые ограничиваются функциями регрессии верхнего и нижнего предельного отклонения. Выбор наиболее подходящих функций регрессии (отдельно для каждого параметра) выполнен методом наименьших квадратов [3]. Например, в результате регрессионного

Таблица 1

Статистические параметры внутренних усилий в главной балке

Параметр	Математическое ожидание	Стандарт
Изгибающий момент от постоянной нагрузки, M_n	m_{Mn} = 1515,04 $кН \cdot м$	Δ_{Mn} = 75,75 $кН \cdot м$
Изгибающий момент от временной нагрузки для расчета на прочность, M_p	m_{Mp} = 4188,24 $кН \cdot м$	Δ_{Mp} = 826,47 $кН \cdot м$
Изгибающий момент от временной нагрузки для расчета на выносливость, $M_{\max,ef}$	$m_{M\,\max,ef}$ = 2741,43 $кН \cdot м$	$\Delta_{M\,\max,ef}$ = 553,86 $кН \cdot м$

анализа получена аналитическая функция, характеризующая процесс деградации расчетного сечения по моменту сопротивления сечения (нетто) $W_n(t) = 0{,}025 - 8{,}44 \cdot 10^{-4} \cdot t^{0{,}602}$, м³, которая использована в дальнейших расчетах.

Задаем в расчетную модель в векторной форме:

$$\overrightarrow{d_i}(t) = \begin{pmatrix} d_i(t_0) \in [\overline{d_i}(t_0); \underline{d_i}(t_0)] \\ d_i(t_1) \in [\overline{d_i}(t_1); \underline{d_i}(t_1)] \\ \dots \\ d_i(t_k) \in [\overline{d_i}(t_k); \underline{d_i}(t_k)] \end{pmatrix}. \qquad (2)$$

В модели (2): i – индекс расчетного параметра; $\overline{d_i}(t_0), \overline{d_i}(t_1), \dots, \overline{d_i}(t_k)$ и $\underline{d_i}(t_0), \underline{d_i}(t_1), \dots, \underline{d_i}(t_k)$ – верхние и нижние предельные отклонения расчетного параметра в дискретном времени $t \in [t_0, t_1, \dots, t_k]$.

На третьей ступени выбираем модели оценки эксплуатационной надежности для двух комбинаций:

1. Нагрузка – прочность – износ – среда;
2. Циклы нагрузки – усталостная прочность.

В выбранных моделях введем событие – факт отказа конструктивного элемента $n_{Q,i}$, под которым подразумевается:

§ для первой комбинации – превышение случайной реализации нормального напряжения в расчетном сечении $s_x(N_j)$ над случайной реализацией предела текучести стали $s_т(N_j)$ в сжатой (растянутой) зоне расчетного элемента. То есть:

$$n_{Q,1} \Rightarrow [\, s_x(N_j) > s_т(N_j) \,];$$

§ для второй комбинации – превышение случайной реализации амплитудного растягивающего (сжимающего) нормального напряжения в элементе пролетного строения $s_{\max,ef}(N_j)$ над случайной реализацией расчетного сопротивления усталости $[s_т \cdot g_w](N_j)$. То есть:

$$n_{Q,2} \Rightarrow [\, s_{\max,ef}(N_j) > [s_т \cdot g_w](N_j) \,].$$

Число реализаций $N(t)$, необходимое для проведения численного статистического моделирования процесса нагружения главной балки, для соответствующих комбинаций принято равным расчетному числу циклов нагружения $N_p(t)$ и эквивалентному числу нагружений $N_э(t)$.

Аналитические функции взаимодействия между расчетными параметрами определены методами строительной механики с учетом требований, предъявляемых к расчету металлических конструкций мостов, в соответствии с типовыми расчетными схемами [1, 2].

Для проведения процедур имитационного эксперимента использована программная оболочка MathCAD со встроенными генераторами случайных чисел и разработанные авторами вычислительные и аналитические блоки обработки массивов случайных реализаций и оценки показателей надежности системы.

На четвертой ступени сформированы дискретные динамические системы на базе массивов случайных реализаций расчетных параметров и модели развивающегося во времени процесса на отрезке t =[0;40], лет эксплуатации.

На пятой ступени выполнена дискретизация имитационной модели с шагом Δt = 1 год, проведено численное статистическое моделирование процесса нагружения и определены факты отказа $n_{Q,1}$ и $n_{Q,2}$ для соответствующих объемов выборок.

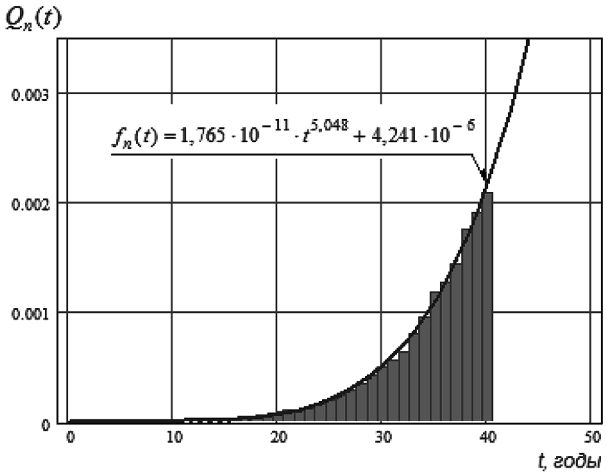


Рис. 3. Вероятность отказов для комбинации: нагрузка – прочность – износ – среда

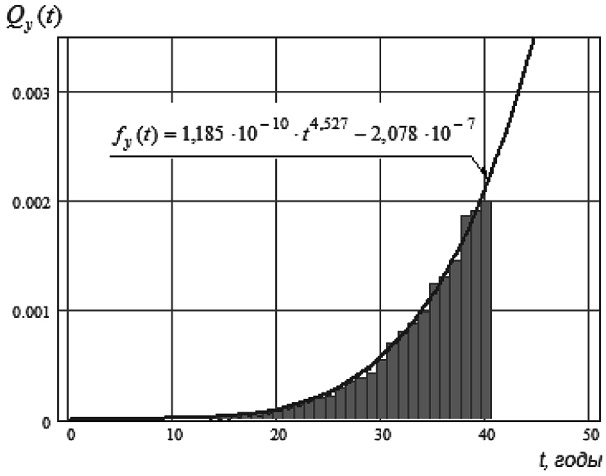


Рис. 4. Вероятность отказов для комбинации: циклы нагрузки – усталостная прочность

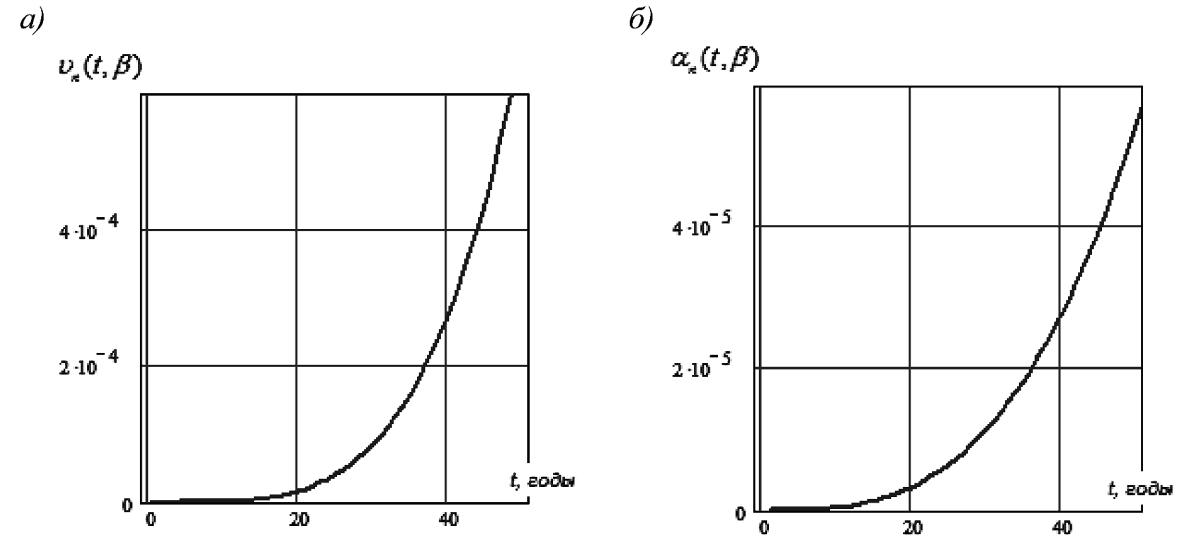


Рис. 5. Прогнозные модели показателей эксплуатационной надежности для комбинации нагрузка – прочность – износ – среда: *а)* скорость нарастания отказов $u_n(t,b)$; *б)* ускорение нарастания отказов $a_n(t,b)$

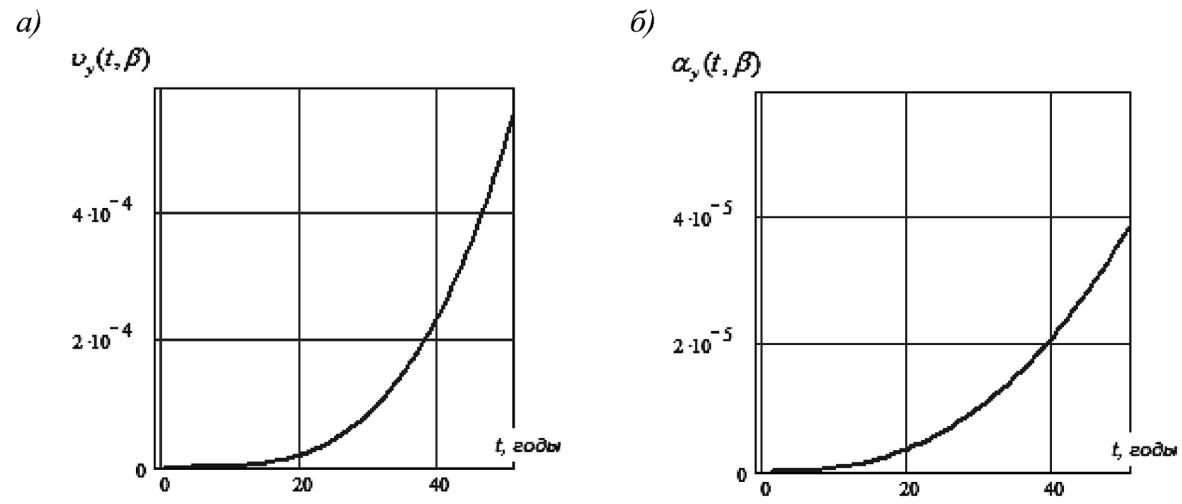


Рис. 6. Прогнозные модели показателей эксплуатационной надежности для комбинации циклы нагрузки – усталостная прочность: *а)* скорость нарастания отказов $u_y(t,b)$; *б)* ускорение нарастания отказов $a_y(t,b)$

Определение вероятности отказа «слабых» звеньев цепи расчетного элемента, при числе статистических испытаний $N(t) \to \infty$, выполнено по формуле [7]:

$$Q_i(t) = \frac{n_{Q,i} | N(t)}{N(t)},\ Q_i(t_k) \geq Q_i(t_{k-1}). \quad (3)$$

Используя зависимость (3), проведено статистическое моделирование вероятности отказов $Q_n(t)$ и $Q_y(t)$ соответственно для динамических систем: нагрузка – прочность – износ – среда; циклы нагрузки – усталостная прочность. Полученные результаты представлены в виде столбчатых диаграмм на рисунках 3 и 4.

Для сглаживания статистических рядов данных, полученных в ходе имитационного эксперимента, выбраны аппроксимирующие функции $f_{Q,i}(Q_i(t_k), \Delta_{Q,i,k})$, которые учитывают вероятностные отклонения $\Delta_{Q,i,k}$ случайных точек $Q_i(t_k)$:

$$f_{Q,i}(Q_i(t_k), \Delta_{Q,i,k}) \approx f_{Q,i}(t,b) = \\ = f_i(t) \pm e_{Q,i}(t,b), \quad (4)$$

где: $f_i(t)$ и $e_{Q,i}(t,b)$ – соответственно детерминированная и случайная составляющие процесса отказов $Q_i(t)$.

Таблица 2

Результаты оценки долговечности главной балки

Модель оценки	Обеспеченность, b	$\hat{S}$	$\hat{S}\cdot[u_i(t_0)+e_{u,i}(t_0,b)]$	t_k, годы	Резерв долговечности, годы
Нагрузка – прочность – износ – среда	0,99	10^2	$3{,}913\cdot10^{-8}$	14	отсутствует
		10^3		24	6
		10^4		43	25
		10^5		77	59
	0,999	10^2	$5{,}138\cdot10^{-8}$	15	отсутствует
		10^3		26	8
		10^4		46	28
		10^5		82	64
	0,9999	10^2	$6{,}252\cdot10^{-8}$	16	отсутствует
		10^3		27	9
		10^4		49	31
		10^5		86	68
Циклы нагрузки – усталостная прочность	0,99	10^2	$6{,}328\cdot10^{-8}$	14	отсутствует
		10^3		27	9
		10^4		52	34
		10^5		101	83
	0,999	10^2	$8{,}308\cdot10^{-8}$	15	отсутствует
		10^3		29	11
		10^4		56	38
		10^5		109	91
	0,9999	10^2	$1{,}011\cdot10^{-7}$	16	отсутствует
		10^3		31	13
		10^4		60	42
		10^5		116	98

Используя аналитические функции системы MathCAD и составленные блоки статистической обработки результатов, определены аппроксимирующие функции $f_{Q,i}(t,b)$, в которых детерминированные составляющие представлены соответствующими степенными функциями $f_n(t)$ и $f_y(t)$ – сплошные линии на рисунках 3 и 4, а составляющие $e_{Q,i}(t,b)$ – характеризуются уровнем достоверности интервальной оценки b, равным 0,99.

Выполнен прогноз изменения таких показателей эксплуатационной надежности, как скорость нарастания отказов $u_i(t,b)=\frac{d}{dt}f_{Q,i}(t,b)$ и ускорение нарастания отказов $a_i(t,b)=\frac{d^2}{dt^2}f_{Q,i}(t,b)$.

Полученные результаты оценки $u_i(t,b)$ и $a_i(t,b)$ для главной балки пролетного строения моста, взятого в качестве примера, приведены на рисунках 5 и 6.

Предложенные показатели эксплуатационной надежности: скорость нарастания отказов и ускорение нарастания отказов являются более чувствительным и информативным инструментом оценки долговечности конструкции.

На шестой ступени проводим анализ результатов имитационного эксперимента с целью выявления наличия или отсутствия резервов несущей способности и долговечности. Для реализации этой ступени нам потребуется определить минимально допустимый (или требуемый) уровень надёжности элемента (или конструкции в целом).

Запишем условие, при котором обеспечивается несущая способность конструктивного элемента на отрезке времени от t_0 до t_k:

$$\max u_i(t,b) = u_i(t_k,b) + e_{u,i}(t_k,b) \le \le \hat{S} \cdot [u_i(t_0) + e_{u,i}(t_0,b)], \quad (5)$$

$$[t_0; t_k]$$

где: $\hat{S} > 0$ – нормированный диагностический признак системы, характеризующий минимально допустимый уровень надежности и целесообразность выполнения ремонтно-восстановительных работ; $e_{u,i}(t_k,b)$ и $e_{u,i}(t_0,b)$ – случайные составляющие прогнозной модели скорости нарастания отказов $u_i(t,b)$.

Руководствуясь условием (5), выполнена оценка долговечности главной балки пролетного строения моста, рассматриваемого в качестве примера, при $t_0 = 0$. Полученные результаты сведены в таблицу 2.

Выводы:

1. Рассмотрен пример оценки несущей способности и долговечности моста с учетом индивидуальных особенностей режима эксплуатации на основании имитационного статистического моделирования процесса нагружения. Предложенный подход позволяет выполнять обоснованное ранжирование эксплуатируемых мостов по минимально допустимому уровню надежности и целесообразности выполнения ремонтно-восстановительных работ.

2. Для оценки резервов несущей способности и долговечности несущих элементов конструкций мостов предлагается использовать численные значения вероятности отказов, скорости нарастания отказов и ускорения нарастания отказов.

Литература

1. ГОСТ Р 52748-2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения.
2. СНиП 2.05.03-84*. Мосты и трубы. Госстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 1998. – 214 с.
3. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. – 12-е изд., перераб. – М.: Высшее образование, 2006. – 479 с.
4. СТ СЭВ 4940-84. Дороги автомобильные международные. Учет интенсивности движения.
5. ОДН 218.017-2003. Руководство по оценке транспортно-эксплуатационного состояния мостовых конструкций.
6. Кошутин Б.Н., Уваров Б.Ю. Статистическое исследование механических свойств некоторых строительных сталей. // Сб. трудов №96 МИСИ им. В.В. Куйбышева / Под общ. ред. Е.И. Беленя. – М., 1973. – С. 13-22.
7. Манапов А.З., Майстренко И.Ю. Динамические модели расчета вероятности отказов в строительных конструкциях // Материалы первой международной конференции «Оценка риска и безопасность строительных конструкций». Т.1. – Воронеж, 2006. – С. 140-142.

УДК 625.855; 577.4
А.В. Танеева – кандидат химических наук, доцент
Тел.: 89503258555, e-mail: sun-2007@list.ru
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)
А.В. Синкевич – аспирант
А.А. Карташова – студент
В.Ф. Новиков – доктор химических наук, профессор
Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ)

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ Г. КАЗАНИ

АННОТАЦИЯ
В работе проведена оценка проблем загрязнения атмосферного воздуха в районах перекрестков магистралей и улиц г. Казани. Линейно-колористическим методом определяли концентрации приоритетных загрязнителей. Показано, что по некоторым ингредиентам их концентрация превышает нормативные показатели в несколько раз.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автомобильные дороги, загрязнение воздуха, индикаторные трубки, озеленение.

A.V. Taneeva – candidate of chemical sciences, associate professor
Tel.: 89503258555, e-mail: sun-2007@list.ru
Kazan State University of Arcitecture and Engineering (KSUAE)
A.V. Sinkevich – post-graduate student
A.A. Kartashova – student
V.F. Novikov – doctor of chemical sciences, professor
Kazan State Power-Engineering University (KSPEU)

ECOLOGICAL SAFETY PROBLEMS OF AUTOMOBILE ROADS OF KAZAN CITY AND IT'S ANALYSIS

ABSTRACT
This study characterizes the evaluation of atmospheric pollution by the automobile transport on the roads of Kazan city. We defined concentration priority pollutants by the linear-colored method. Is shown, that concentration of some components exceeds normative parameters in some times. The results show a high pollution on major roads of Kazan city.

KEYWORDS: highways, pollution of air, display tubes, gardening.

В энергетической отрасли промышленности транспортные цеха насчитывают большой парк автомобильного транспорта, двигатели внутреннего сгорания которых выбрасывают в окружающую среду большое количество различных химических веществ, оказывающих негативное влияние на организм человека, что заметно сокращает среднюю продолжительность его жизни [1].

В выбросах энергетических установок автомобильного транспорта содержится большое количество несгоревшего топлива, доля которого существенно возрастает при работе автомобиля на малых оборотах, особенно во время остановок на красном сигнале светофора и при интенсивном разгоне. В результате неполного сгорания автомобильного топлива в двигателях внутреннего сгорания часть углеводородов трансформируется в сажу, в которой содержатся смолистые вещества. При технической неисправности двигателей внутреннего сгорания и в момент его форсирования количество сажи и других токсичных веществ резко возрастает [2-3].

Влияние автомобильного транспорта на окружающую среду во многом определяется условиями его работы, которые в основном формируются комплексом транспортных, дорожных и погодно-климатических факторов. Высокая интенсивность движения автомобильного транспорта и плотность транспортных потоков на улицах современных городов является основной причиной снижения скорости движения автотранспорта, что вызывает увеличение количества выбрасываемых в окружающую среду загрязняющих веществ [4].

Двигатели внутреннего сгорания автомобильного транспорта загрязняют атмосферный воздух химическими веществами, которые выбрасываются с отработанными и картерными газами, а также

попадают в воздух в результате испарения топлива. При этом основная масса выбросов приходится на отработавшие газы, в которых для бензинового двигателя с неправильно отрегулированным зажиганием и карбюратором содержание оксида углерода превышает норму в несколько раз [5-6].

Как известно, одним из необходимых условий для нормальной жизни людей является чистый воздух. Непрерывный рост количества автомобилей в нашей стране приводит к быстро растущему загрязнению в крупных городах, которое создает серьезную угрозу состоянию здоровья населения.

Специфика загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортном по сравнению со стационарными источниками загрязнения проявляется в следующем:

- в ежегодном увеличении численности автомобилей;
- в их пространственной распространенности;
- в непосредственной близости автомобильного транспорта к жилым районам и промышленным предприятиям, учебным заведениям, местам отдыха и др.;
- в высокой токсичности выбросов двигателей внутреннего сгорания в атмосферный воздух;
- в сложности технической реализации средств защиты от загрязнений на подвижных источниках;
- в низком расположении источников загрязнения от земной поверхности, в результате чего отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания автомобильного транспорта скапливаются в зоне дыхания человека и слабее рассеиваются ветром по сравнению с промышленными выбросами [5].

Отработавшие газы содержат более 250 химических веществ и соединений: оксид углерода (CO), углеводороды (C_nH_m), оксиды азота (NO_x), сажа, бенз(а)пирен, тетраэтилсвинец, диоксид серы, альдегиды и др. Обычно по токсичности углеводороды отличаются один от другого, но, как правило, их рассматривают в сумме.

Особо токсичен бенз(а)пирен. Накапливаясь в организме, он стимулирует образование злокачественных опухолей. Предельно допустимые концентрации бенз(а)пирена были впервые установлены в нашей стране и являются одними из самых жестких в мире.

Альдегиды представлены тремя ядовитыми и обладающими резким запахом соединениями: формальдегид, акролеин и уксусный альдегид. Наибольшее количество альдегидов образуется на режимах холостого хода и малых нагрузок, когда температуры сгорания в двигателе невысокие.

Токсичность сажи и свинца также достаточно велика. Наибольший вред сажи заключается в адсорбировании на ее поверхности бенз(а)пирена, который оказывает на организм человека канцерогенное влияние.

Кроме отработавших газов двигателей внутреннего сгорания, источниками загрязнения атмосферы являются картерные газы и испарения топлива из карбюратора и топливного бака. С картерными газами выделяется до 20 % углеводородов, на испарение из карбюратора и топливного бака приходится в среднем 15 % углеводородов [5].

Еще один источник загрязнения атмосферного воздуха твердыми частицами – загрязнение пылью от износа резины (до 1,6 кг в год на один автомобиль), тормозных колодок и дисков сцепления автомобилей, а также продуктами истирания поверхности дорог.

Оксид углерода (CO), или угарный газ, обладает ярко выраженным отравляющим действием. Легкая степень отравления вызывает боли в голове, потемнение в глазах, повышенное сердцебиение, нарушает окислительные процессы в организме человека, так как вступает в реакцию с гемоглобином крови, замещая в нем кислород. Следует отметить, что при неисправном двигателе автомобиля содержание оксида углерода в выхлопных газах увеличивается в 10-20 раз [3, 7].

Оксиды азота при взаимодействии с влагой, находящейся в воздушной среде, образуют азотную и азотистую кислоты, которые при вдыхании оказывают негативное влияние на дыхательную систему организма человека. Оксиды азота опасны для листьев растений. Установлено, что их непосредственное токсичное влияние на растения проявляется при концентрации оксидов азота в воздухе в пределах 0,5-6,0 мг/м^3. На величину выбросов оксидов азота большое влияние оказывает температура в камере сгорания двигателей. С повышением температуры в камере сгорания автомобильного двигателя увеличивается концентрация оксидов азота. Ранний впрыск топлива или высокие давления сжатия в камере сгорания также способствуют образованию оксидов азота. Для человеческого организма оксиды азота еще более вредны, чем диоксид углерода. При контакте диоксида азота с влажной поверхностью (слизистые оболочки глаз, носа, бронхов) образуются азотная и азотистая кислоты, которые вызывают раздражение слизистых оболочек, астматические проявления и отек легких организма человека.

В составе отработавших газов содержатся несколько десятков различных углеводородных соединений. Особенно опасными являются канцерогенные вещества, вызывающие раковые заболевания человека.

Сажа также является опасным компонентом отработавших газов. Образование сажи – это процесс термического разложения углеводородов в газовой фазе в условиях недостатка или отсутствия кислорода. Начало образования сажи зависит от таких факторов, как температура и давление в камере сгорания, вида топлива, состава топливовоздушной смеси (коэффициента избытка воздуха), особенностей конструкции двигателя внутреннего сгорания [4, 8].

По расчетам, «вклад» автомобильного транспорта в загрязнение атмосферы составляет до 90 % по оксиду углерода и 70 % по оксиду азота. Автомобиль также способствует попаданию почву и воздух тяжелых металлов и других вредных веществ.

Следует отметить, что особенно высокое содержание загрязняющих веществ автомобильного транспорта наблюдается на уличных перекрестках перед светофорами, где двигатели автомобилей работают на богатых смесях. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в районе перекрестков определяется, в основном, характеристиками автомобильного транспорта, техническими параметрами и состоянием дороги, а также системой организации дорожного движения. В районах с узкими улицами и высотными домами выхлопные газы рассеиваются медленно и вызывают хронические отравления людей, длительное время находившихся на воздухе (инспектора дорожного движения, уличные торговцы и др.). Повышенная загазованность воздуха наблюдается не только на магистралях, но и в садах, скверах, внутридворовых территориях. Показано, что на балконах, выходящих на автомагистрали, на уровне четвертого этажа содержание оксида углерода в воздухе может достигать 28 мг/м^3, в квартире – 10-15 мг/м^3 (при норме 3-5 мг/м^3) [5, 9].

Методы по охране воздушной среды городов от выбросов автотранспорта включают: градостроительные, административно-организационные, технико-технологические и нормативно-правовые.

К градостроительным методам, снижающим воздействие автотранспорта, относятся следующие мероприятия:

- строительство жилых зданий на соответствующем расстоянии от автомагистралей, размещение вдоль них зеленых насаждений;

- строительство транспортных развязок в разных уровнях, строительство тоннелей и пешеходных переходов;

- расширение магистралей и развитие улично-дорожной сети;

- строительство объездных дорог для транзитного автотранспорта;

Административно-организационные методы включают:

- организацию одностороннего движения на участках городской застройки с узкой проезжей частью, имеющих сложившийся характер планировки;

- выделение в центральной части городов территорий с запретом или ограничением на движение большегрузного автотранспорта;

- внедрение автоматизированных систем управления дорожным движением на улицах крупных городов.

К технико-технологическим методам относятся мероприятия по повышению экономичности двигателей внутреннего сгорания, снижению массы конструкций, снижению токсичности отработавших газов (нейтрализаторы выхлопных газов, фильтры, присадки к топливу), применению комбинированных источников энергии.

Нормативно-правовые методы включают мероприятия по установлению норм выбросов загрязняющих веществ и норм платы за выбросы загрязняющих веществ, по введению экологических налогов и штрафов, формированию финансовых средств на природоохранные цели.

Таким образом, защита воздушной среды города охватывает целый комплекс природоохранных мероприятий, решение которых позволит оздоровить окружающую среду, что снизит количество заболеваний человека, связанных с экологическим фактором [6, 10].

Методика исследования.

Для определения концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на различных перекрестках улиц и магистралей г. Казани мы использовали индикаторные трубки (линейно-колористический метод), которые зарекомендовали себя среди тест-систем как самые массовые и недорогие средства контроля состава атмосферного воздуха в диапазонах концентраций, включающих их предельно допустимые значения.

Основное преимущество линейно-колористического метода заключается в экспрессности проведения анализа непосредственно на месте отбора пробы, простоте аппаратурного оформления, достаточно высокой чувствительности и точности анализа. Кроме того, перед проведением анализа не требуется регулировка и настройка аппаратуры.

Суть метода состоит в том, что окраска индикаторного порошка изменяется в результате реакции с веществом, которое находится в анализируемом воздухе. При этом длина индикаторного порошка, изменившего первоначальную окраску, пропорциональна концентрации анализируемого вещества, которую измеряют по градуировочной шкале, нанесенной на индикаторную трубку. Определить содержание загрязняющих веществ в воздухе по длине изменившего окраску порошка в индикаторной трубке можно только при соблюдении ряда условий. Окраска индикаторного слоя должна быть контрастной и интенсивной, особенно при измерении минимально определяемых концентраций. Изменивший окраску индикаторный слой должен иметь достаточную для измерений длину и четкую границу раздела окрасок, величина которой должна увеличиваться с ростом концентрации определяемого компонента [11-12].

Результат измерения концентрации загрязняющего вещества приводили к нормальным условиям (Сн): температура 293 К, атмосферное давление 101,3 кПа (760 мм рт.ст.), относительная влажность 60 %.

Концентрацию (Сн) при нормальных условиях в мг/м^3 вычисляли по формуле:

$$C_н = C_{t,j,p} \frac{(273+t)\cdot 101.3}{293\cdot r} K_в, \qquad (1)$$

где Ct, φ, р – результат измерения концентрации вредного вещества, при температуре окружающего

воздуха t ^{0}C, относительной влажности φ % и атмосферном давлении Р кПа, мг/м^3;

Кв – коэффициент, учитывающий влияние температуры и влажности окружающего воздуха на показания индикаторных трубок (табличные данные).

Относительная погрешность измерения (δ) соответствовала ГОСТу [11] при условиях: барометрическое давление - от 90 до 104 кПа (680 – 780 мм рт.ст.), относительная влажность – 30-80 %, температура – от 288 до 303 К.

Величину абсолютной погрешности (Δ) вычисляют по формуле [13-14]:

$$\Delta = C_н \frac{d}{100}, \qquad (2)$$

где Сн – концентрация вещества при нормальных условиях,

δ – относительная погрешность измерения.

Для оценки степени загрязнения атмосферного воздуха в районе автомобильных дорог был выбран перекресток ул. Декабристов – ул. Чистопольская (Вахитова) г. Казани. Такой выбор был обусловлен наличием значительных транспортных потоков автомобильного транспорта через данный перекресток, постоянных пробок, обусловленных неоптимальной работой светофоров и регулярными авариями, а также наличием в этом районе большого количества учебных учреждений и общественных зданий. На указанном перекрестке экспериментально были определены концентрации основных загрязняющих веществ, выбрасываемых в результате работы двигателей внутреннего сгорания автомобильного транспорта. Этот перекресток характеризуется высокой интенсивностью движения транспортных потоков, вследствие чего здесь нередко можно наблюдать автомобильные заторы и пробки. Кроме того, на этом участке наблюдается достаточно высокая интенсивность пешеходных потоков, а постоянное вдыхание загрязненного воздуха может привести к риску возникновения различных заболеваний у населения, проживающего в этом микрорайоне.

Для оценки характера загрязнения в районе перекрестка ул. Декабристов – ул. Чистопольская (Вахитова) г. Казани нами были определены концентрации следующих загрязняющих воздушную среду веществ: оксид углерода, диоксид азота, взвешенные вещества, формальдегид, бензин, сумма углеводородов.

С учетом транспортных и пешеходных потоков на данном перекрестке были выбраны несколько экспериментальных точек определения концентрации загрязняющих веществ. Точка 1 – в 1 метре от проезжей части, точка 2 – в 5 метрах, точка 3 – 10 метров от проезжей части. Точка 4 – 1 метр от проезжей части, точка 5 – 10 м. Точка 6 – 1 метр от проезжей части, точка 7 – 5 метров, точка 8 – 10 метров (рис. 1). Анализ проводили в марте-апреле 2008 года. Результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Из полученных данных видно, что только бензин и сумма углеводородов не превышают нормативные значения. В остальных случаях количество загрязнителей воздушной среды на перекрестке значительно превышает предельно-допустимые концентрации. Показано, что в точке 1 концентрация оксида углерода превышает допустимую в 4,4 раза, в других местах натурных наблюдений фактические концентрации изменяются незначительно.

По диоксиду азота максимальная наблюдаемая концентрация составляет 1,6 ПДК (точка 4); по взвешенным веществам в точке 4 концентрация составляет 3,8 ПДК, в точке 1 – 1,3 ПДК, в точке 6 – 1 ПДК. Количество формальдегида в точке 1 – 2,86 ПДК, в точках 4 и 6 – 2,2 ПДК.

В данном районе располагаются жилые дома, Энергетический университет, образовательные учреждения, магазины, общественные здания. На данном перекрёстке воздействию загрязняющих веществ высоких концентраций подвергаются пешеходы, пассажиры общественного транспорта, водители автомобилей и сотрудники ГИБДД, что может негативно сказаться на их здоровье.

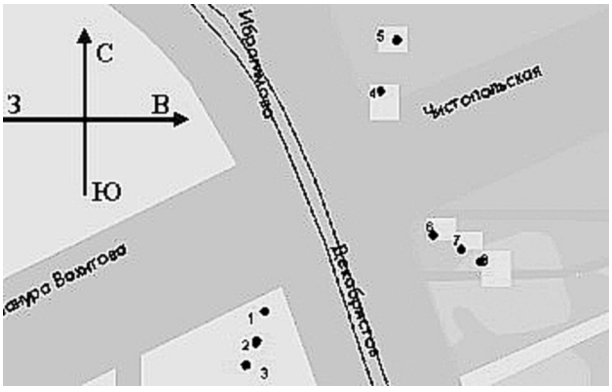


Рис.1. Точки определения загрязняющих веществ на перекрестке ул. Декабристов – ул. Чистопольская (Вахитова)

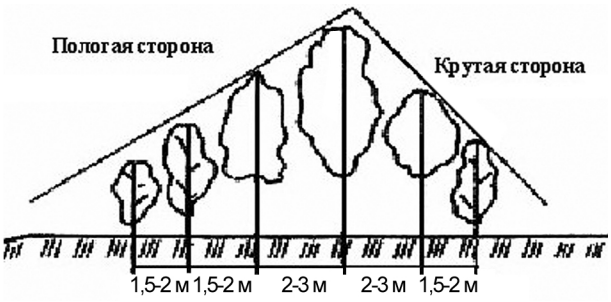


Рис. 2. Схема шумо-газо-пылезащитного озеленения

Таблица

Фактическая концентрация загрязняющих веществ в воздушной среде на перекрестке ул. Декабристов – ул. Чистопольская (ул. Вахитова)

№	Загрязнитель	Точка определения	Фактическая концентрация, мг/м^3	Погрешность определения	ПДК$_{мр}$ мг/м^3	ПДК$_{сс}$ мг/м^3	Кратность превышения ПДК$_{мр}$	Класс опасности
1	2	3	4		5	6		7
1	Взвешенные вещества	1 4 6	0,65 1,90 0,50	±0,10 ±0,30 ±0,15	0,5	0,15	1,3 3,8 1	–
2	Оксид углерода	1 2 3 4 5 6 7 8	22,0 22,0 21,5 20,0 18,0 19,0 19,0 18,5	±0,10 ±0,20 ±0,10 ±0,10 ±0,25 ±0,20 ±0,20 ±0,10	5,0	3,0	4,4 4,4 4,3 4,0 3,6 3,8 3,8 3,7	4
3	Бензин	1 4 6	0,05 0,05 0,04	±0,10 ±0,10 ±0,10	5,0	1,5	–	4
4	Диоксид азота	1 4 6	0,12 0,14 0,13	±0,20 ±0,30 ±0,15	0,085	0,04	1,42 1,6 1,53	2
5	Углеводороды	1 4 6	0,03 0,03 0,02	±0,10 ±0,25 ±0,25	5,0	1,5	–	4
6	Формальдегид	1 4 6	0,10 0,08 0,08	±0,10 ±0,20 ±0,20	0,035	0,03	2,86 2,23 2,23	2

Условия низкой скорости ветра (3-5 м/с) не способствуют рассеиванию загрязнения над перекрестком и в его районе.

Для улучшения качества воздушной среды в районе перекрестка ул. Декабристов – ул. Чистопольская (Вахитова) можно предложить ряд мероприятий. Как было показано ранее, уровень загрязнения атмосферного воздуха в районе перекрестка определяется, в основном, характеристиками автомобильного транспорта, техническими параметрами и состоянием дороги, а также системой организации дорожного движения.

К организационным мерам защиты воздуха от загрязнения относится регулирование дорожного движения путем исключения частых торможений и ускорений автомобиля, наиболее способствующих выбросу загрязняющих веществ.

Для ликвидации частых торможений и ускорений, обеспечения равномерного движения автомобилей и значительного снижения загрязнения воздуха, можно предложить следующие мероприятия:

- строительство подземных или надземных пешеходных переходов;
- строительство транспортных развязок.

Более простой способ улучшения экологической ситуации на перекрестке, но весьма эффективный – это шумо-газо-пылезащитное озеленение прилегающей территории (рис. 2).

Озеленение осуществляется таким образом: 1 ряд от дороги – низкий кустарник, 2 ряд – высокий кустарник, 3 ряд – сопутствующая древесная порода, далее – главная древесная порода, 5 ряд – сопутствующая древесная порода и последний ряд – высокий кустарник. В соответствии с данными

исследований установлено, что пятирядная посадка лиственных деревьев в шахматном порядке с кустарником шириной 20 м является наиболее эффективной, так как снижает концентрацию отработавших газов на 60-70 %. Данное мероприятие, конечно, не уменьшит количество загрязняющих веществ до нормативных, но значительно улучшит экологическую ситуацию на исследуемом перекрестке и частично приведёт к оздоровлению окружающей среды.

Выводы

Полученные данные показывают, что на исследуемом перекрестке сложилась неблагоприятная экологическая ситуация, связанная с высокой концентрацией загрязняющих веществ в воздушной среде. Для улучшения экологической ситуации на данном перекрестке и оздоровления окружающей среды необходимо решение технических вопросов, строительство пешеходных переходов и транспортных развязок, а также шумо-газо-поглощающее озеленение прилегающей к перекрестку территории.

Литература

1. Киселев А.В., Фридман К.Б. Оценка риска здоровью. Подходы к использованию в медико-экологических исследованиях и практике управления качеством окружающей среды. – СПб, 1997. – 103 с.
2. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек: Учеб. пособие для вузов, средних школ и колледжей. 2-е изд. испр. и доп. – М.: ФАИР-ПРЕСС, 2003. – 560 с.
3. Фельдман Ю.Г. Гигиеническая оценка автотранспорта как источника загрязнения атмосферного воздуха. – М.: Медицина, 1975. – 247 с.
4. Секерин С.В. Влияние загрузки автодорог движением на экологические характеристики работы автомобильного транспорта в городских условиях // В сборнике материалов III Международной научной конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности». – Пенза, 2003. – С. 169-171.
5. Немчинов М.В., Систер В.Г., Силкин В.В. Охрана окружающей природной среды при проектировании и строительстве автомобильных дорог. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 240 с.
6. Павлова Е.И. Экология транспорта. – М.: Высшая школа, 2006. – 343с.
7. Скорченко В.В. Экспериментальные исследования выбросов СО автомобилями в различных дорожных условиях // В сб. статей «Организация и безопасность дорожного движения, вып. 4. – Тбилиси: Изд-во «Сабчота Сакартвело», 1986. – 256 с.
8. Горбунов В.В., Патрахальцев Н.Н. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. Учебное пособие. – М.: Изд-во РУДН, 1998. – 216 с.
9. Егоров А.А., Гроздова О.И., Царева Ю.И. Рассеяние в атмосфере оскида углерода от автомобильного транспорта / Экология и промышленность России, 2006, январь. – С. 38-41.
10. Сафронов Э.А. Транспортные системы городов и регионов. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. – 270с.
11. ГОСТ 12.1.014-84. Система стандартов безопасности труда «Воздух рабочей зоны. Метод измерения концентраций вредных веществ индикаторными трубками». – М.: Стандартинформ, 2008.
12. Гиззатуллин А.Р., Каратаев О.Р., Танеева А.В., Хамзина Е.А., Новиков В.Ф. Газохроматографические методы анализа окружающей среды предприятий строительной индустрии. – Казань: КГУ, 2006. – 260 с.
13. Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99 ГСИ «Метрология. Основные термины и определения». Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации». – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000.
14. Муравьев А.Г., Петрова Н.М. Портативное оборудование для контроля химических параметров окружающей среды // Экология производства, 2004, № 1. – С. 78-88.
15. ОДМ 218.011-98. Отраслевая дорожная методика «Автомобильные дороги общего пользования. Методические рекомендации по озеленению автомобильных дорог». – М., 1998. – 44 с.

ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНОМ ЖУРНАЛЕ "ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА"

Статья должна быть набрана в программе Microsoft Word (версия не ранее MS Word 97). Файл, названный именем автора статьи, представить с расширением RTF.

Параметры страницы:

- размер страницы – 297х210мм (формат А4);
- поля: сверху – 25 мм, снизу – 30 мм, слева – 25 мм, справа – 25 мм;
- ориентация страницы – книжная.

Параметры форматирования текста:

- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта – 12 пт;
- абзацный отступ – 10 мм (не задавать пробелами);
- выравнивание – по ширине;
- заголовки полужирным шрифтом, заглавными буквами, с выравниванием по центру;
- междустрочный интервал – одинарный.

При наборе статьи исключить автоматический перенос слов. Запрещено уплотнение интервалов шрифта.

Объем публикации – не менее 5 полных страниц и не более 10 страниц, включая таблицы и иллюстрации.

Таблицы и иллюстрации скомпоновать с учетом вышеуказанных полей и представить отдельным файлом.

Таблицы создать средствами Microsoft Word и присвоить им имена: Таблица 1, Таблица 2 и т.д. Название таблицы с порядковым номером (или номер таблицы без названия) располагается над таблицей. Текст таблицы должен быть набран шрифтом размером 10-12 пт с одинарным межстрочным интервалом.

Иллюстрации представить в виде файлов основных графических форматов (tif, jpg, bmp, gif) с именами Рис. 1, Рис. 2 и т.д. Все объекты должны быть черно-белыми (градации серого), четкого качества. Рекомендуемое разрешение - 300 dpi. Названия иллюстраций и подписи к ним набираются шрифтом размером 10-12 пт с одинарным межстрочным интервалом. Не допускается выполнение рисунков в редакторе Microsoft Word. Минимальный размер иллюстраций – 80х80 мм, максимальный – 160х240 мм. В месте вставки таблиц и иллюстраций в тексте, начиная с красной строки, сделать обязательную соответствующую пометку [Таб. 1], [Таб. 2], [Рис. 1], [Рис. 2] и т.д. с указанием названия.

Для набора формул и вставки символов использовать встроенный в Microsoft Word редактор формул Microsoft Equation или Math Type. Формулы в статье, подтверждающие физическую суть исследования (процесса), представляются без развернутых математических преобразований. Формулы компонуются так, чтобы впоследствии они могли быть размещены в колонке шириной 80 мм (при необходимости использовать перенос формулы на следующую строку), помещаются по центру строки, в конце которой в круглых скобках ставится порядковый номер формулы. Ссылку на номер формулы в тексте также следует брать в круглые скобки. Следует применять физические величины, соответствующие стандарту СТ СЭВ 1052-78 (СН 528-80).

Иллюстрации, формулы, таблицы и ссылки на цитированные источники, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования в тексте. При этом ссылка на литературные источники берётся в квадратные скобки.

Образец оформления статьи

УДК 691.33

И.И. Иванов – кандидат технических наук, доцент

Тел.: 89051234567, e-mail: ivanov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

разделительный интервал

СОВРЕМЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

разделительный интервал

АННОТАЦИЯ

Текст аннотации

разделительный интервал

Ключевые слова: Теплоизоляционные материалы, карбамидные пенопласты, модификация

разделительный интервал

I.I. Ivanov – candidate of the technical sciences, assistant professor

Tel.: 89051234567, e-mail: ivanov@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

разделительный интервал

MODERN BUILDING MATERIAL

разделительный интервал

ABSTRACT

Текст аннотации

разделительный интервал

Keywords: Thermal insulating materials, of carbamide foams, updating

разделительный интервал

Текст статьи

разделительный интервал

Литература

Перечень библиографических ссылок обязателен!

Библиографические ссылки представить в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008.

Примеры:

1. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 500 с.
2. Драновский А.Н. Динамические параметры прочности песков // Сб. научных трудов “Материалы 49-й Республиканской научной конференции”. – Казань: КГАСА, 1998. – С.186-191.
3. Завадский В.Ф., Путро Н.Б., Максимова Ю.С. Поризованная строительная керамика // Строительные материалы, 2004, №2. – С. 21-22.
4. Корчагина В.И. Исследование в области модификации ПВХ и биполимерных систем на его основе // Автореферат канд. дисс. на соиск. степени канд. хим. наук. – Казань, 1974. – 22 с.
5. Химическая технология керамики: Учеб. пособие для вузов / Под ред. проф. И.Я. Гузмана. – М.: ООО РИФ “Стройматериалы”, 2003. – 496 с.
6. Приемопередающее устройство: пат. 2187888 Рос. Федерация. № 2000131736/09; заявл. 18.12.00; опубл. 20.08.02. Бюл. № 23 (II ч.). – 3 с.
7. ГОСТ 9128-97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон. – М., 2000. – 15 с.
8. Отчёт по НИР. Инв. №02200703350. Соколов Б.С. и др. Разработка новых и совершенствование существующих методов расчёта железобетонных и каменных элементов, конструкций зданий и сооружений.
9. Инвестиции останутся сырьевыми // PROGNOSIS.RU: ежедн. интернет-изд. 2006. 25 янв. URL: http://www.prognosis.ru/print.html?id=6464 (дата обращения: 19.03.2007).

В список литературы вносятся только опубликованные работы.

Название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким. Аннотация (1 абзац от 500 до 1000 знаков с пробелами) должна ясно излагать содержание статьи и быть пригодной для самостоятельного опубликования.

В разделе **“Введение” рекомендуется** указать не решенные ранее вопросы, сформулировать и обосновать цель работы и, если необходимо, рассмотреть ее связь с важными научными и практическими направлениями. Могут присутствовать ссылки на публикации последних лет в данной области, включая зарубежных авторов.

Основная часть статьи должна подробно освещать содержание исследований, проведенных автором (авторами). Полученные результаты должны быть освещены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть статьи может делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками) и содержать анализ последних публикаций, посвященных решению вопросов, относящихся к данным подразделам.

В разделе **“Заключение”** должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Язык публикации: русский или английский.

Тезисы к публикации не принимаются!

Если статья была или будет направлена в другое издание, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Ранее опубликованные статьи к рассмотрению не принимаются.

Авторы предоставляют в редакцию журнала следующие материалы:

– **Два экземпляра статьи в четко распечатанном виде, скрепленные степлером** (один экземпляр с таблицами и иллюстрациями в тексте статьи, другой – с пометками места их вставки);

– **Электронный носитель** (дискета 3,5 дюйма, CD-диск. Электронная версия статьи должна соответствовать варианту на бумажном носителе);

– **Две рецензии** (соответствующего уровня) от двух независимых организаций;

– **Экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись**;

– **Анкета автора (ов) в предлагаемой форме** (заполнить на русском и английском языке);

Материалы к публикации вложить в полиэтиленовый файл.

Датой поступления статьи считается день представления последнего из вышеуказанных материалов.

Представленные авторами научные статьи направляются на независимое закрытое рецензирование специалистам по профилю исследования, членам редакционной коллегии. Основными критериями целесообразности публикации

являются новизна полученных результатов, их практическая значимость, информативность. В случае, когда по рекомендации рецензента статья возвращается на доработку, датой поступления считается день получения редакцией ее доработанного варианта. К доработанной статье в обязательном порядке прикладываются ответы на все замечания рецензента. Статьи, получившие отрицательные заключения рецензентов и не соответствующие указанным требованиям, решением редакционной коллегии журнала не публикуются и не возвращаются (почтовой пересылкой). Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей с сохранением авторского варианта научного содержания.

После уведомления редакцией принятия рукописи и согласования сроков её публикации с ответственным исполнителем журнала, авторы предоставляют копию платежной квитанции или справку, подтверждающую обучение автора (ов) в аспирантуре на момент подачи статьи.

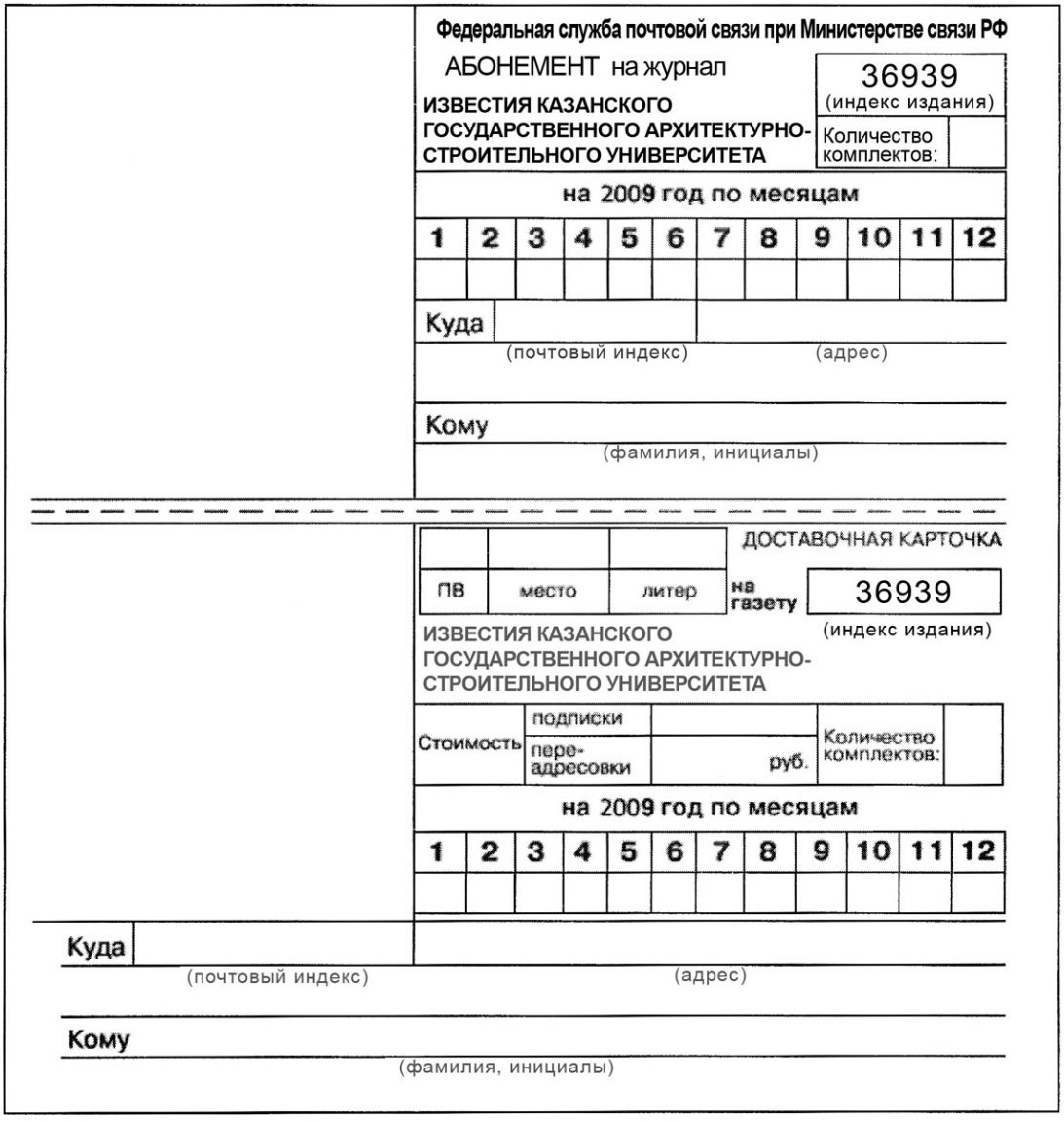
Журнал "Известия КазГАСУ" выходит 2 раза в год (июнь, декабрь), тиражом 500 экз. Журнал является подписным изданием и включен в общероссийский каталог ОАО Агентства "РОСПЕЧАТЬ", индекс издания – 36939.

АВТОРЫ, ЯВЛЯЮЩИЕСЯ ЧЛЕНАМИ РЕДКОЛЛЕГИИ И (ИЛИ) ПОДПИСЧИКАМИ ЖУРНАЛА, ИМЕЮТ ПРЕИМУЩЕСТВЕННОЕ ПРАВО НА ОПУБЛИКОВАНИЕ СВОИХ СТАТЕЙ.

СТАТЬИ АСПИРАНТОВ ПУБЛИКУЮТСЯ БЕСПЛАТНО.

Научная статья в полном объеме будет также размещена на официальном сайте "Известия КазГАСУ" – электронном научном издании (ЭНИ) http://izvestija.kgasu.ru/ (Свидетельство о регистрации средства массовой информации Эл №ФС 77-31046 от 25.01.2008).

Все материалы направлять по адресу: 420043, г. Казань, ул. Зелёная, д.1, ОПИР, комн. 79. Телефон (843) 510-46-39, 236-26-88 (тел./факс). E-mail: izvestija@kgasu.ru. Ответственный исполнитель журнала – Хабибулин Марат Максутович.



Федеральная служба почтовой связи при Министерстве связи РФ

АБОНЕМЕНТ на журнал

36939 (индекс издания)

ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Количество комплектов:

на 2009 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда (почтовый индекс) (адрес)

Кому (фамилия, инициалы)

ДОСТАВОЧНАЯ КАРТОЧКА

ПВ	место	литер

на газету 36939 (индекс издания)

ИЗВЕСТИЯ КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Стоимость: подписки, переадресовки — руб.

Количество комплектов:

на 2009 год по месяцам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Куда (почтовый индекс) (адрес)

Кому (фамилия, инициалы)

АНКЕТА АВТОРА(ОВ)

(заполняется в электронном виде отдельным файлом названным «Анкета» с расширением RTF)

Фамилия, имя, отчество (полностью), **учёная степень,** **звание,** **должность.** **Полное наименование организации** (в скобках – сокращённое), **город** (указывается, если не следует из названия организации) (для каждого автора)	
Название статьи	
Аннотация (1 абзац от 500 до 1000 знаков с пробелами)	
Ключевые слова (от 5 до 10 слов или словосочетаний)	
Научная тематика статьи	Впишите одну из представленных: – Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия; – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности; – Градостроительство, планировка сельскохозяйственных населенных пунктов; – Строительные конструкции, здания и сооружения; – Основания и фундаменты, подземные сооружения; – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение; – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов; – Строительные материалы и изделия; – Гидротехническое строительство; – Технология и организация строительства; – Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей; – Гидравлика и инженерная гидрология; – Строительная механика.
Паспортные данные (номер, кем выдан, дата выдачи, адрес регистрации), **ИНН**	
Адрес для переписки	
E-mail	
Контактные телефоны	

AUTHOR'S QUESTIONNAIRE

(it is filled in electronic type by separate file named “Questionnaire” with expansion RTF)

Full Last name First name, Middle name **Scientific degree,** **Scientific rank,** **Current position.** **Full name of the organization** (brief name in parentheses), **City** (it is noticed if it is not clear from the name of organization) (for each author)	
Title of the article	
Abstract (1 paragraph from 500 to 1000 symbols with gaps)	
Keywords (from 5 to 10 words or phrases)	
Scientific topic of the article	Include one of the presented: – Theory and history of architecture, restoration and reconstruction of historical-architectural heritage; – Architecture of buildings and constructions. Creative conceptions of architectural activity; – Town-planning, planning of rural settlements; – Building constructions, buildings and structures; – Ground works and foundations, underground constructions; – Heating, ventilation, air conditioning, gas supply and illumination; – Water-supply, water drain, building systems of water resources protection; – Building materials and making; – Hydraulic engineering construction; – Technology and organization of building; – Design and construction of roads, metropolitan railways, airdromes, bridges and transport tunnels; – Hydraulics and engineering hydrology; – Building mechanics.
Passport	
Mailing address	
E-mail	
Telephone numbers for communication	