

# СОДЕРЖАНИЕ

СЛОВО РЕДАКТОРА.....	4
----------------------	---

## УЧЕБНАЯ, НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И ОБЩЕСТВЕННАЯ ЖИЗНЬ УНИВЕРСИТЕТА

Строганов В.Ф., Громаков Н.С. Кафедра химии и инженерной экологии в строительстве – 50 лет.....	6
---	---

## НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ДИЗАЙНА

Балакина Л.А. Библия как источник научного исследования архитектурных форм.....	9
Балакина Л.А., Валеева Е.А. Архитектура культовых сооружений в библейских текстах.....	13
Быстров П.Н. Функциональный аспект редевелопмента промышленных территорий.....	22
Закирова Ю.А. Пешеходное движение как фактор воздействия на организацию городской среды.....	25
Литвинов Д.В. Рекреационное использование прибрежных зон крупных городов.....	29
Надырова Х.Г. Архитектура городов Золотой Орды.....	33
Назарова И.В. Опыт реконструкции архитектурно-пространственной структуры крепости Белый Яр середины XVII века.....	39
Назмиева А.А. Исламский сад в мировой истории архитектуры.....	45
Тропольская Н.Е. Архитектурно-историческое описание Казанского Свято-Троицкого Федоровского монастыря.....	51

## ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Ахметзянов Ф.Х., Радайкин О.В. К определению зависимостей параметров поверхностных трещин в бетонных и железобетонных объёмных элементах.....	57
Замалиев Ф.С., Хайрутдинов Ш.Н. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных изгибаемых конструкций при длительном действии нагрузок.....	65
Майстренко И.Ю. Оценка надёжности несущих конструкций металлических мостов методом статистического моделирования.....	68
Манапов А.З., Хусайнов Д.М., Козлов М.В. О силе и последствиях урагана 8 июля 2007 года.....	76
Мирсайпов Илшат Т. Зоны концентрации напряжений при циклическом нагружении в зоне действия поперечных сил железобетонных балок.....	83
Мустакимов В.Р., Шафигуллин Р.И. Исследование НДС армированного вертикальными элементами песчаного грунта, проявляющего просадочные свойства в объёмном лотке.....	89
Мустафин И.И., Фардиев Р.Ф. Обеспечение совместной работы железобетонной обоймы с усиливаемым внецентренно-нагруженным элементом.....	96
Прохоров С.В. Оптимизация арматуры сильно нагруженных железобетонных колонн со случайными эксцентриситетами.....	100
Сабитов Л.С. Разработка и исследование соединений стальных труб разного диаметра.....	102
Якупов Н.М., Куприянов В.Н., Якупов С.Н. К исследованию механических характеристик пленок и пленочных структур.....	106

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Изотов В.С. Особенности формирования структуры и свойств портландцемента с добавкой цеолитсодержащих пород.....	113
Пушенко А.С. К вопросу о прочности высокопрочного бетона и железобетонных колонн при воздействии пожара.....	116
Старовойтова И.А., Абдрахманова Л.А., Хозин В.Г., Родионова О.Е., Померанцев А.Л. Оптимизация составов гибридных связующих на основе полиизоцианатов и водных растворов силикатов натрия.....	122
Халиуллин М.И., Гайфуллин А.Р., Сабанина Ю.В. Современные клеевые сухие строительные смеси с применением комплекса местных минеральных и химических добавок для высококачественной отделки.....	131
Юсупова Ю.Ф. Влияние минеральных масел на эксплуатационные качества железобетонных конструкций.....	137

## АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЯ И САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА

Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Каюмов А.Р., Каюмов Р.А. Численные эксперименты по моделированию процессов коалесценции капель нефти в закрученных потоках установки БГКО.....	141
Адельшин А.Б., Леонтьева С.В. Перспективы использования намывных фильтров в технологическом водоснабжении плавательных бассейнов.....	145
Правник Ю.И., Казаков В.А., Садыков Р.А. Редуцирование газа в дистанционно управляемых редукторах больших расходов.....	152

## ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Коклюгин А.В., Коклюгина Л.А., Изотов В.С. К вопросу об управлении качеством в строительстве с позиций совершенствования структур строительных организаций.....	159
Милош М. Технология извлечения информации в современных методах анализа данных.....	162
Федоренко О.С. Роль кластеров в повышении конкурентоспособности строительной отрасли.....	168

## ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

Падерин В.К. Трансформация культурно-институциональной инфраструктуры российского социума: возможные подходы к концепциям и практике реформирования.....	171
--	-----



## Уважаемые коллеги! Дорогие читатели!

С 2003 года в нашем вузе выпускается научный журнал «Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета». Всего за 5 лет опубликовано 264 научные статьи, авторами которых являются учёные КазГАСУ и других ведущих вузов Республики Татарстан и Российской Федерации. Активное участие в публикациях приняли сотрудники научно-исследовательских и производственных организаций. Научные статьи наших авторов носят как фундаментальный, так и прикладной характер.

Пятилетие работы журнала отмечено знаменательным событием: в апреле 2008 года журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, определяемый Высшей аттестационной комиссией (ВАК), рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук по строительству и архитектуре. Это высокая оценка нашего издания и вместе с тем большая ответственность.

Согласно номенклатуре специальностей научных работников, утвержденной ВАК, определены области научных исследований.

По специальности *Архитектура*:

- Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия;
- Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности;
- Градостроительство, планировка сельскохозяйственных населенных пунктов.

По специальности *Строительство*:

- 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.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет является головным учебным заведением Поволжья в рамках Ассоциации строительных вузов России. КазГАСУ входит в состав объединённых Советов для региона по защите диссертаций следующих специальностей:

18.00.01 – Теория и история архитектуры, реставрация и реконструкция историко-архитектурного наследия;

18.00.02 – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности;

05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения;

05.23.05 – Строительные материалы и изделия;

05.23.03 – Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение;

05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов;

05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах;

08.00.05 – Экономика и управление народным хозяйством.



На страницах журнала публикуются результаты научно-исследовательских работ сотрудников вузов, НИИ, проектных организаций и производителей. Неоценимую помощь журнал окажет соискателям ученых степеней докторов и кандидатов наук. Обязательным требованием к публикуемым научным статьям является наличие рецензии от двух организаций. В состав экспертной комиссии университета входят специалисты высшей квалификации – доктора наук, профессора. Статьи проходят строгий отбор на критерий новизны и актуальности рассматриваемых научных, научно-технических проблем.

Требования к глубине и содержанию статей соответствуют требованиям, предъявляемым Высшей аттестационной комиссией. Журнал является научным изданием, имеющим соответствующий инструментарий (ссылки, библиография, таблицы, графики, иллюстративный материал). Обязательной является аннотация на английском языке.

Журнал выходит с периодичностью 2 раза в год, тиражом 500 экз., является подписным изданием и включен в общероссийский каталог ОАО Агентства «РОСПЕЧАТЬ». Индекс издания – 36939.

С 2006 года выходит электронная версия журнала (<http://izvestija.kgasu.ru/>), что способствует повышению его индекса цитируемости (impact factor).

Издание научного журнала на базе архитектурно-строительного университета – это возможность привлечь внимание общественности к проблемам архитектурно-строительного образования и отрасли, ознакомление и обмен передовым опытом научных исследований, повышение востребованности научно-технического потенциала учёных.

Надеемся, что наш журнал будет полезным и интересным как научному работнику, преподавателю, производителю, так и студенту.

Гл. редактор,  
чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,  
проф. В.Н. Куприянов



**В.Ф. Строганов** – доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и инженерной экологии в строительстве

**Н.С. Громаков** – кандидат химических наук, доцент

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## **КАФЕДРЕ ХИМИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЭКОЛОГИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ – 50 ЛЕТ**

### **АННОТАЦИЯ**

В 1958 году кафедра строительных материалов и химии была разделена на две кафедры: "Строительные материалы" и "Химия". В 2006 году кафедра химии преобразована в выпускающую кафедру химии и инженерной экологии в строительстве. Данная статья отражает 50-летнюю историю кафедры.

**V.F. Stroganov** – doctor of chemical sciences, professor, head of Chemistries and Engineering Ecology in Building department

**N.S. Gromakov** – candidate of chemical sciences, associate professor

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## **DEPARTMENT OF CHEMISTRIES AND ENGINEERING ECOLOGY IN BUILDING OVER 50 YEARS**

### **ABSTRACT**

In 1958 the Department of Building Materials and Chemistries was divided into "Building Materials" and "Chemistry" departments. In 2006 year the Chemistry department was transformed into Chemistries and Engineering Ecology in Building department with the right to provide a certified degree for its own students. This article reflects the activity of new department of Chemistries and Engineering Ecology in Building over fifty years.

Кафедра химии и инженерной экологии в строительстве (ХИЭС) отмечает в 2008 году свой полувековой юбилей. Следует отметить, что преподавание химии ведётся в стенах нашего университета с первых дней существования в Казани высшего строительного образования при всём многообразии его предшествующих форм. Во все годы наша кафедра была составной частью всемирно известной Казанской школы химиков, поскольку её кадровый состав формировался в основном из представителей этой школы и имел с ней тесные творческие связи. За эти годы сменилось ни одно поколение студентов и сотрудников кафедры, но каждое новое поколение преподавателей продолжает поддерживать тесную связь со своими предшественниками, сохраняя то лучшее, что было наработано ими, не забывая приобретённый опыт, традиции и внося свой вклад в их развитие. Первыми заведующими нашей кафедрой, внесшими большой вклад в формирование её материальной и творческой основ, являлись (хотя и в исторически разное время - до и после Великой Отечественной войны) профессора Б.И. Горизонтов и В.А. Воскресенский.

В 1958 г. кафедра строительных материалов и химии приказом министра высшего образования

№600 от 8 июня была разделена на две кафедры: "Строительные материалы" и "Химия". На должность заведующего кафедрой химии избирается проф. Воскресенский В.А., в дальнейшем его сменяли кандидаты наук, доценты Милютин А.И., Громакова Л.М., Дианов М.П., профессора, доктора наук Герасимов В.В., Овчинников В.В.

Стратегия развития XXI века определила необходимость выработки экологического мышления, формирование экологической культуры, включающей систему знаний и умений, экологически оправданное поведение в процессе профессиональной деятельности, что особенно актуально для строительных кадров. Воспитание экологически грамотных инженеров-строителей, способных оценить и предвидеть результаты воздействия строительной деятельности на окружающую среду и здоровье человека, невозможно без системного всеобъемлющего экологического образования. Для решения этих актуальных проблем в 2004 году в нашем университете была открыта новая специальность 280202 "Инженерная защита окружающей среды". Для непосредственной подготовки инженеров-экологов в 2006 году приказом № 330 от 12 апреля кафедра химии преобразована в выпускающую



кафедру химии и инженерной экологии в строительстве (ХИЭС), на должность заведующего кафедрой избран д.х.н., проф. Строганов Виктор Федорович.

При подготовке специалистов высшей строительной квалификации во все времена большое внимание придавалось их химическому образованию, поскольку прогресс в любой технической области человеческой деятельности непосредственно связан с разработкой и широким использованием новых материалов, новых технологий их производства и условий эксплуатации. В настоящее время на кафедре читаются различные курсы лекций по химическому и экологическому циклам для всех специальностей нашего университета. Для новой специальности в учебный процесс введены новые дисциплины: органическая, физическая, аналитическая, коллоидная химия, общая экология, наука о земле, современные конструкционные и отделочные материалы в строительстве, визуальная экология и полимерные отделочные материалы, основы природопользования, экология городской среды, защита окружающей среды в чрезвычайных ситуациях, гидравлика и теплотехника, экологическая безопасность городских территорий, химия воздуха и воды, промышленная экология, основы токсикологии, теоретические основы защиты окружающей среды (ЗОС), процессы и аппараты ЗОС, методы и приборы контроля окружающей среды и экологический мониторинг, экологическое проектирование и экспертиза, управление охраной окружающей среды, экологическая экспертиза ОВОС и сертификация.

Инженерная экология в строительстве способствует формированию у будущих инженеров-строителей целостного представления о месте экологии в практической деятельности, пониманию ими своей роли в решении экологических проблем в период проектирования, реконструкции и эксплуатации различных зданий, сооружений и их комплексов. По специализации «Инженерная экология в строительстве» кафедра ХИЭС готовит специалистов квалификации «инженер-эколог», которые могут работать:

- в строительных организациях;
- в государственных и муниципальных органах управления и ведомствах;
- в экологических отделах промышленных предприятий;
- в экологических фондах и организациях;
- в экологических надзорных и контролирующих организациях;
- в научно-исследовательских институтах и лабораториях.

Инженеры-экологи решают задачи:

- в проведении экологического сопровождения

всех стадий предприятий и проектной подготовки строительства;

- в разработке проектов территориального планирования и комплексного благоустройства;
- в выполнении инженерно-экологических изысканий;
- в осуществлении экологического контроля и аудита на начальных этапах строительства объектов.

Ежегодно на кафедре «Химии и инженерной экологии в строительстве» проходят обучение более 2000 студентов различных специальностей и форм обучения. Для обеспечения качества учебного процесса на кафедре постоянно ведётся интенсивная методическая работа, в которой принимают активное участие все действующие преподаватели. Кафедра целенаправленно работает над совершенствованием учебного процесса, привлекая современные методы и средства обучения. Преподавателями разработано множество методических указаний и пособий по проведению лабораторно-практических занятий, самостоятельной работы студентов, по выполнению курсовых работ, проведению учебных и производственных практик.

Во все годы существования кафедры велись интенсивные научные исследования по различным приоритетным направлениям химии общетеоретического и прикладного назначения. Кафедра ХИЭС является одним из центров по изучению практической химии, строительной экологии и полимерных композиционных материалов. Научно-исследовательская работа преподавателей и студентов является важной составной частью образовательного процесса кафедры. В настоящее время ведутся работы по четырем госбюджетным темам: фундаментальная НИР по заказу Министерства образования и науки РФ (научный руководитель – д.х.н., проф. Строганов В.Ф.); две госбюджетные темы университета (научный руководитель – д.х.н., проф. Строганов В.Ф.); госбюджетная тема университета (научный руководитель – к.т.н., доц. Спирина О.В.). Выполняются также работы по хоздоговорам с Академией наук РТ, ГосНИИХП, ФГУП «Казанский казенный пороховой завод» и др. По результатам исследований за последние три года (2005-2007 гг.) опубликовано более 150 статей, сделано более 50 докладов на международных и всероссийских конференциях, получено более 10 патентов РФ на изобретения. Разработки по полимерным композиционным материалам в 2006-2007 гг. на VI и VII Московском международном салоне инноваций и инвестиций награждены двумя золотыми, бронзовой медалями и дипломами.

Активное участие в НИР, наряду с преподавателями, всегда принимают студенты и выпускники вуза. Студенты готовят научные рефераты, участвуют в ежегодных научно-



технических конференциях университета. Многие поколения студентов за эти годы прошли школу студенческого научного общества и продолжили своё образование в аспирантуре. При кафедре в настоящее время функционирует аспирантура по четырем специальностям: «Физическая химия», «Технология и переработка полимеров и композиционных материалов», «Строительные материалы», «Экология», в которой обучаются 4 аспиранта и 5 соискателей (научные руководители – проф. Строганов В.Ф., проф. Лаптева Л.И., доц. Спирина О.В.)

В составе кафедры в настоящее время работают 20 преподавателей и сотрудников.

Коллектив кафедры осознает ответственность по выполнению стоящих перед ним важных задач по подготовке специалистов по новой специальности 280202 «Инженерная защита окружающей среды» и прилагает для этого все свои знания и умения.

Поздравляем коллектив университета, строительного факультета, в состав которого входит и кафедра, кафедры химии и инженерной экологии в строительстве с 50-летним юбилеем, желаем дальнейшего успешного развития и процветания!



УДК 72.032.2:27-235

**Л.А. Балакина** – доцент

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## БИБЛИЯ КАК ИСТОЧНИК НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ

### АННОТАЦИЯ

В настоящее время возрос интерес к Библии как источнику научных истолкований, проводятся исследования текстов Священного Писания применительно к различным областям науки. Целью статьи является попытка осмыслить сведения о библейских постройках и поселениях с позиций экзегетики. Историко-архитектурный анализ библейских стихов, передающих информацию о зодчестве, показывает, что она не противоречит известным историческим фактам и подтверждается археологическими открытиями. С точки зрения мирового генезиса черты библейских поселений и построек прослеживаются в культовых сооружениях и в структуре многих исторических городов во все периоды их развития.

**L.A. Balakina** – associate professor

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## THE BIBLE AS A SOURCE OF SCIENTIFIC INVESTIGATION OF ARCHITECTURAL CONSTRUCTIONS

### ABSTRACT

Nowadays the interest to the Bible as a source of scientific interpretations has increased; investigations of the Saint Scripture texts in different scientific fields are carried out. The purpose of this article is an attempt to comprehend the information about biblical architecture and settlements from the exegetic positions. The historical and architectural analysis of the biblical texts about architecture shows the absence of contradictions with the well known historical facts and proves the compliance with the archaeological discoveries. From the point of view of world genesis the signs of biblical settlements and buildings are traced in cult constructions and in structure of many historical cities in all periods of their development.

## BIBELALS WISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNGSQUELLE DER ARCHITEKTURFORMEN

Die Bibel ist die Heilige Schrift für Juden, Christen, Moslems und ein bedeutendes Literaturdenkmal der Weltkultur. Außer der geistlichen Aspekte betrifft die Bibel am weiten Spektrum verschiedener Erscheinungen. Es werden in der Bibel eine Menge historischer Ereignisse erwähnt, sowie auch die Grundfragen verschiedener Kenntnisbereiche berührt. In der letzten Jahrzehnten vergrößerte sich das Interesse für die Bibel als die Quelle der wissenschaftlichen Auslegungen. Man wird die Forschungen der Texte der Heiligen Schrift in Betreff der verschiedenen Wissenschaftsbereichen durchgeführt. Diese Forschungen werden zur Zeit in Bibeltheologie, Bibelkosmologie, Bibelastronomie, Bibelgeschichte, Bibelarchäologie, Bibelpaläontologie, Bibelgeographie, Bibelphysik, Bibelgeophysik, Bibelhydrologie, Bibelmetrologie, Bibelchemie, Bibelbiologie, Bibelanthropologie, Bibeletnographie, Bibelmedizin usw.

eingeteilt. Den Berührungspunkten der Wissenschaft und Religion leisteten den großen Beitrag solche weltberühmten Gelehrten wie Leonardo da Vinci, Newton, Kepler, Faradei, Paster, Einstein [5]. Der Präsident der Rußlandsakademie der Wissenschaften, Akademiemitglied Physiker Prof. Dr. Ju.S. Osipow meint, das "...der Glauben hat sich von dem wissenschaftlichen Kenntnis abgetrennt, obwohl diese zwei Richtungen des menschlichen Daseins wesentliche Einheiten haben". Viele Gelehrten aus verschiedenen Ländern haben das traditionellen Evolutionsherangehen zu den wissenschaftlichen Forschungen von der Position der Kreationstheorie umgedacht.

Die grundlegende Wissenschaften werden durch die Bibelpostulate bereichert [6]. Solche Betrachtungsweise haben gegenwärtige Gelehrten wie Z.B. Dr.-Philologie Bogdanowa O.A., wissenschaftliche Obermitarbeiterin



des Instituts der Weltliteratur der Russischen Akademie (Moskau); Pogassii A.K., Kandidat der historischen Wissenschaften, Institut der Religion und Rechte (Kasan, Rußland); Prof. Dr.-Ing. Wolkow W.M., Technische Universität (Niznij Nowgorod), Akademiemitglied der russischen Transportakademie (Niznij Nowgorod); Prof. Dr.-Psychologie Ryshow W.W., Linguistische Universität (Niznij Nowgorod); Prof. Dr.-Med. und Dr.-Psychologie Pugatsch W.N., Staatliche Universität (Izewsk, Rußland); Dr.-Ing. Granzew W.I., Institut der Kernforschungen der nationalen Akademie der Wissenschaften von Ukraina (Kiew); Prof. Dr.-Ing. Gitt W. (Braunschweig, Deutschland); Prof. Dr.-Biologie Hirug L., (Helsinki, Finnland). Die Versuche von Tausenden der Gelehrten aus Vergangenheit und Gegenwart die Grundursache aller Erscheinungen zu finden, führen zum Gott-Schöpfer, der die ganze schöpferische Tätigkeit der Menschen vergeistigt hat.

Das Ziel dieses Artikels ist der Versuch, die architektonische Formen von der Position der Exegetik durchzudenken. Die Bibel benutzt nicht die Fachbegriffe, Sie spricht die universelle Sprache der Menschenerfahrung, erklärt und weist hin, wo man die Lösung suchen muß [5]. Nach der Analyse mehrerer Bibelgedichten über die Baukunst kann man feststellen, dass sie den bekannten historischen Fakten nicht widersprechen, sondern die archäologischen Entdeckungen vorwegnehmen und durch die Architekturgeschichte bestätigt werden. In allen Büchern des Alten und Neuen Testaments finden wir fragmentarische, sowie ausführliche Informationen über alte Bauten und Siedlungen, Sakralbauten und Orte der Ritualaktionen.

Die historisch-architektonische Analyse der Bibeltexte ermöglicht die zahlreichen architektonischen Bauwerke zum Vorschein zu bringen und die archäologischen Ausgrabungen bestätigen die Echtheit ihrer Existenz. Das reiche faktologische Material mit der Beschreibungen der Bibelbauten und Siedlungen, sowie die wertvolle Informationen über diese Bauten wurden in den Werken der altgriechischen Historiker Herodot (490-425 J.), der jüdischen Historiker Josef Flavius (I. Jh. u.Z.) und der römischen Historiker Tacitus (58-117JJ.) dargestellt. Den wesentlichen Beitrag zur Forschung der Architektur der Bibelperiode haben die Archäologen geleistet, die die Ausgrabungen im XX. Jahrhundert auf dem Territorium der Bibelgebiete durchführten: deutsche Wissenschaftler Winkler, Puchstein, Lensen, englische Wissenschaftler W. Ramsey, L. Wulfi, J.E. Rait, Franzosen A. Parro, P. Monte, P. Karteshjani u.a. [3].

Die Ruinen der Bibelstädte in Palästina und Syrien (Jerusalem, Tyrus, Sidon, Cäsarea, Betsaida, Kafarnaum, Tiberias, Nazaret, Kana, Samaria, Sichem, Betlehem,

Betanien) bewahrten die Eigenartigkeit ihrer Bebauung. Die durchgeführten archäologischen Ausgrabungen bestätigten die Existenz solcher Bibelbauwerke wie: die Wand und der Tunnel von Hiskija in Jerusalem (700 J. vor Christus Geburt), "Sikkurate" (der abgestufte Tempelturm) in Babylon, Nann, Ur; Dagona-Tempel in Ugarit, das steinerne Stadttor in Megiddo (X Jh. vor Christus Geburt), Grabmal von Samuel in Rama, Ahab-Palast in Samaria, die Zarenbibliothek und Asarhaddon-Palast in Ninive, Nebukadnezar-Palast im Babylon, Darius-Palast in Susa, Festungsfundamente in Bet-Zur, Herodes-Palast in Jerusalem, Tortürme in Samaria, Reste des Apollon-Palastes in den Ruinen von Korinth, Ruinen des Chischam-Palastes in Jericho usw [3]. Nach den Ergebnissen der zahlreichen archäologischen Forschungen, die die Angaben der Heiligen Schrift in meistens Fällen bestätigen, kann man versuchen, die Architektur der Bibelperiode wiederherzustellen.

Die Bibelgeschichte umfasst die Periode von der Erschaffung der Welt bis zur I. Jahrhundert unserer Zeit. Die früheste Zeitgrenze ist nicht zu bestimmen, da es verschiedene Meinungen der Wissenschaftler über die Zeit der Entstehung unseres Planeten und des Lebens auf der Erde gibt. Es gibt keine genaue schriftliche Zeugnisse darüber. Vom Evolutionsstandpunkt betrachtet das Alter der Erde etwa 5 Milliarden Jahre. Die Erlernung der Bibeltexte, der Überblick der Genealogie seit Adamszeit zeigt, dass die Erschaffung der Welt ungefähr vor 6 Tausenden Jahren geschah. Die Geochronologie bestätigt diese junge Alter der Erde [8, 9].

Nach der jüdischen Zeitrechnung entspricht das Jahr 2006 dem Jahr 5766 seit der Erschaffung der Welt. Die zuverlässigen historischen Zeugnisse der alten Zivilisationen von Ägypten und Schumer beginnen die Zeitrechnung der Ereignissen, die nur vor einigen Jahrtausenden der Christi Geburt geschahen [7], wie die Bibelchronologie voraussetzt [1]. Der Anfang des Genesis ist mit Geheimnis bedeckt: nach Bibelgeschichte vernichtete die Sintflut die materielle Beweise von der Existenz der Menschheit.

Die Territoriumsgrenzen werden durch in der Bibel erwähnten geographischen Benennungen von Bergen, Wüsten, Seen, Flüssen, Inseln, Ländern, Staaten, Städten bestimmt. Dieser weite Raum beinhaltet nicht nur Palästina, sondern auch nebenliegende Länder: Ägypten, Syrien, Kleinasien, Mesopotamien, Persien, Arabien (Steppengebiete im Nordteil), sowie Zypern, Griechenland, Italien.

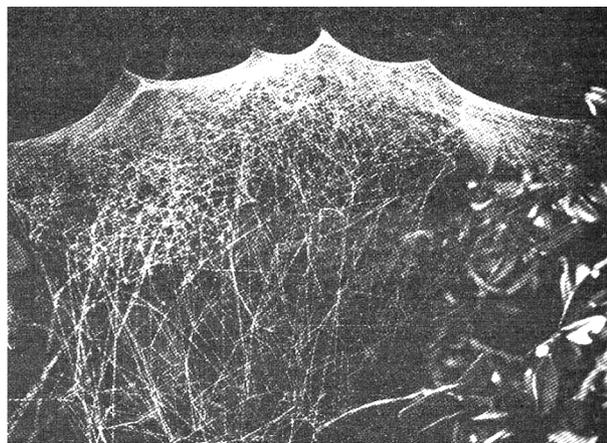
Die Reste der Bauwerke, die zur Urgesellschaft gehören, sind in großer Menge auf dem Erdball zerstreut. Sie sind doch bisher wenig erforscht und haben kein folgerichtiges System der historischen Entwicklung. Die meisten Bauwerke haben kein Gründungsdatum und keine



ausführliche Erklärung für ihre Bestimmung. Inzwischen ist die Bedeutung der ursprünglichen Baukunst für das Verständnis der nachfolgenden Architekturentwicklung sehr groß, insofern gerade in der Urzeiten die grundlegenden architektonischen Typen und tektonischen Konzepten der allen heute existierenden Bauten und Siedlungen ausgearbeitet wurden. In voneinander entfernten Ländern kann man die gleichen Bautypen, gleichen Konstruktionsschemen, gleichen architektonischen Gestalten finden [4]. Bisher konstatierte man nur die Fakten der Existenz der architektonischen Typen (Archi-Typen) und es gab keine Erklärung ihrer Entstehung. In der Bibel dargestellte Kreationstheorie der Welterschaffung gibt die Information nicht nur über die Erscheinung der Lebensformen auf der Erde, sondern auch über die Entstehung der Archi-Typen für die Architekturformen.

Die systematischen Kenntnisse, wie, Z.B., Politik, Soziologie, Militärwesen und auch Architektur, als Baukunst erscheinen nach dem Sündenfall des Menschen. Im Garten Eden sorgte der Gott für die Menschen. Dort brauchte der Mensch keine Wohnung, keinen Tempel. Nach der Vertreibung aus dem Paradies mußte der Mensch selbstständig die Behausung bauen. Zuerst werden in der Bibel die Zelte und die Laubhütte erwähnt, dann kommen die Wohnhäuser aus Holz, aus Lehm mit Stroh und aus Stein. Die Ritualbauten sind noch früher als utilitarischen Bauten vorhanden gewesen. Vermutlich wurden die ersten Opferungen von Kain und Abel auf der ersten Opferstätte getan. Die Tempel für Götter und Götzentempel wurden von uralten Menschen aus Erde, Holz, Stein auf der Höhen und in der Hainen errichtet. Wahrscheinlich wurde das Bedürfnis, das Opfer für die Sünde zu bringen, vom Gott als esoterisches Kenntnis gegeben. In einigen Situationen bekundete sich der Gott als Hauptarchitekt, in dem Er sein Vorhaben ausführlich den auserwählten Menschen offenbart hat - dem Noah, Moses, Solomon. Darüber kann man in den Büchern "Genesis", "Exodus", "Das 1. Buch von den Königen" lesen.

Die Arche Noah, Heilige Zelt (Aufbewahrungsort des Bundesgesetzes), Jerusalem-Tempel, Solomon-Palast sind ausführlich in der Bibel beschrieben, darum sind sie gut von den Forschern der Architekturgeschichte und Kunstwissenschaftlern erlernt. Die Merkmale, die am meisten der Beschreibungen und Angaben der Heiligen Schrift entsprechen, lassen sich in den Bauarten wie Wohnhaus, Palast-Komplex, Tempel, Opferstätte, Gefängnis, Turm, Badeanstalt zurückverfolgen. In einigen Fällen geben die Texte der Heiligen Schrift keine deutliche Vorstellung über die Bauten und Besiedlungen und die zuverlässigsten historisch-architektonischen Daten darüber fehlen auch, was die Möglichkeit der uneindeutigen



1. Spinnweb ("das Haus der Spinne") [Das Buch Hiob 8:14]



2. Die Zelten der Nomaden ("Wie fein sind deine Zelte, Jakob" [Numerei 24:5] "Mache den Raum deines Zeltes weit und breite aus die Decken deiner Wohnstatt... Spann deine Seile lang und stecke deine Pföcke fest!" [Jesaja 54:2])



3. Das Olympiastadion in München, Architekt F. Otto



Auslegungen ihrer architektonischen Lösung zulässig macht. In der Beschreibungen der städtebaulichen Sakralbauten (der Garten Eden, der Lager der Israeliten, Heilige Stadt - das Neu Jerusalem vom Himmel) werden mehr Ausführlichkeiten über die Raumorganisation, Planungsstruktur, Bauelemente und ihre Abmessungen herbeigeführt, als über in der Heiligen Schrift erwähnten Zivilsiedlungen. (Bücher: "Genesis", "Numeri", "Jesaja", "Ezechiel" und "Offenbarung"). Auf Grund der Analyse der festgestellten Informationen über Architekturformen kann man bestätigen, dass in den Bibeltexten die grundlegenden architektonisch-städtebaulichen Typen für Bauten und Besiedlungen dargestellt sind.

Vom Standpunkt der Weltgenese lassen sich die Merkmale der Bibelsiedlungen und -bauten in der Struktur mehreren bewahrten historischen Städten und Sakralbauten in allen Perioden ihrer Entwicklung zurückverfolgen.

Die Arche Noah, Heilige Zelt, Solomon-Tempel, Solomon-Palast - diese und andere architektonische Prototypen verbreiteten sich durch die ganze Welt und gaben auch die genetische Reihen für verschiedene Typen der Gesellschaftsbauten:

Zivil- und Sakralbauten [2].

Das Kenntnis der Grundetappen der Entwicklung und historischen Bedingungen der Architekturgestaltung ermöglicht zur Enträtseln des genetischen Codes der Baukunst zu nähern, und den Gestaltungsverlauf der grundlegenden Archi-Typen für Architekturformen in der Entstehungsperiode wiederherzustellen. Die Untersuchung der Bibelquellen kann in der Informationssuche der ursprünglichen Architekturformen helfen und die Innenlogik der alten Baukunst erklären.

Die Tektonik der architektonischen und natürlichen Formen hat ein gemeinsames Wesen, hier ist die Gottes Vorsehung zu verfolgen (s. B.1. Spinnweb – „das Haus der Spinne“ [Das Buch Hiob 8:14]; B.2. Die Zelten der

Nomaden – „Wie fein sind deine Zelte, Jakob...“ [Numeri 24:5]; „Mache den Raum deines Zeltes weit und breite aus die Decken deiner Wohnstatt... Spann deine Seile lang und stecke deine Pföcke fest!“ [Jesaja 54:2]); B.3. Das Olympiastadion in München, Architekt F. Otto).

#### Literaturverzeichnis

1. Bibel. Kanonbücher der Heiligen Schrift. Moskau, 2004. Genesis: Kapitel 1(31), 5(1-32), 11(1-32).
2. Aidarowa G.N. Architekturkultur der Region als Realisation im Raum der persönlichen und unpersönlichen Willensäußerungen // West-Ost: Persönlichkeit in der Architekturgeschichte. Auslage 4. Moskau: NIITAG, 1995, S. 77-79.
3. Wassiliadis N. Bibel und Archäologie. Übersetzung aus Neugriechische. Sergiew-Possad. Heilig-Troizkyi Sergiew-Lawra, 2003, S. 30-47, 143, 154, 163-169, 187, 210, 228, 243, 278, 315-320, 345-355.
4. Geschichte der Weltarchitektur. Band 1. M., 1944, S. 5.
5. Henri Morris. Bibelgründungen der gegenwärtigen Wissenschaft. S.-Petersburg, 1995, S.13-19, 43, 125, 145, 206, 231, 461.
6. Granzew W.N. Religion und Kultur: Wissenschaft, Okkultismus, christliche Weltanschauung // Unterlagen der II. Kasaner wissenschaftlich-theologische Konferenz. Kasan, 2003, S. 104, 115.
7. Djakonow I.M. Geschichte der Urwelt. Frühaltertum. Moskau, 1983, S. 75.
8. Maklin G., Oklend R., Maklin L. Offenbarkeit der Welterschaffung. Herkunft des Planet Erde. Moskau, 1993, S. 19.
9. Werner Gitt. Fragen, die immer wieder gestellt werden. Bielefeld, 1989, S. 37.

*Перевод на немецкий язык Марион Гитт (Браунивейг), 2007.*



УДК 72.032.2:27-235

**Л.А. Балакина** – доцент

**Е.А. Валеева** – старший преподаватель

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## АРХИТЕКТУРА КУЛЬТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ В БИБЛЕЙСКИХ ТЕКСТАХ

### АННОТАЦИЯ

Целью статьи является попытка систематизировать сведения об архитектуре культовых сооружений, выявленные в библейских текстах. Историко-архитектурный анализ библейских стихов, передающих информацию о зодчестве, показывает, что она не противоречит известным историческим фактам и подтверждается археологическими открытиями. С точки зрения мирового генезиса черты библейских культовых сооружений прослеживаются в архитектуре ритуальных построек различных конфессий во все исторические периоды.

**L.A. Balakina** – associate professor

**E.A. Valeeva** – senior lecturer

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## ARCHITECTURE OF CULT CONSTRUCTIONS IN THE BIBLICAL TEXTS

### ABSTRACT

The purpose of this article is an attempt to systematize the information about architecture of cult constructions in the Biblical texts. The historical and architectural analysis of the biblical texts about architecture shows the absence of contradictions with the well known historical facts and proves the compliance with the archaeological discoveries. From the point of view of world genesis the signs of biblical cult constructions are traced in architecture of ritual constructions of different confessions in all historical periods.

В текстах 66-и книг Библии выявлены следующие наименования культовых сооружений: жертвенник, памятник, башня, капище, *лестница Иакова*, скиния, храм, синагога, церковь.

**Жертвенник** (церк.-слав. и греч.: «алтарь», «олтарь», «требник») многократно упоминается в 17 книгах Ветхого и в 6 книгах Нового Завета. Это сооружение для жертвоприношений Богу-Творцу впервые упоминается после потопа: «...устроил Ной жертвенник Господу...» [Быт. 8(20)]. Из чего он был сделан и какую имел форму, размеры – сведений нет. Сооружением жертвенников отмечалось богоявление в каком-либо месте, например, близ Сихема, у Хеврона, в долине Герарской [Быт. 12(7), 13(18), 26(25)], а также победы евреев над врагами, например, при поражении амаликитян был воздвигнут именной жертвенник Иегова Нисси («Господь – знамя мое») [Исх. 17(15)]. Вокруг некоторых жертвенников делали ров с водой [3 Цар. 18(32,35)], чтобы предотвратить возможное распространение огня. Известно из текстов, что Бог повелел Моисею: «Сделай Мне жертвенник из земли, и приноси на нем всесожжения твои... Если же будешь делать Мне жертвенник из камней, ... не сооружай его из тесаных. Ибо... осквернишь их. И не всходи по

ступеням к жертвеннику...» [Исх. 20(24-26)]. У горы Синай «...Моисей... поставил под горою жертвенник и 12 камней по числу 12-ти колен Израилевых» [Исх. 24(4)]. Позже Бог показал Моисею и дал подробные указания, какими должны быть жертвенники: «...сделай жертвенник из дерева ситтим длиною 5 локтей и шириною 5 локтей, ... четырехугольный, и вышиною 3 локтей, ... роги на 4-х углах его, так чтобы роги выходили из него; и обложи его медью» [Исх. 27(1-2)], «Сделай к нему решетку, род сетки, из меди... положи ее по окраине жертвенника внизу... до половины жертвенника... шесты для жертвенника... из дерева ситтим, и обложи их медью. И вкладывай шесты его в кольца, так чтобы шесты были по обоим бокам жертвенника, когда нести его. Сделай его пустой внутри, досчатый, как показано тебе на горе...» [Исх. 27(4-8)]. И еще второй «...сделай жертвенник для приношения курений; из дерева ситтим... длина ему локоть, и ширина ему локоть, а высота ему 2 локтя; из него должны выходить роги его. Обложи его чистым золотом, верх его и бока его кругом, и роги его; и сделай к нему золотой венец вокруг. Под венцом, на двух углах его, сделай 2 кольца из золота... и будут они влагалищем для шестов, чтобы носить его... из дерева ситтим, и

обложи их золотом» [Исх. 30(1-6)]. К рогам жертвенника, вероятно, привязывали животное («...вяжите вервями жертву, ведите к рогам жертвенника» [Пс. 117(27)]). Жертвенник всесожжений перед храмом Соломоновым был гораздо более крупным: «И сделал медный жертвенник: 20 локтей длина его, и 20 локтей ширина его, и 10 локтей высота его» [2 Пар. 4(1)]. О жертвеннике кадильном известно лишь, что «...кедровый жертвенник... пред давиром, обложил золотом» [3 Цар. 6(20,22)]. Во времена Иисуса Христа сведения о жертвенниках проявляются в контексте: «По прошествии 8 дней... принесли его в Иерусалим... принести в жертву... 2 горлицы или 2-х птенцов голубиных» [Лк. 2(21-22,24)], «Всеожжения и жертвы за грех неугодны Тебе» [Евр. 10(6)]. По свидетельству И. Флавия, жертвенник всесожжений при Иерусалимском храме был четырехугольным, по 50 локтей в длину и ширину, имел 15 локтей в высоту, с южной стороны к нему вел пандус, и весь он был выложен из неотесанного камня [1] (рис. 1).

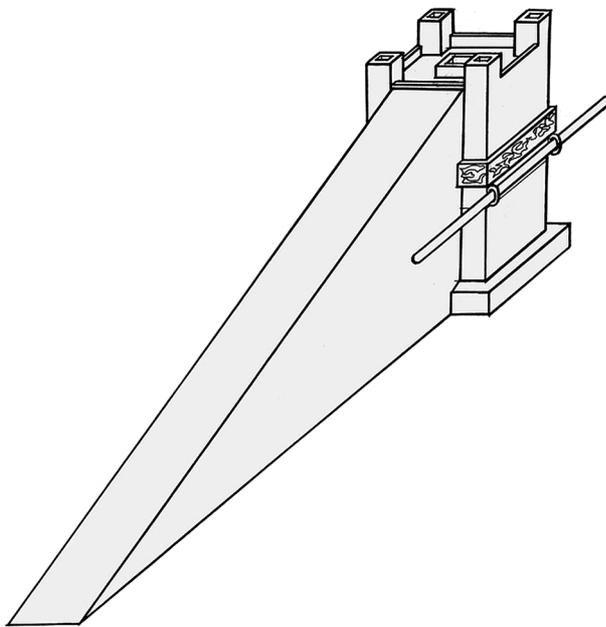


Рис. 1. Ветхозаветный жертвенник всесожжений по Торе (по Н.Л. Павлову)

О языческих жертвенниках из текстов Библии известно, что они посвящались различным богам: Ваалу, Астарте, «неведомому богу» [Суд. 6(25), Ис. 17(8), Деян. 17(23)]. Сооружались они на возвышенных местах («...разрушь жертвенник Ваала... на вершине скалы...» [Суд. 6(25-26)], «И жертвенники на кровле горницы Ахазовой...» [4 Цар. 23(12)], «...вспоминают они о жертвенниках своих... на высоких холмах» [Иер. 17(2)]). У некоторых из этих жертвенников также были роги [Иер. 17(1), Ам. 3(14)], как и у жертвенников Господу. Рог символизировал силу, могущество, господство [Вт. 33(7), 1 Цар. 2(10) и др.]. Описаний их

форм, габаритов, каких-либо конструктивных особенностей в текстах не выявлено. Вероятно, они сооружались из естественных материалов: земли и камней. Можно утверждать, что, в отличие от Господних, языческие жертвенники выкладывались из обработанного камня и украшались резьбой («Грех... написан железным резцом, алмазным острием начертан... на рогах жертвенников их» [Иер. 17(1)]). При них устанавливались статуи языческих богов («И разрушили пред лицом его жертвенники Ваалов и статуи, возвышавшиеся над ними... и все статуи сокрушил по всей земле Израильской...» [2 Пар. 34(4,7)]). В местности Мамре, где Авраам благоденствовал в тени дубрав [Быт. 13(18)], в 3 км к северу от Хеврона, издавна почитают дуб, колодец и жертвенник Авраама. При археологических раскопках здесь обнаружили древний колодец и фундамент жертвенника, на котором впоследствии воздвигли христианский алтарь [2].

Несмотря на то, что о первом жертвеннике нет никаких сведений в текстах Библии, на основании контекстуальных и конкретных извлеченных сведений можно поразмышлять, что же он мог собой представлять? Возможно, это был достаточно крупный камень, чтобы на нем разместился первый жертвенный барашек. Или же это могла быть груда камней, или они были уложены в определенном порядке. Не исключено, что в качестве жертвенника был использован холм естественного происхождения, а возможно, его соорудили из земли. Скорее всего, это был камень – как прообраз будущего сооружения для приношения даров Богу, поскольку в Библии описываются ситуации, когда в честь Господа совершались возлияния именно на камне (Иаков близ Вефиля после чудесного сновидения). Гипотетический жертвенник Каина и Авеля можно считать архетипом всех последующих жертвенников, поскольку все они фиксировали место принесения даров. Логично, что камень как алтарь является и прообразом храма, как его первосмысл, как неотъемлемый атрибут храмового пространства, что отмечали Ш.М. Шукуров и Н.Л. Павлов [3,4] (рис.2).

**Памятники** упоминаются в 6 книгах Ветхого Завета и в 1 книге Нового Завета, хотя их синонимы (идолы, столбы, истуканы, статуи) встречаются и в других книгах. Памятниками служили одиночные камни, которые ставились на местах, связанных с такими знаменательными событиями, как явление Бога: Иаков на том месте, где увидел во сне лестницу в небо, «...взял камень, который он положил себе изголовьем, и поставил его памятником; и возлил елей на верх его. И нарек имя месту тому: Вефиль (Дом Божий)...» [Быт. 28(18-19), 35(14-15)]. Это был обычный небольшой камень, который оказался под рукой, но он стал знаком божественного присутствия. Памятники ставились также и в качестве надгробий: «Иаков поставил надгробный памятник Рахили...» [Быт. 35(20)] – вероятнее всего, каменный. Иногда цари и члены их

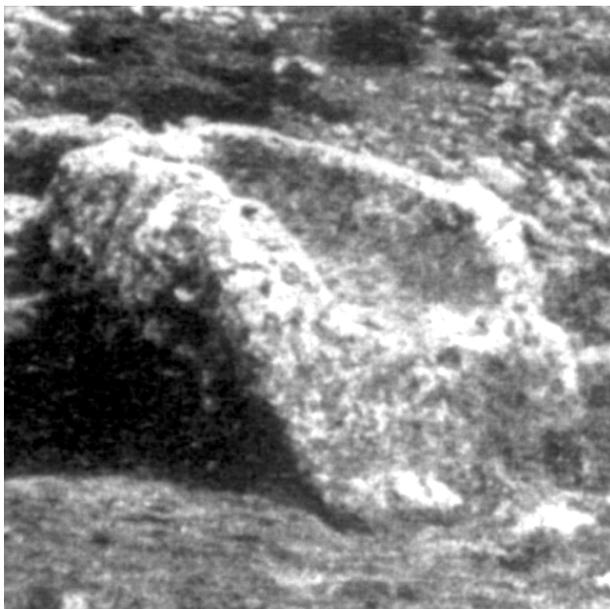


Рис. 2. Жертвенный камень с выемкой (по Н.Л. Павлову)

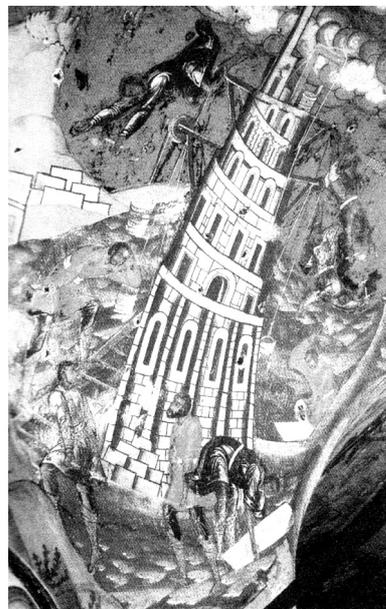


Рис. 3. Строительство Вавилонской башни. Фреска. XVII в.

семьи ставили памятники сами себе: «...Саул ходил на Кармил и там поставил себе памятник...» [1 Цар. 15(12)], и «Авессалом... поставил себе памятник в царской долине... и назвал памятник своим именем...» [2 Цар. 18(18)]. В Новом Завете Иисус, обличая лицемеров, упоминает украшенные надгробные памятники [Мф. 23(29)].

Из вышесказанного можно заключить, что памятниками в библейских текстах названы сооружения мемориального значения. Конкретных сведений об их облике нет, можно лишь предполагать, что при их сооружении использовался камень как долговечный материал.

Из археологии и истории архитектуры известно, что «стоячие камни являются основным элементом памятников неолитической эры... Порой имеется лишь один камень, напоминающий своей формой веретено или грубый обелиск, в таком случае его называют менгиром» [5]. В Палестине при раскопках обнаружено множество таких камней. В частности, среди развалин Гезера нашли восемь священных столбов, установленных на холме [2]. Ш.М. Шукуров отмечает, что камень как памятник богоявления является сакральным образом храма [3].

**Башни** упоминаются в 12 книгах Ветхого и в 4 книгах Нового Завета. Среди них встречаются две башни, не имеющие утилитарного назначения: Вавилонская башня [Быт. 11(3-4)] и башня в капище Ваал-Верифа [Суд. 9(46)]. Казалось бы, о назначении Вавилонской башни определено ничего не сказано, но из контекста явно следует, что целью ее возведения было приближение к небесам [Быт. 11(4)]. В текстах нет никаких данных, указывающих на ее габариты и пропорции. Русская фреска XVII в., по нашему мнению, весьма выразительно иллюстрирует не только идею достижения небес в динамичной вертикали башни, но

и библейский финал этой затеи в ее наклоне – как стремлении к падению и разрушению (рис.3).

Как следует из библейского описания, строительным материалом для Вавилонской башни был обожженный кирпич, а связующим – «земляная смола вместо извести» [Быт. 11(3)]. Раскопки подтверждают, что древние вавилоняне действительно использовали кирпичи и смолу (асфальт). Во многих городах Месопотамии были открыты огромные ступенчатые зиккураты [6]. Самый большой из них, который видел и описал Геродот, как предполагают, мог быть той самой Вавилонской башней: «В середине... храмового священного участка воздвигнута громадная башня длиной и шириной в одну стадию (184,97 м)... в общем, восемь башен – одна на другой... На последней башне воздвигнут большой храм... утверждают, что сам бог иногда посещает храм...» [7]. В описаниях Плиния говорится, что эта башня впоследствии неоднократно разрушалась и перестраивалась [6]. Наверху зиккуратов обычно были алтари. Исследователи полагают, что эти зиккураты представляют собой позднейшие имитации или модификации первой Вавилонской башни. Попытки связать представления о Вавилонской башне с зиккуратами и с другими храмовыми башнями носят генетический и типологический характер. Ступенчатые башни, подобные месопотамским зиккуратам, существовали и в других частях света: в Африке, в Центральной Америке. Вавилонская башня – универсальная идея башни, возведенной человеком во имя его утопической цели [3], отражала архаическую модель мироздания.

О другой башне известно лишь, что она находилась в капище Ваал-Верифа и имела большую вместимость [Суд. 9(46)]. Наверняка, она была построена из камня или кирпича с использованием извести или земляной



смолы в качестве связующего.

**Капища** упоминаются в 7 книгах Ветхого и в 1 книге Нового Завета. Из текстов известно назначение капищ, посвящение конкретному языческому божеству и местонахождение: Ваал-Верифу в Сихеме [Суд. 9(46)], Дагону в Азоте [1 Цар. 5(5)], Астарте в земле Филистимской [1 Цар. 31(9,10)], Хамосу и Молоху на горе пред Иерусалимом [3 Цар. 11(7-8)], в городах Самарийских [3 Цар. 13(32)], «Вавилоняне сделали Суккот-беноф, Кутийцы... Нергала, Емафяне... Ашиму, Авийцы... Нивхаза и Тартака...», Сепарваимцы Адрамелеха и Анамелеха [4 Цар. 17(30-31)]. Капища устраивались на возвышенных местах, в лесах [3 Цар. 14(23)]. Атрибутами капищ были башни [Суд. 9(46)], жертвенники со статуями [2 Пар. 34(4,7)], священные деревья [Исх. 34(13), 2 Пар. 34(3)], места для идоложертвенной пищи [1 Кор. 8(10)]. Обособленность капищ как культовых сооружений предполагает наличие огражденного пространства. Высоты, упоминаемые как языческие святилища, похоже, были атрибутом капища или же его разновидностью [4 Цар. 17(29)]. Это были естественные или искусственные возвышения из камней или земли.

Выявленные сведения о капищах в библейских текстах вполне соответствуют их определению по Т.Ф. Саваренской: «Капище – священный участок, на котором располагались культовые предметы, сооружения, храмовые постройки» [9].

**Лестница Иакова** упоминается в 1 книге Ветхого Завета: он ее «...увидел во сне: вот лестница стоит на земле, а верх ее касается неба; и вот, Ангелы Божии восходят и нисходят по ней. И вот, Господь стоит на ней и говорит: Я Господь, Бог Авраама, отца твоего, и Бог Исаака. Землю, на которой ты лежишь, Я дам тебе и потомству твоему...» [Быт. 28(12-13)]. Она, может быть, лишь уподоблена понятию «лестница» в утилитарном понимании ее назначения как средства вертикальной коммуникации. Приснившаяся Иакову лестница, видимо, имела ступени как неотъемлемый атрибут, что позволило идентифицировать ее с привычным понятием «лестница». О ее габаритах, количестве ступеней, наличии промежуточных площадок, каких-либо перил, о конструктивном решении, способе опирания на землю и на небеса, материале, фактуре, декоре в библейском описании, конечно, ничего не сказано. В Талмуде и классических комментариях к Торе говорится, что лестница Иакова – это символический образ, смысл которого очевиден: связь между духовным миром (небом) и материальным (землей). Он устанавливает духовную ось, а точнее вектор, который впоследствии нашел свое выражение в вертикальной доминанте культовых сооружений авраамических и некоторых других религий.

Образ небесной лестницы прослеживается в месопотамских зиккуратах – в Уре и Вавилоне, по их ступеням поднимались и спускались жрецы [2]. У многих народов существовало представление о

лестницах между землей и небом, по которым ходят боги и души умерших. Иногда оно материализовалось в реальных формах, например, на островах Малайского архипелага на могиле ставили миниатюрную лестницу. Древнейший литературный памятник «Тексты пирамид» упоминает лестницу, по которой цари взбирались на небо. В древних странах Индокитая в доколумбовой Америке явно прослеживается реализация образа «Мировой горы» как лестницы в небо. И.А. Бондаренко отмечает: «Идея лестницы, ступенчатой башни, соединяющей Землю с Небом, также как генетически связанного с ней Мирового Древа, имела очень древнее происхождение. Об этом писали Дж. Фрэнгер, Р. Генон, В.Н. Топоров и другие авторы» [10].

**Скиния** упоминается в 14 книгах Ветхого и в 3 книгах Нового Завета. Когда евреи пришли к горе Синай, «Моисей... поставил себе шатер вне стана, ... и назвал его скинией собрания...» [Исх. 33(7)]. Это была первая скиния для молитвенного общения Богом. Затем с первого дня первого месяца второго года странствия центральное место в стане Израильском заняла другая скиния, сооруженная уже по Божьему повелению (ее также называют скинией собрания [Исх. 38(8) и др.], скинией откровения [Исх. 38(21)], святилищем [И. Нав. 24(26)]). В Библии даются подробные описания ее назначения, объемно-пространственной композиции, архитектурных особенностей, материалов, конструктивных элементов, системы крепежа, процесса возведения и демонтажа, продиктованные Создателем Моисею. «Скинию же сделай из 10 покрывал крученого виссона, и из голубой, пурпуровой и червленой шерсти..., длина каждого покрывала 28 локтей, а ширина... 4 локтя... И сделай покрывала из козьей шерсти, чтобы покрывать скинию; 11 покрывал... таких. Длина... 13 локтей, а ширина 4 локтя... И сделай покрывку для покрова из кож бараньих красных, и еще покров верхний из кож синих» [Исх. 26(1-2,7-8,14)]. «И сделай брусья из дерева ситтим, чтобы они стояли. Длинною в 10 локтей брус, и 1,5 локтя каждому брусу ширина... Так сделай брусья для скинии: 20 брусьев для полуденной стороны к югу, и... 40 серебряных подножий... И 20 брусьев... к северу, И для них 40 подножий серебряных... Для задней же стороны скинии к западу сделай 6 брусьев. И 2 бруса для углов скинии на заднюю сторону... И так будет 8 брусьев и для них серебряных подножий 16...» [Исх. 26(15-25)]; «и... шесты из дерева ситтим, 5 для брусьев одной стороны скинии и 5 шестов для брусьев задней стороны сзади скинии, к западу. А внутренний шест будет проходить по середине брусьев от одного конца до другого. Брусья же обложи золотом, и кольца, для вкладывания шестов, сделай из золота, и шесты обложи золотом» [Исх. 26(26-29)]. «И поставь скинию по образцу, который показан тебе на горе. И сделай завесу из голубой, пурпуровой и червленой шерсти и крученого виссона;... И повесь ее на 4-х столбах из



ситтим, обложенных золотом... на 4-х подножиях серебряных... И повесь завесу... и внеси туда за завесу ковчег откровения; и будет завеса отделять вам святилище от Святого Святых... И поставь стол вне завесы, и светильник против стола на стороне скинии к югу; стол же поставь на северной стороне. И сделай завесу для входа в скинию из голубой и пурпуровой и червленой шерсти и из крученого виссона узорчатой работы. И сделай для завесы 5 столбов из ситтим, и обложи их золотом... и вылей для них 5 подножий медных» [Исх. 26(30-37)].

«Сделай двор скинии: с полуденной стороны к югу завесы для двора должны быть из крученого виссона, длиною во 100 локтей по одной стороне. Столбов для них 20 и подножий для них 20 медных: крючки у столбов и связи на них из серебра. Также и вдоль по северной стороне... В ширину же двора с западной стороны – завесы 50 локтей; столбов для них 10, и подножий к ним 10. И в ширину двора с передней стороны к востоку – завесы 50-ти локтей. К одной стороне – завесы в 15 локтей; столбов для них 3 и подножий... 3. И к другой стороне – завесы в 15 локтей; столбов для них 3 и подножий... 3. А для ворот двора завеса в 20 локтей из голубой и пурпуровой и червленой шерсти и из крученого виссона узорчатой работы; столбов для нее 4, и подножий к ним 4. Все столбы вокруг двора должны быть соединены связями из серебра; крючки у них из серебра, а подножия к ним из меди. Длина двора 100 локтей, а ширина по всему протяжению 50, высота 5 локтей; завесы из крученого виссона, а подножия столбов из меди. Все принадлежности скинии... и все кольца ее, и все кольца двора – из меди» [Исх. 27(9-19)]. Предусмотрены были также и средства для фиксации конструкций: «...колья... и веревки их» [Исх. 35(18)]. Было определено и положение основных ритуальных атрибутов: «И поставь жертвенник всесожжения перед входом в скинию, и умывальник между скинией и жертвенником, и поставь двор кругом» [Исх. 40(6-8)].

Таким образом, Скиния состояла из трех частей. Самая главная часть – Святое Святых, где хранился ковчег завета со скрижалями. Перед ним вторая часть – святилище, где находились стол с хлебами предложения, семисвечник и алтарь для воскурений фимиама перед входом в Святое Святых. Третья часть – двор, где стояли чаша с водой для ритуального омовения и жертвенник всесожжений. Скиния имела сакральное значение: она являлась переносным храмом, святилищем, где Божье присутствие проявлялось в столпе облачном или огненном [Чис. 14(14)]. Соответственно своей значимости она занимала центральное положение в стане Израильском.

Из описаний следует, что скиния и ее двор имели прямоугольную конфигурацию в плане. О расположении скинии в дворовом пространстве в текстах прямых данных нет. Вход в скинию был предусмотрен с восточной стороны, что явно

прослеживается из контекста [Исх. 26(22-29,36-37), 36(27-33)]. В.Д. Фартусов же пишет, что в скинию входили и с восточной, и с западной стороны [11], а это противоречит библейским описаниям. О горизонтальных связях продольных сторон для скрепления и фиксации двадцати вертикальных элементов скинии сказано, что это были шесты, вкладываемые в кольца. Внутренний шест, как написано, проходил посередине «от одного конца до другого». Казалось бы, его можно принять за балку, которая шла по верху по продольной оси скинии. Однако, как перевел с иврита и пояснил главный раввин РТ И. Горелик, эта конструктивная связь проходила в монтажном отверстии внутри всех опор по середине их высоты, а не по верху. О форме покрытия скинии никаких данных нет, и, если следовать известным из текста описаниям, оно было плоским, многослойным и перекрывало скинию без каких-либо балок, а не провисало потому, что его положение фиксировали свисающие до земли покрывала. Из приведенных описаний известно, что внутреннее пространство скинии разделялось на 2 части завесой на 4-х столбах, но расположение этой преграды и размеры столбов не указаны. Можно согласиться с предположением В.Д. Фартусова, что они не имели связей ни между собой, ни с основными конструкциями, поскольку соединительные элементы не упомянуты (завеса в этом случае непосредственно висела на них) [11]. Об ограждении дворового пространства также нельзя судить однозначно: непонятно, как именно распределялись опоры ограждения при заданных размерах его сторон, неизвестна их высота, профиль сечения.

По мнению авторов, для точного воссоздания скинии по библейскому описанию представленные данные необходимы, но недостаточны. Эти сведения могут быть восполнены лишь предположительно (рис. 4). Лишь Моисей знал о скинии все, поскольку он видел, какой она должна быть («...сделай все по образу, показанному тебе на горе» [Евр. 8(5), Исх. 25(40)]). Поэтому ни одна из существующих графических интерпретаций ее образа не может претендовать на истинность.

Название «храм» встречается в 15 книгах Ветхого и в 10 книгах Нового Завета. Храм в Иерусалиме (дом Божий, Дом Господень) упоминается в 20 книгах Ветхого Завета и в 11 книгах Нового Завета. Замыслил постройку храма Господу царь Давид. «И отдал Давид Соломону, сыну своему, чертеж притвора и домов его, и кладовых его, и горниц его, и внутренних покоев его, и дома для ковчега. И чертеж всего, что было у него на душе, дворов дома Господня и всех комнат кругом, сокровищниц дома Божия и сокровищниц вещей посвященных, и священнических и левитских отделений, и всякого служебного дела в доме Господнем, и всех служебных сосудов дома Господня» [1 Пар. 28(11-13)]. И еще дал на постройку храма

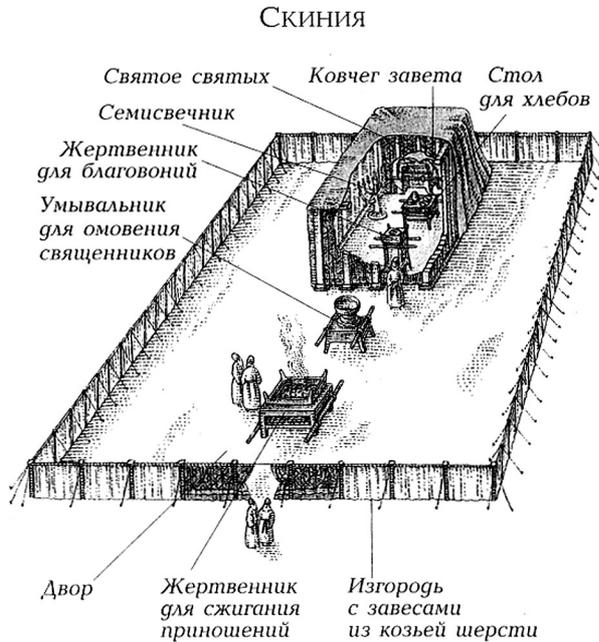


Рис. 4. Устройство Скинии

огромное количество припасенного золота, серебра, меди, железа, дерева, мрамора и других камней дорогих и разноцветных [1 Пар. 22(14,16), 28(15-18), 29(2-5)]. Осуществил это намерение сын царя Давида, Соломон, которого для этой миссии избрал Сам Бог [1 Пар. 28(5)].

«Храм, который построил царь Соломон Господу, длиною был в 60 локтей, шириною в 20 локтей и вышиною в 30 локтей, и притвор пред храмом в 20 локтей длины... и в 10 локтей ширины... И сделал он в доме окна решетчатые, глухие с откосами. И сделал пристройку вокруг стен храма, вокруг храма и давира; и сделал боковые комнаты кругом. Нижний ярус пристройки шириною был в 5 локтей, средний шириною в 6 локтей, а третий шириною в 7 локтей; ибо вокруг храма извне сделаны были уступы, дабы пристройка не прикасалась к стенам храма... на строение употребляемы были обтесанные камни;... вход в средний ярус был с правой стороны храма. По круглым лестницам всходили в средний ярус, а от среднего в третий. И построил он храм, и кончил его, и обшил храм кедровыми досками. И пристроил ко всему храму боковые комнаты вышиною в 5 локтей; они прикреплены были к храму посредством кедровых бревен» [3 Цар. 6(2-10)]. «И обложил стены храма внутри кедровыми досками; от пола храма до потолка внутри обложил деревом, и покрыл пол храма кипарисовыми досками. И устроил в задней стороне храма, в 20 локтях от края, стену, и обложил стены и потолок кедровыми досками, и устроил давир для Святого Святых. Сорок локтей был храм, т.е. передняя часть храма. На кедрах внутри храма были вырезаны подобия огурцов и распускающихся цветов; все было покрыто кедром, камня не видно было. Давир же

внутри храма он приготовил для того, чтобы поставить там ковчег завета Господня. И давир был длиною в 20 локтей, шириною в 20 локтей, и вышиною в 20 локтей; он обложил его чистым золотом; обложил также и кедровый жертвенник. И обложил Соломон храм внутри чистым золотом, и протянул золотые цепи перед давиром и обложил его золотом» [3 Цар. 6(15-21)]. «И на всех стенах храма кругом сделал резные изображения херувимов и пальмовых деревьев и распускающихся цветов, внутри и вне. И пол в храме обложил золотом во внутренней и передней части. Для входа в давир сделал двери из масличного дерева, с пятиугольными косяками. На двух половинах дверей из масличного дерева он сделал резных херувимов и пальмы и распускающиеся цветы, и обложил золотом; покрыл золотом и херувимов и пальмы. И у входа в храм сделал косяки из масличного дерева четырехугольные, и две двери из кипарисового дерева; обе половинки одной двери были подвижные, и обе половинки другой двери были подвижные. И вырезал на них херувимов и пальмы и распускающиеся цветы, и обложил золотом по резьбе» [3 Цар. 6(29-35)] «...красного дерева перила для дома Господня...» [3 Цар. 10(12)], «...горницы также покрыл золотом... И сделал пред храмом 2 столба, длиною по 35 локтей, и капитель на верху каждого в 5 локтей. И сделал цепочки... и положил на верху столбов... 100 гранатовых яблок положил на цепочки. И поставил столбы перед храмом... по правую сторону (Иахин)... по левую (Воаз)... 2 столба и 2 опояски венцов на верху столбов, и 2 сетки для покрытия 2-х опоясок венцов, которые на главе столбов, и 400 гранатовых яблок на 2-х сетках, 2 ряда гранатовых яблок для каждой сетки, для покрытия 2-х опоясок венцов, которые на столбах» [2 Пар. 3(15-17), 4(12-13)]. В этих подробных описаниях Храма явно просматривается принципиальная организация его структуры по подобию Скинии. «И построил внутренний двор из 3-х рядов обтесанного камня и из ряда кедровых брусев» [3 Цар. 6(36)]. «И сделал священнический двор, и большой двор, и двери к двору...» [2 Пар. 4(9)].

Первый Иерусалимский Храм был построен примерно в X в. до н.э. Он вошел в анналы всеобщей истории архитектуры исключительно благодаря сведениям из библейских текстов [12]. Там отмечается, что он был целиком финикийским по своему характеру – такое утверждение опирается на библейские упоминания о привлечении финикийских мастеров [2 Пар. 2(13-14)]. Храм неоднократно подвергался ограблениям и, наконец, был сожжен и до основания разрушен Навуходоносором [4 Цар. 25(9), 2 Пар. 36(19)], просуществовав 416 лет.

Подробности в библейских описаниях первого Храма породили многочисленные исследования и попытки его графических реконструкций (Фартусов, Олбрайт, Райт, Стивенс, Борелл, Дрейер и др.) В рамках настоящей статьи не представляется возможным дать



развернутое представление о них.

После возвращения евреев из вавилонского плена по повелению царя Кира на том же месте Зоровавелем был сооружен новый Храм, подобный первому. В текстах Библии о нем сведений немного: «...доставляли кедровый лес с Ливана по морю... строители положили основание храму Господню...» [Езд. 3(7,10)], «... строится он из больших камней, и дерево вкладывается в стены...» [Езд. 5(8)], «...царь Кир дал повеление о доме Божьем в Иерусалиме: пусть строится дом... пусть будут положены прочные основания для него; вышина его в 60 локтей, ширина его в 60 локтей; рядов из камней больших 3, и ряд из дерева 1» [Езд. 6(3-4)]. Он превосходил первый Храм по своим габаритам, но, вероятно, значительно уступал ему по роскоши, судя по тому, что «...многие..., которые видели прежний храм, при основании этого храма плакали громко...» [Езд. 3(12)]. Так же, как и первый Храм, он имел притворы с комнатами и колоннадами [1 Мак. 4(31)]. Впоследствии он также неоднократно разрушался, оскверняясь язычниками.

Приблизительно за 20 лет до Р.Х. Ирод Великий решил перестроить Храм, сделать его более богатым, увеличить его объем и площади дворов. Евреи не позволяли разрушать свою святыню, и возведение нового Храма происходило поэтапно, по частям – старые фрагменты заменялись на новые. Об архитектуре этого Храма конца I в. до н.э. – начала I в. н.э. из текстов Нового Завета известно следующее: «...поставляет Его на крыле храма...» (греч.: «выступе храма») [Мф. 4(5), Лк. 4(9)], «...показать Ему здания храма» (в греч. пер. «строения храма» более верно), «...завеса в храме раздралась сверху донизу...» [Мф. 27(51), Мр. 15(38)], «...говорили о храме, что он украшен дорогими камнями и вкладами...» [Лк. 21(5)], «...сей храм строился 46 лет...» [Иоан. 2(20)], «...при дверях храма, называемых Красными... пред входом во храм... повлекли его вон из храма, и тотчас заперты были двери» [Деян. 3(2-3), 21(30)], «...внешний двор храма... дан язычникам...» [Отк. 11(2)]. Этих сведений явно недостаточно, чтобы воссоздать образ храмового комплекса по текстам. В 70 г. Храм был разрушен римскими войсками при взятии Иерусалима Титом, сохранился лишь фрагмент западной стены храмового комплекса (Стена плача), камни которой изумляют своими размерами.

Обнаружен важнейший артефакт: монета с изображением последнего храма, что является достоверным свидетельством о нем (рис. 5). Реальность существования иерусалимского Храма в I в. н.э. подтверждается И. Флавием, который в своих книгах при описании исторических событий как очевидец неоднократно упоминал о нем и о различных его атрибутах. «Внешний вид храма восхищал «глаз и душу». Покрытый со всех сторон золотом он блистал...», на вершине храма были золотые заостренные спицы. Непокрытые дворовые места были



Рис. 5. Иудейская монета с изображенным на ней входом в Храм

вымощены разноцветной мозаикой» [1]. К. Тацит также упоминал о храме в Иерусалиме и отмечал, что в нем собраны огромные богатства [13]. Ш.М. Шукуров пишет о семантическом сцеплении двух образов: камня и лестницы, утверждающем неразрывную линию храмовой традиции авраамических религий [3]. В настоящее время на месте Иерусалимского Храма находится святыня ислама Куббат-ас-Сахра.

В Священном Писании многократно упоминаются храмы, посвященные языческим богам: Астарте, Артемиде, Дагону в Азоте, в Газе [Суд. 16(19,23,25-30), 1 Цар. 5(2), 1 Пар. 10(10)], Ваалу [4 Цар. 10(21)], Диапету [Деян. 19(35)], Молоху, Ремфану, Фегору, Хамосу, Эль-Маузиму. Городов, где они существовали, упоминается такое множество, что можно с уверенностью заключить: языческие храмы были распространены повсеместно во все периоды библейской истории. Об устройстве языческих храмов из текстов Библии почти ничего не известно. В Азоте в храм Дагона внесли ковчег Божий «...и поставили его подле Дагона» [1 Цар. 5(2)], из чего следует, что в языческом храме стояла статуя божества. Языческие храмы существовали также и в I в. по Р.Х. В Ефесе был храм Артемиды, с которого художники делали уменьшенные серебряные копии – об этом известно из текстов Нового Завета [Деян. 19(24,27)]. Можно утверждать, что они имели большую вместимость, поскольку сказано, что в Самарии «...вошли в дом Ваалов, и наполнился дом Ваалов от края до края» [4 Цар. 10(21)]. Из описания трагического финала истории библейского героя Самсона, который «сдвинул... с места два средних столба, на которых был утвержден дом», известно, что обрушился храм Дагона, погубив множество народа в нем [Суд. 16(29-30)]. Раскопки подтвердили, что на юго-западе Палестины около XI в. существовали крупные постройки, которые имели центральное помещение, отделенное от остальных рядом столбов, поддерживавших верхний этаж и кровлю, например, храм Дагона в Угарите [8]. У Витрувия в трактате «Об



архитектуре» описаны храмы в городах, названия которых встречаются в Библии: Марса и Весты в Риме, храм Сминфея в Троаде, храм Дианы (Артемиды) в Эфесе. Это свидетельствует об их реальном существовании. Из этого трактата узнаем, что длина здания языческого храма была вдвое больше его ширины. Здание храма, по возможности, должно было ориентироваться алтарной частью или на восток, или на берег реки (как в Египте близ Нила), или входом на дорогу, чтобы прохожие обращали свои взоры на статую божества [14]. Библейские города, где упоминались языческие храмы, существуют и в настоящее время. Археологические раскопки убеждают в реальности существования некоторых из этих культовых зданий.

**Синагоги** упоминаются в 4 книгах Нового Завета. Из повествований о деятельности Иисуса Христа и Апостолов ясно, что синагога была предназначена для молитв [Мф. 6(5)], субботних собраний иудеев [Мр. 1(21)], для изучения закона и пророков [Деян. 13(14,15)], проповедей, а также рассуждений [Деян. 17(17)] и публичных наказаний [Мф. 10(17)]. Известно также, что строились синагоги специально для этих целей, иногда на средства благотворителей [Лк. 7(5)]. О вместимости синагог трудно судить, но упоминаются «многие слышавшие» [Мр. 6(2)]. Внутри синагоги, видимо, были сидячие места для слушающих [Мр. 12(39)], причем передние места «председания» оставляли для учителей закона [Мф. 23(6)]. Синагоги, очевидно, были во всех городах, где проживали иудеи: Иисус и апостолы заходили в синагоги в Назарете, в Кириее и Александрии, в Саламине и Антиохии, в Фессалониках, Верии, Афинах и Эфесе, в Коринфе, Дамаске, в Иерусалиме, в городах Галилеи и Десятиградия [Мф. 4(23), 13(54), Мр. 5(20,22), Лк. 13(10), Деян. 6(9), 9(2), 13(5,14), 17(1,10,17,19), 18(4)]. В текстах Библии практически нет никаких сведений о том, где и когда появились синагоги, ничего неизвестно и об архитектонике этих зданий. Поскольку первоначально синагогами (греч. «собрание») называли места собраний иудеев для чтения закона, то, возможно, впервые эти конфессиональные собрания могли появиться во время вавилонского пленения (VI в. до Р.Х.) по причине невозможности поклоняться Богу в Иерусалимском храме. Вплоть до сегодняшних дней не найдена ни одна из синагог периода библейской истории, которую можно было бы датировать I веком н.э. В ходе раскопок на территории древнего Коринфа был найден крупный камень, который, вероятно, был верхним дверным брусом синагоги: на нем процарапано греческими буквами «еврейская синагога». Найдены также и другие артефакты: каменные фрагменты здания древней синагоги, на рельефах которых видны изображения архитектурных элементов, ордерный декор, меноры, изображение Скинии на колесной повозке [8].

**Церкви** часто упоминаются в 10 книгах Нового Завета.

Определенно известно только лишь их местонахождение (в Антиохии, в Кенхреях, в Египте, в Азии, в Эфесе, в Смирне, в Пергаме, в Фиатире, в Сардисе, в Филадельфии, в Лаодикии [Деян. 11(26), Рим. 11(6), 1 Кор. 7(17), 16(19), Отк. 2(1,8,12,18), 3(1,7,14)]). Церквями в Библии называют места собрания христиан, о каких-либо зданиях явных данных не выявлено. Выражения «собираться в церкви» [Деян. 11(26) и др.] и «посреди церкви» [Евр. 2(12)], казалось бы, не исключают их существования как самостоятельных построек, но, учитывая политическую обстановку, можно отбросить такое предположение. Домашние церкви [Рим. 16(4)], очевидно, и были местом сбора первых христиан. Из апокрифов известно, что во времена гонений на христиан богослужения совершались в пещерах [2 Мак. 10(6)]. Впоследствии в этих пещерах были основаны монастыри, например, в Сирии, Египте, Палестине. Пещера стала прообразом христианской церкви в ее материализованном воплощении в виде здания.

Таким образом, все выявленные в текстах Библии культовые сооружения можно разделить на монотеистические (жертвенник, памятник, лестница Иакова, Скиния, Иерусалимский храм, синагога, церковь) и языческие (жертвенник, башня, капище, храм). Наиболее подробно описаны Скиния, сооруженная Моисеем, и первый Храм Иерусалимский, построенный царем Соломоном. Описания этого Храма позволяют судить о его композиционном объемно-пространственном решении, внутренней структуре и интерьерах, а также используемых строительных и отделочных материалах. Обо всем его великолепии, об архитектурных достоинствах и конструктивных особенностях, о богатейшей внутренней отделке, об организации террасированного храмового пространства, включающего многоколонные портики и другие постройки, мы узнаем также из описаний И. Флавия и П. Тацита, видевших этот знаменитый комплекс.

Виртуальная лестница Иакова также включена в список выявленных в текстах Библии культовых сооружений, поскольку ее аллегорический образ связи материального и духовного мира нашел воплощение во всех культовых постройках последующих исторических периодов. Скиния и Храм, сооруженные по Божьему замыслу, являются сакральными прообразами последующих христианских и мусульманских культовых сооружений: прослеживаются общие принципы символической организации их внутреннего пространства.

#### Источник исследования

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



Принятые сокращения:

Первая книга Моисеева. Бытие (Быт.), Вторая книга Моисеева. Исход (Исх.), Четвертая книга Моисеева. Числа (Чис.), Пятая книга Моисеева. Второзаконие (Вт.), Книга Иисуса Навина (Нав.), Книга Судей Израилевых (Суд.), Первая книга Царств (1 Цар.), Вторая книга Царств (2 Цар.), Третья книга Царств (3 Цар.), Четвертая книга Царств (4 Цар.), Первая книга Паралипоменон (1 Пар.), Вторая книга Паралипоменон (2 Пар.), Книга Ездры (Езд.), Псалтирь (Пс.), Книга Пророка Исаии (Ис.), Книга Пророка Иеремии (Иер.), Книга Пророка Амоса (Ам.), От Матфея святое благовествование (Мф.), От Марка святое благовествование (Мр.), От Луки святое благовествование (Лк.), Деяния святых Апостолов (Деян.), Послание к Римлянам (Рим.), Первое послание к Коринфянам (1 Кор.), Послание к Евреям (Евр.), Откровение Иоанна Богослова (Отк.), Первая книга Маккавейская (1 Мак.), Вторая книга Маккавейская (2 Мак.)

#### Литература

1. Флавий И. Иудейская война / И. Флавий. – Минск: Беларусь, 1991. – I, 255; V, 5; VI, 4.
2. Косидовский З. Библейские сказания: пер. с польск. / З. Косидовский. – 3-е изд. – М.: Политиздат, 1975. – С. 81, 87.
3. Шукуров Ш.М. Образ храма. *Imago templi* / Ш.М. Шукуров. – М.: Прогресс-Традиция, 2002. – С. 94-110, 118, 287, 373.
4. Павлов Н.Л. Алтарь. Ступа. Храм. Архаическое мироздание в архитектуре индоевропейцев / Н.Л. Павлов. – М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2001. – С. 25.
5. Бенуа М. Доисторическая архитектура / М. Бенуа // История архитектуры в избранных отрывках. – М.: Изд-во Всесоюз. акад. архитектуры, 1935. – С. 8.
6. Толковая Библия или комментарий на все книги Священного Писания Ветхого и Нового Завета. – СПб., 1904–1913. – Т.1. – С. 82.
7. Геродот. История: в 9 кн. / Геродот; пер. и прим. Г.А. Стратановского. – М.: Ладомир, АСТ, 1999. – I, 2.
8. Василиадис Н. Библия и археология: пер. с новогреч. / Н. Василиадис. – Сергиев Посад: Свято-Троицкая Сергиева Лавра, 2003. – С. 30, 150, 156, 374, 402.
9. Саваренская Т. Ф. История градостроительного искусства. Рабовладельческий и феодальный периоды: учебник для вузов / Т. Ф. Саваренская. – М.: Архитектура-С, 2004. – С. 7.
10. Бондаренко И.А. Градостроительное мышление средневековой Руси: традиции и идеалы: дис. ... д-ра арх. в форме науч. докл. / И.А. Бондаренко. – М., 1997. – С. 55.
11. Фартусов В.Д. Планы и фасады Ноева ковчега, Скинии Моисея, первого и второго Иерусалимских храмов, дворца Соломона / В.Д. Фартусов. – М., 1909. – С. 10, 12.
12. Всеобщая история архитектуры: в 12 т. / Отв. ред. О.Х. Халпахчян. – М.: Изд. лит. по строит., 1970. – Т. 1: Архитектура Древнего мира. – С. 237-238.
13. Тацит П.К. Анналы. Малые произведения. История: пер. с лат. / П.К. Тацит. – М.: АСТ, Ладомир, 2003. – V, 5, 8, 12.
14. Витрувий М. ... Об архитектуре. Десять книг: пер. с лат. / М. Витрувий; ред. и введ. А.В. Мишулина. – [Л.]: Соцэкгиз, Ленингр. отд., 1936. – IV, С. 109-112.



УДК 711.112

**П.Н. Быстров** – аспирант

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АСПЕКТ РЕДЕВЕЛОПМЕНТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

### **АННОТАЦИЯ**

В статье описана функциональная составляющая редевелопмента городских промышленных территорий, а также рассмотрены возможные направления развития в случае смены функции промышленных территорий.

**P. Bystrov** – post-graduate student

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## **FUNCTIONAL ASPECT OF INDUSTRIAL TERRITORIES REDEVELOPMENT**

### **ABSTRACT**

This article describes the functional aspect of redevelopment of urban industrial territories. The possible directions of the redevelopment in the case of functional changes of industrial territories are considered.

В настоящее время многие крупные и активно растущие города остро испытывают нехватку в жилых и общественного назначения площадях, особенно в центральных районах. Возникает вопрос выбора места для новой застройки: наиболее удобные и оптимальные по техническим показателям и градостроительным условиям площадки оказываются занятыми размещенными на них промышленными комплексами, многие из которых из-за старения становятся либо нерентабельными, либо нарушают экологию, либо не функционируют в должном объеме. Этому способствует целый ряд причин различного характера: исторически сложившаяся градостроительная структура, отсутствие системного подхода в процессе зонирования общей планировки города, его стремительный и порой хаотичный рост, когда происходит процесс перемешивания кардинально различных зон, например, селитебной и промышленной территории.

В соответствии с требованиями времени необходим редевелопмент (англ. redevelopment – новое развитие) городских промышленных территорий. Этот процесс не предполагает уничтожения уже сложившегося целостного организма, а подразумевает некоторое изменение его структуры. Здесь важно понять, что промышленные объекты являются неотъемлемой частью исторической застройки, сросшейся со средой. Своим образом они являют естественно сложившуюся среду исторических наслоений, которые продолжают существовать в некоем абстрагированном пространстве, вне времени.

Редевелопмент промышленных территорий – трудоемкий процесс, требующий концентрации усилий множества специалистов, проведения комплекса мероприятий, связанных с оценкой эффективности функционирования, экономической состоятельности, экологической безопасности и пр. Результатом могут служить выводы о том, в каком направлении предприятия будут развиваться в дальнейшем. В функциональном отношении эти направления следующие:

- *Сохранение промышленной функции;*
- *Частичная рефункционализация;*
- *Полная рефункционализация* – реконструкция промышленных зданий и сооружений с изменением функции, то есть того назначения, которое вызвало причину строительства (в данной статье подробнее рассмотрим это направление).

Целый ряд причин оказывает влияние на процесс функциональной переориентации промышленных объектов, захватывающих и сферу общественного существования, и сферу общественного сознания. Меняются идеологические системы и мировосприятие людей, меняется общественная психология, а вместе с этими процессами происходит постоянный пересмотр систем ценностей и смысловых значений. Переосмысление пространственной структуры заводов или отдельно стоящих промышленных объектов, их архитектуры оказывает влияние, в том числе и на формы досуга и поведения.

Основными местами активного приложения труда административного и интеллектуального характера, а



также разветвленных сфер культурно-бытового обслуживания являются центральные части городов. Поэтому направления для рефункционализации промышленных предприятий, расположенных в центральной части города, весьма разнообразны: жилые здания, административные здания (офисы), гостиницы, музеи, предприятия торговли, культурно-развлекательные центры, образовательные учреждения, спортивные сооружения, городские общественные пространства для массового отдыха (например, если перепрофилируемая промышленная территория расположена рядом с водоемом).

*Жилые здания.* На фоне такой общей проблемы, как недостаточное количество жилья, смена функции существующих промышленных объектов под жилье может считаться одной из самых удачных операций. Существующий опыт показывает, что использование основной, еще пригодной несущей конструктивной части, позволяет снизить стоимость строительства одного квадратного метра жилья по отношению к нововозводимому. Необходимо отметить, что переориентация промышленных объектов под жилье – это не только решение квартирного вопроса, но и оздоровление территории, которое позволяет с ростом города и общим приростом его населения расширять территории в селитебном секторе городской структуры, в том числе и за счет освоения контактных зон.

*Административные здания.* Тенденция приспособления промышленных комплексов, а также отдельных объемов под административные функции, очевидно, продиктована экономическими выгодами. Для капиталовложений использование нерационально используемых промышленных зданий и территорий становится выгодно лишь при внесении в старый объем совершенно новой функции. Арендная плата таких офисов невелика, т.к. в нее не входит стоимость строительства нового здания.

*Гостиницы.* Промышленные здания и сооружения, какой бы ни была дата их постройки, всегда находятся в эпицентре транспортных узлов, что продиктовано их функциональным назначением. С ростом и развитием городов не только промышленные комплексы меняют свое назначение, но и транспортные развязки постепенно становятся пассажирскими, частично пешеходными или туристическими маршрутами. Памятники промышленного зодчества становятся центрами притяжения как местных, так и иностранных туристов. Из этого вытекает одно из самых логичных решений – размещение в подобных объемах гостиниц.

*Музеи.* Это возможность максимально сохранить историческую достоверность архитектурно-планировочного решения комплексов при одновременно минимальном изменении всего облика здания. Необходимость для музея огромных пространств, свободной планировки и текучести объемов только облегчают задачу смены функции, т.к.

все это присутствует в промышленных сооружениях. Минимализм в процессе реконструкции и обновления внутренних пространств объекта выгоден еще и потому, что большинство музеев и выставок существуют на государственные дотации. Подобная политика позволяет существенно сократить сумму вложений в строительство, а в данном случае в процесс рефункционализации.

*Предприятия торговли.* Несмотря на то, что рентабельность или экологическая ситуация того или иного промышленного предприятия ставят под вопрос его дальнейшее использование (что может служить причинами изменения функции), сам объект сохраняет ту развернутую инфраструктуру, которая позволяет разместить предприятия розничной торговли. Отлаженные годами составляющие элементы структуры позволяют их эксплуатировать и в дальнейшем, даже при кардинальной смене главной функции промышленного комплекса.

*Культурно-развлекательные центры.* На фоне насыщенности рынка различного рода услугами культуры и развлечений проблема новизны и новаторства четко обозначилась в начале XXI столетия. Спектр предлагаемых услуг настолько разнообразен и переизбыточен, что удивить потребителя становится все труднее. Одним из способов остается по-прежнему оригинальность и непохожесть. Стиль «техно» стал ответом на поставленный вопрос. Сохранение не только внешнего облика, но и внутреннего убранства промышленного объекта всегда привлекают отдыхающих. Непосредственное включение промышленных агрегатов в интерьер клубов, парков стало одним из модных дизайнерских направлений. Что и нашло свое отражение в появлении целого ряда культурно-развлекательных центров, созданных на базе предприятий тяжелой индустрии.

*Образовательные учреждения.* Изменение промышленных объектов под общеобразовательные сооружения может быть (наряду со всеми ранее перечисленными причинами) трактовано как попытка примера реального проектирования, а именно: внедрение оригинальных идей, доведенных до реального воплощения; применение уже имеющихся теоретических знаний не только в процесс обучения, но и в реальное строительство. Промышленные комплексы, перепрофилированные в образовательные учреждения, являют собой пример того, что процесс рефункционализации – это не только теоретическая возможность, но и реальность, внутри которой находятся сами же учащиеся.

*Спортивные сооружения.* Разросшаяся структура города делает проблематичным насыщение ее различными инфраструктурами соцкультбыта. Переоснащение бывших промышленных объектов в спортивные сооружения – это одна из возможностей решения подобного рода проблемы.

Процесс смены функции – это не разрушение, а



переустройство, не противопоставление, а синтез и разумное сосуществование. Это пропаганда нового отношения к старым проблемам, нового их решения.

Насыщение центра города необходимыми по тому или иному назначению зданиями – это путь, который позволяет одновременно решать или в различной степени облегчать вопросы экономического и социального характера.

Функциональное переустройство промышленных территорий позволяет решить следующие задачи:

- оздоровление зданий и санация сложившейся среды;
- социальное переустройство сложившегося района города;
- увеличение количества жилых и общественных пространств с современными комфортными условиями проживания и более высоким уровнем культурно-бытового обслуживания;
- улучшение эстетических качеств промышленных комплексов и прилегающих территорий.

### Литература

1. Беккер В.Я., Карелина В.В. Реорганизация производственных территорий. // Архитектура и строительство Москвы. Журнал комплекса архитектуры, строительства, развития и реконструкции города, № 5-6. – 47 с.
2. Маловецкий А.В. Город и предприятия: условия совместного развития. – М.: УРСС, 2002. – 296 с.
3. Промышленная политика правительства Москвы. / Департамент науки и промышленной политики. – М., 2001. – 67 с.
4. Руководство по совершенствованию эстетических качеств промышленных предприятий. / ЦНИИ промышленных зданий Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1981. – С. 73-85.
5. Штиглиц М.С. Промышленная архитектура Петербурга в сфере «Индустриальной археологии». – СПб.: «Белое и Черное», 2003. – 256 с.



УДК 712.25

**Ю.А. Закирова** – аспирант

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

**ПЕШЕХОДНОЕ ДВИЖЕНИЕ КАК ФАКТОР ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ОРГАНИЗАЦИЮ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

**АННОТАЦИЯ**

Существует несколько характерных типов пешеходного движения человека, но наиболее значимыми являются функциональная и социальная специфика пешеходного движения. Тип пешеходного движения в архитектурно-пространственной среде во многом определяется и поддерживается устойчивыми пространственными единицами, которые организуют движение. Грамотно смоделированные пешеходные пространства, их расположение и характер оказывают влияние на изменение и возникновение новых форм поведения в современной городской среде. Структура пешеходного движения разделена на пять основных фаз, которые связаны с психологическими особенностями восприятия и трактовкой пространства человеком, уровнем социального контроля и т.п. Главными в организации пешеходных пространств являются пространственные требования, определяемые элементарными типами поведения.

**J. Zakirova** – post-graduate student

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

**PEDESTRIAN MOTION AS A FACTOR OF INFLUENCE  
ON URBAN ENVIRONMENT ORGANIZATION**

**ABSTRACT**

There are several distinctive types of pedestrian motion, but the most significant are functional and social peculiarities of pedestrian motion. The type of the pedestrian motion in architectural environment mainly is defined and supported by stable spatial units, which organize the motion. The competently designed pedestrian spaces, their location and character have an influence on the change and development of new types of behavior in the modern urban environment. The structure of pedestrian motion is divided into five main phases, which are connected with psychological particularities of the perception and interpretation of the space, level of the social control, etc. The most important issues in organization of pedestrian spaces are spatial requirements, defined by elementary types of behavior.

**Пешеходное движение в системе форм психической активности человека.**

Пешеходное движение формируется под влиянием двух основных факторов: выразительность архитектурного пространства (протяжённость, открытость, высота, динамические характеристики построения архитектурных форм, заложенные символические смыслы и образы) и состояние, настрой, целевая установка пешехода. Для прогнозирования возможных сценариев действия в среде необходимо выяснить, какое место в ней человек определяет для себя, и исследовать влияние психологических типов людей на поведение (движение). За основу берется типология людей, разработанная Шелдоном, в которой выделено три основных типа, по отношению к окружающему пространству:

- эктоморфный (сосредотачивает внимание на

своём внутреннем состоянии, воспринимает местность, исходя из своего состояния),

- мезоморфный (для него окружающая среда представляет объект воздействия, стремится использовать, завоевывать её),

- эндоморфный (чувственный тип, в восприятии природы эти люди открыты для её воздействия, «они сливаются с природой»).

Дополнительно можно рассмотреть ещё целый ряд типологий, таких, к примеру, как – аудиал, визуал, кинестетик, которые тоже характеризуют тип личности и принцип построения отношений «личность – среда обитания» (по Немову Р.С.). Эти типологии имеют много общего с классическими моделями, разработанными психологами, которые учитывают тип темперамента и характерный для него тип восприятия среды. Один из примеров такой классификации:



«интроверт (поглощён собственными переживаниями, ослаблено внимание к тому, что происходит вокруг) и экстраверт (внимание обращено в основном на то, что происходит вокруг); сангвиник (тип темперамента, характеризующийся энергичностью и быстрой реакцией) и флегматик (тип темперамента, характеризующийся слабой активностью и замедленной реакцией)» и т.д. [4, с. 676].

Кроме того, в условиях современного крупного города (большая концентрация людей и перенасыщенное пространство) человек вынужден вырабатывать механизмы адаптации к перенаселённой среде, возникающие таким образом формы поведения и реакции на окружение являются индикаторами степени комфорта архитектурной среды. Рассмотренные классификации психологических форм личности доказывают, что движение людских потоков представляет такой процесс, на который существенное влияние оказывает психологическое состояние участвующих в нем людей. Следовательно, при расчете процесса и при проектировании путей движения этот фактор должен приниматься во внимание.

Достоверный прогноз использования человеком открытых пространств крупного города необходим для обеспечения оптимальных условий пешеходам и для рационального использования территорий. Следующим уровнем исследования данного вопроса является рассмотрение характерных типов пешеходного движения человека.

## **Характерные типы пешеходного движения человека.**

По времени существования людские потоки на городских территориях могут быть кратковременными и длительными.

- Движение может быть одиночным и массовым.
- Движение может быть беспорядочным (ненаправленным) и поточным (направленным).
- Движение может быть согласованным (организованным) и несогласованным (неорганизованным).
- Движение бывает свободным и стесненным.
- Движение можно различать по условиям, которыми оно вызвано.
- Пешеходное движение различных социальных групп.

• С учетом функциональной специфики движение может быть поделено на следующие типы:

1) Организованное движение больших людских масс (демонстрации, шествия, парады) – это поступательное движение, мощное и длительное, но редко повторяющееся, эпизодическое.

2) Импульсное пешеходное движение (трудовые потоки утром) – это поступательное, многоканальное движение высокого напряжения.

3) Прогулочное движение. Главной целью этого типа движения выступает собственно процесс движения, удовольствие от прогулки. Сопутствующими

функциями прогулочного движения могут быть достижения какой-то цели – покупки, зрелища и т.д., трудовые потоки в конце рабочего дня, а также передвижения людей в течение рабочего дня, связанные либо с отдыхом в обеденный перерыв, либо со спецификой работы, требующей частых перемещений и контактов в городской среде.

## **Пешеходное движение и архитектурно-пространственная среда.**

Тип пешеходного движения в архитектурно-пространственной среде во многом определяется и поддерживается устойчивыми пространственными единицами (ключевые элементы), архетипами, элементами, которые организуют движение. Грамотно смоделированные пешеходные пространства, их расположение и характер оказывают влияние на изменение и возникновение новых форм поведения в современной городской среде [5]. Систематизировать процессы формирования поведения под воздействием архитектурной среды можно в следующем порядке:

• Первое – это выделить качества архитектурного пространства, архетипические свойства архитектурного пространства и характеристики архитектурных форм:

- неопределённость пространства (пустота или хаотичность, отсутствие чётких границ и ориентиров, в том числе связанное с боязнью пустоты или, наоборот, клаустрофобией),

- стеснённость, узость пространства (ограничение свободы),

- давление пространства (отягощённость массивными формами, в том числе нависанием больших объёмов, что воспринимается как опасность для жизни),

- замкнутость пространства (психологическое отсутствие выхода).

• Второе – определить ключевые «архитектурные фразы», пространственные формы, оказывающие влияние на сознание человека. К ключевым «архитектурным фразам» пространственных форм можно отнести следующие элементы:

- арка, дверной проём (как вход, ворота, звено, соединяющее два разных пространства, мира прошлого и будущего),

- стена, большие или протяжённые фронтальные элементы (ограничение или граница, порядок, защита от воздействий извне),

- навес, перекрытие, крыша (защита от сил стихии),

- коридор, туннель (как элементы, движение к цели),

- тупик (конец пути).

Ключевые элементы архитектурно-пространственной среды сигнализируют человеку о включении очередной «модели поведения», влияют на процесс восприятия, формирования впечатлений о данной архитектурно-пространственной структуре, а также непосредственно на выбор маршрута и места пребывания [1, с. 40]:

- вход в пространство: элемент, открывающий



пространство, представляющий его значение, функциональный аспект, размер и начало [2];

- основной объём пространства: фон пространства [2], элементы, организующие движение, направляющие, сдерживающие, останавливающие, элементы заполнения (направляющие и организующие «знаки»), подводящие элементы, доминанты, зоны и пути;

- выход из пространства: элемент, завершающий композицию пространства и направляющий человека в другое пространство [5].

• Третье – установить принципы возникновения ассоциативного мышления человека в среде, которые могут возникнуть:

- через опыт кинестезических ощущений: тактильные ощущения от контакта с поверхностью, перепад уровней, ступени, наклоны, пандусы;

- через визуальные впечатления: фиксированные точки восприятия, визуальные ряды, динамика зрительных впечатлений, игра света и тени;

- с помощью раннего пространственного опыта: тупики, запустение, грязь, узость пространства, боязнь пустоты – неопределённое пространство, узость проходов, стеснённость, нависание больших объёмов, тяжёлый мрачный цвет и т.п. – отождествление с формой или геометрией препятствий;

- с помощью идентификации: ранний пространственный опыт человека [2], обращение к приятным или неприятным ощущениям (чувствам раздражения, агрессии, тревоги).

#### **Структура и фазы пешеходного движения в архитектурно-пространственной среде.**

Структура поведенческого процесса (пешеходного прогулочного движения в архитектурно-пространственной среде) и ключевые элементы архитектурно-пространственной среды могут быть использованы архитекторами на стадии предпроектных исследований или в процессе формирования системы пешеходных пространств города. Условно структура поведенческого процесса разделена на пять основных фаз, которые связаны с психологическими особенностями восприятия и трактовкой выделенного пространства человеком, чувством территориальности, дистанциями до объектов окружения, уровнем социального контроля [3], пешеходной доступностью и т.п. Каждая из этих фаз характеризуется выбором пути, места, действия, ритма и скорости движения, а также поведенческим стереотипом, который соответствует масштабу выбранного участка территории и характеру пространственной организации [5].

Структура поведенческого процесса (пешеходного прогулочного движения) и основные действия в выбранном пространстве:

1. На пороге нового общественного пространства – первая фиксированная точка зрения, предварительная оценка, принятие решения на предмет длительности

пребывания и характера осуществляемых действий;

2. Проникновение и изучение городского пространства – первые действия в выбранном пространстве, предварительное определение маршрута движения и значимых зон для деятельности и пребывания;

3. Освоение пешеходного пространства и контакты с людьми – движение по выбранным маршрутам, освоение зон пребывания, возобновление или налаживание контактов;

4. Пребывание и эстетическое познание пространства – оценка художественно-эстетических качеств архитектурных объектов, заполняющих пространство, общение;

5. Выход из пространства – завершение контактов с людьми, выход за пределы данного пространства [5, с. 69].

Структура поведенческого процесса выстраивается в тесной связи с ключевыми элементами городской среды, которые обозначают важные фазы взаимодействия человека и среды: на пороге нового пространства, проникновение и изучение пространства, освоение пространства и контакты с людьми, пребывание и эстетическое познание пространства, выход.

#### **Требования к организации архитектурной среды, исходя из особенностей поведения (пешеходного движения).**

Главными в организации пешеходных прогулочных пространств являются пространственные требования. Пространство или, точнее, территория должна содержать оптимальный диапазон дистанций, обеспечивающий различные уровни взаимодействия людей. Нужно учитывать то, что на выделенном участке пространства будет происходить целая совокупность видов деятельности, в которой будут участвовать различные люди и группы, дистанции между ними должны поддерживать возможность общения и т. п.

Требования к организации архитектурной среды обусловлены созданием условий для комфортного пешеходного движения и связаны с тем, как проявляется поведение: через движение, действие, контакты, пребывание (элементарные типы поведения или социально-функциональные программы):

1. Движение – целенаправленное перемещение до пункта назначения, транзитное движение, массовое и индивидуальное;

2. Действия – организация выбранного пространства, преобразующая деятельность (приспособление пространства для вида деятельности – уличная торговля, игры);

3. Социальные контакты – общение, собрания, митинги, выступления, взаимодействия;

4. Пребывание (рекреация) – досуг, прогулки, созерцание, ознакомление, изучение среды, архитектурных форм, игры.

Каждая категория поведения имеет свои архитектурно-пространственные требования, которые



удовлетворяются архитектурной средой через утилитарные и архитектурно-художественные качества [5, с. 77].

Система городских пешеходных пространств – это социально-пространственная среда для организации, которой «важен достоверный прогноз освоения и эксплуатации человеком этих пространств» [3, с. 19]. В дальнейшем это позволит создать комфортные и безопасные городские общественные пространства «с точки зрения удовлетворения двигательной активности, пребывания (отдых, ожидание, общение), доступности и удобства общественных мест, эмоционального состояния человека» [3, с. 23].

### Литература

1. Березин М.П. Пространство – восприятие – поведение. Вопросы архитектуры в работах зарубежных теоретиков // Строительство и архитектура Ленинграда, 1975, №7. – Ленинград: Лениздат. – С. 39-42.
2. Иовлев В.И. Архитектура и бессознательное // Известия вузов, 2002, №7. – Екатеринбург: Архитектон. – С. 67-69.
3. Крашенинников А.В. Жилые кварталы: Учеб. пособие для архит. и строит. спец. вузов / Под общ. ред. Н.Н. Миловидова, Б.Я. Орловского, А.Н.Белкина. – М.: Высшая школа, 1988. – 87 с.
4. Немов Р.С. Психология: Учеб. для студентов высш. пед. учеб. заведений: В 3 кн. Кн. I. Общие основы психологии. – 3-е изд. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1997. – 688 с.
5. Титов А.Л. Организация архитектурной среды и поведение человека. – Екатеринбург, 2004.



УДК 711.558

**Д.В. Литвинов** – аспирант

**Самарский государственный архитектурно-строительный университет (СамГАСУ)**

## РЕКРЕАЦИОННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН КРУПНЫХ ГОРОДОВ

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается комплексный анализ градостроительного планирования рекреационных зон и объектов, расположенных на прибрежной территории крупных городов.

**D.V. Litvinov** – post-graduate student

**Samara State University of Architecture and Engineering (SSUAE)**

## RECREATIONAL USAGE OF COASTAL ZONES OF LARGE CITIES

### ABSTRACT

The complex analysis of town-planning projection of recreational zones and objects located at coastal territory of large cities is considered.

Развитие рекреационных функций в прибрежной зоне современного города не должно преследовать цели создания искусственных природных систем, а должно подчиняться задаче сохранения существующего природного потенциала береговых территорий на основе закрепления экологического каркаса [1]. Стабилизация в функционально-планировочном зонировании прибрежных территорий и предотвращение их дальнейшего разрушения в результате непоследовательного с точки зрения экологии использования, способны внести изменения в реально сложившуюся хаотичную структуру прибрежной застройки. Формирование в городской прибрежной полосе общественных рекреационных центров тяготения, приводящих к концентрации потоков, при соответствующем уровне благоустройства позволит избежать неблагоприятных экологических последствий, характерных для стихийного использования прибрежных пространств.

В качестве зарубежного аналога рекреационного использования прибрежных зон можно рассмотреть **Копакабана в Рио де Жанейро** (Бразилия). Знаменитая и красивая набережная Копакабана бразильской столицы, протяженностью 2-3км, играет роль буферной зоны. По одну сторону дороги вдоль неё расположены современные отели, банки, рестораны и офисы, а по другую – широчайший пляж с чистейшим песком, площадками для волейбола и даже футбола, где постоянно проходят соревнования. Вдоль набережной вблизи дороги (чтобы было видно и проезжающим) расположено много различных скульптур и скульптурных групп, сделанных из песка. Набережная Копакабана расположена параллельно улице Avenida Atlantica, на которой выстроились в ряд

красивые, не похожие друг на друга, но связанные одним архитектурным замыслом жилые дома и отели с магазинами, ресторанами, барами, кафе, некоторые из которых работают даже круглосуточно. Людской поток на Копакабане не иссякает даже в обычные будничные дни, а в новогоднюю ночь сюда стекаются более двух миллионов человек. Каждое воскресенье на пляже Копакабана собираются тысячи местных жителей, и движение по Авениде Атлантика перекрывается. На набережной начинаются театрализованные представления. Копакабана также очень популярный пляж для отдыха, принятия солнечных ванн и спорта.

Значительные сезонные и повседневные людские потоки отдыхающих нуждаются в рекреационных пространствах комплексного профиля. Отдых становится массовым явлением, а его организация серьезной социальной проблемой. Именно эти территории, где сосредоточены основные массы горожан, следует определять как центральные (Иконников, 1990). Решение набережной Копакабана полностью соответствует повседневному и сезонному виду отдыха.

К наиболее динамичному решению рекреационного освоения прибрежных зон можно отнести **проект архитектора Alvaro Siza (Leca de Palmeira, Matushinos, Portugal)**, созданный в 1961-1966 годах. Он представляет собой городской бассейн на побережье Атлантического океана, расположенный в скалистом берегу. Проект состоит из двух бассейнов: прямоугольного, расположенного на береговой линии – предназначенного для взрослых, и полукруглого, меньшего размера, расположенного в глубине пляжа – предназначенного для детей. Бассейны соединяют



наклонные и горизонтальные дорожки с площадками для загара и кафе, расположенные на широкой террасе. Архитектор Alvaro Siza в этом проекте затронул важные темы взаимодействия между сушей и морем, между природными объектами и возведенными человеком, между проезжей частью и пляжем. В проекте отдается дань местному масштабу скалистого прибрежного ландшафта, за счет представленных на контрасте гораздо меньших размеров человеческой деятельности. Пространственное расположение объекта созвучно узкому, длинному плану города и дороге вдоль восьмикилометрового побережья, которая согласно проекту поднята на 6,1 м над уровнем моря. Архитектор перенёс своё доскональное знание города и его прибрежной зоны в пространственные, материальные разработки этой территории. Функциональное решение позволяет легко и удобно спускаться с дороги к океану, при спуске открываются новые панорамные виды. Вмешательство архитектуры в данном случае преобразует и дополняет прибрежный ландшафт. В этой заново отстроенной среде архитектура делает акцент на объединение геологии природного и искусственно созданного ландшафта, за счет использования перепадов высот основных архитектурных объемов, создавая постепенное повышение бассейнов в сторону берега. Проект расположен так, что крыши бетонного здания, которые включают в себя комнаты для переодевания, отдыхающих, туалеты и бар, поднимаются на один уровень с дорогой. Финальную картину этого удивительного места при высоком приливе создает волнорез, который разбивает волны в водную пыль, попадающую в бассейн для взрослых.

Еще одним примером рекреационного освоения прибрежной территории является **Парк Аудиторий Foreign Office Architects**, Купальная зона Бет Гали [Beth Gali], Барселона 2004. Алехандро Заэра Поло [Alejandro Zaera Polo] из бюро Foreign Office Architects предложил решение Парка Аудиторий, граничащего с купальной зоной, на мотиве прибрежных дюн. Западные склоны дюн покрыты зеленью, а остальная поверхность парка замощена фигурными плитами серого и розового оттенка. Обращенная к морю, облицованная сторона дюн завершается гребнями, защищающими травяные склоны от ветра. В складках склона большой дюны плиты мощения превращаются в ряды сидений, образуя две открытые аудитории, сценами которых служат расширенные участки идущих между дюнами дорожек. Большая аудитория рассчитана на 8500 тыс. чел. Купальная зона парка решена как отчетливо урбанизированное пространство, это, скорее, вымощенная камнем набережная со спускающимися к морю ступенями. Выделенная в отдельный блок детская площадка с ажурной перголой в духе Хуана Миро засыпана песком, но имеет бетонное окаймление. Для взрослых купальщиков предназначены деревянный помост с расставленными вдоль него кабинами для переодевания и выдвинутые

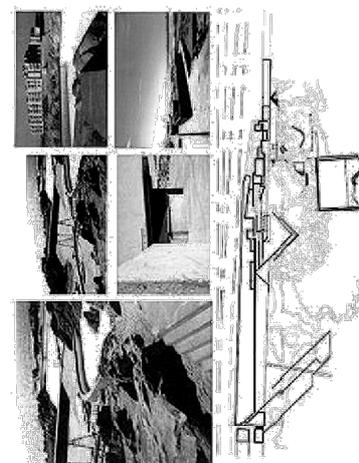
в море площадки, на которых в купальный сезон выставляются лежаки для принятия солнечных ванн. Со стороны моря купальную зону защищает насыпной островок и цепь искусственных рифов, которые, как предполагается, со временем будут колонизированы и морской живностью [2].

Итак, на основе изученного опыта можно сделать вывод о том, что по планировочным решениям развитие рекреационных функций в прибрежных зонах города позволяет выделить две планировочные системы:

- линейную, когда рекреационная зона размещается узкой длинной полосой параллельно пляжу, транспортная магистраль проходит при этом близко к побережью (как в набережной Копакабана);
- узловую, когда рекреационное проектирование сосредоточено в компактных «узлах», транспортная магистраль проходит почти так же, как в линейной системе, а по периметру берега имеют большие участки природного ландшафта (как в Бассейне Alvaro Siza, Парке Аудиторий) (рис.).

Такие планировочные приёмы создания рекреационных объектов в прибрежных зонах обусловлены в первую очередь природно-климатическими условиями, характером гидрографической сети, а также факторами антропогенного воздействия на водные ресурсы. Так, например, качество пляжной зоны определяют площадью и протяженностью береговой полосы, составом грунтов, продолжительностью комфортного периода. Акваторию для купания характеризует ширина зоны мелководья, донные грунты, скорость течения, температурные и санитарно-гигиенические условия. Качество среды, её выразительность и разнообразие, становится одним из наиболее существенных критериев при оценке береговых территорий и рекреационных зон для многофункционального использования.

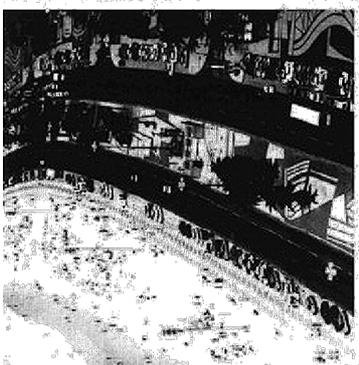
Совершенствование береговых территорий и рекреационных центров имеет особое значение, в ходе развития большинства крупных городов они обладают максимальной динамикой функций и развиваются быстрее остальных. Не случайно, в числе крупных масштабных градостроительных и архитектурных программ организация береговых территорий является одной из важнейших задач в поэтапном приспособлении их для целей рекреации и отдыха. Учитывая острую потребность в организации досуга жителей районов, примыкающих к береговым пространствам, происходит превращение отдельных участков неорганизованных береговых пространств в центры культуры, рекреации и отдыха. Несомненно, не только для пассивного времяпрепровождения, но и для проведения разнообразных выставок, музыкальных и кинофестивалей, концертов, спектаклей под открытым небом и т.д. Нужно отметить, что рекреационное использование прибрежных



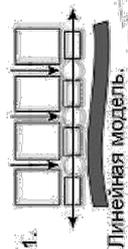
Бассейн на побережье, архитектор Alvaro Siza (Leca de Palmeira, Matosinhos, Portugal)



Набережная Копакабана, Рио де Жанейро, Бразилия



Набережная Нью-Йорка, США.

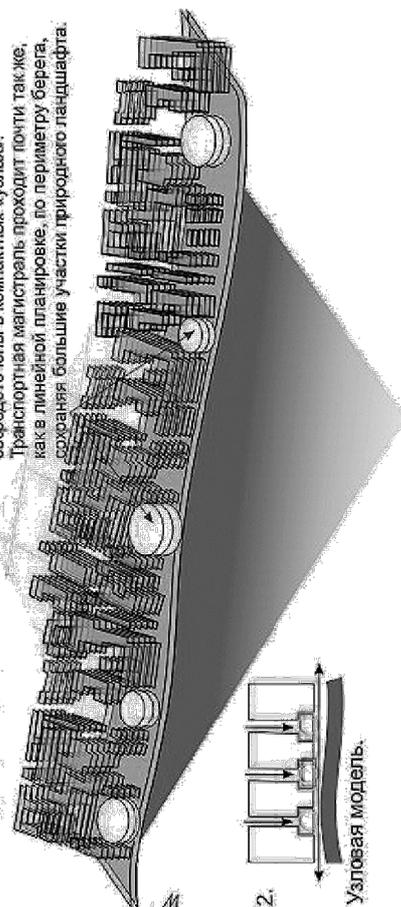


1. Линейная модель.

Планировочные модели развития общественных функций в прибрежных зонах

Жан Нувель. Культурный центр и Центр конгрессов, Люцерн, Швейцария.

Узловая модель, когда рекреационные центры сосредоточены в компактных «узлах». Транспортная магистраль проходит почти также, как в линейной планировке, по периметру берега, сохраняя большие участки природного ландшафта.



2. Узловая модель.

Линейная модель, когда рекреационная зона проходит узкой длинной полосой параллельно территории пляжа. Транспортная магистраль максимально приближена к побережью.

Рис. Анализ рекреационных центров в структуре прибрежных зон



территорий очень важно для городской среды, так как они играют особую роль контактных зон природного и антропогенного ландшафта.

### **Литература**

1. Нефедов В.А. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. – СПб., 2002. – 29 с.
2. Проект international. – М.: А Фонд, № 4-7.
3. Читова В.П. Рекреационные нагрузки в зонах отдыха. – М.: Лесная промышленность, 1977.
4. Вергунов А.П. Архитектурно-ландшафтная организация крупного города. – Ленинград: Стройиздат, 1982.



УДК 72.03 (470.40)

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

## АРХИТЕКТУРА ГОРОДОВ ЗОЛОТОЙ ОРДЫ

### АННОТАЦИЯ

В статье дан общий обзор золотоордынской архитектуры. Рассмотрены основные типы жилой, общественной, культовой и мемориальной архитектуры 2-й половины XIII-XIV вв. и их декоративное оформление.

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

## ARCHITECTURE OF GOLDEN HORD CITIES

### ABSTRACT

General review of the Golden Hord architecture is given. The main types of dwelling, social, cult and memorial architecture of the Golden Hord of the second part of XIII-XIV centuries and their decoration are considered.

Монгольское нашествие 1236-40-х гг. в Восточную Европу имело катастрофические последствия для государств и народов. Результатом его явилось социально-экономическое и политическое переустройство прежней Восточно-Европейской системы расселения. В течение 2-й половины XIII в. большая часть Восточной Европы вошла в состав западного крыла Монгольской империи, позднее оформившегося в самостоятельное государство Улус Джучи и получившего с XVII в. в русских источниках название Золотая Орда.

Кочевой уклад жизни правящей верхушки и основного монгольского населения Улуса Джучи сочетался с культурно-бытовыми традициями оседлых народов захваченных государств, обладавших развитым градостроительством и архитектурой. Несмотря на кочевой характер жизни монголов, в Монгольской империи были города и столица – г.Каракорум. Поэтому в Улусе Джучи появились города не только на ранее оседлых территориях, но и в степных районах на Нижней Волге. Города и поселения, заложенные монголами в новом государстве еще во 2-й пол. XIII в., стали бурно развиваться в XIV в. В Булгарском улусе значение центрального получил г.Булгар. В каждом крупном улусе Золотой Орды, помимо массы оседлых поселений, развивался в качестве центра крупный город. В Крымском улусе это г. Солхат (Старый Крым), в Приднестровье Ак-Керман, на Южном Урале – г. Сарайчик, в Подонье – Азак, в Мордовии – Мохша, в Предкавказье – Джулат, на Нижней Волге – центральных районах Золотой Орды – Сарай-Бату и Сарай ал-Джадит (Новый Сарай) и др. Высокого уровня развития достигла архитектура

золотоордынских городов: культовая, мемориальная, жилая, общественная и т.д.

Изучение архитектуры городов Золотой Орды сопряжено с определенными трудностями: малое количество сохранившихся построек, преобладание планировочных данных над объемно-композиционными решениями, огромная территория распространения памятников Золотой Орды и связанные с этим региональные особенности. Для восстановления основных типов золотоордынской архитектуры привлечены материалы археологических раскопок, данные исследований других авторов, изучавших застройку городов и культуру различных регионов Золотой Орды.

При изучении городищ, являющихся остатками крупных городов Золотой Орды, исследователи всегда отмечали наличие мечетей, бань-хаммам, мавзолеев. Часто они формировали общегородскую площадь. Такие площади выявлены во всех крупных городах. В г. Сарае-Бату (Селитренное городище) функционировали соборная мечеть и общественная баня-хаммам, которые выходили фасадами на площадь. На этой площади выявлены также остатки юрты, двухкамерного туалета-батраба, построенного из сырцового и обожженного кирпича [1. с.59]. Ссылаясь на архивные документы XVIII в., Ф.В. Баллод указывал на расположение Ханского дворца и многоколонной Соборной мечети в районе Больничного бугра Селитренного городища [2. с. 38-39].

В крупном городе могло быть несколько соборных мечетей. Помимо них, в золотоордынских городах были приходские мечети в различных районах города, а также поминальные мечети на крупных некрополях. На



вершине Красного бугра Селитренного городища были вскрыты мечеть и минарет. Башня минарета представляла цилиндрический объем диаметром 2,8-3 м с прямоугольным в плане цоколем. Восточнее минарета обнаружен круглый фундамент колонны диаметром 80 см. По утверждению Э.Д.Зиливинской, это остатки соборной мечети, которая имела богатый архитектурный декор в виде мозаичных панно, кашинных изразцовых вставок разных форм и цветов, поливных кирпичиков и фигурных кирпичей [3. с.65-66].

В г. Бельджамене (Водянское городище) во второй половине XIV в. была построена мечеть [4, с. 133]. Мечеть представляла собой прямоугольник 26x35 м. Стены здания сложены из рваного камня на глиняном растворе. На южной стене шириной 1,2-1,3 м был михраб. В интерьере михрабная ниша была в виде полукруга. Внутри мечети было 5 рядов колонн, образующих 6 нефов шириной 4 м между осями баз и столько же до стен мечети. Вход в мечеть на северной стороне располагался несколько сдвинуто к востоку по отношению к центральной оси здания. Он был оформлен двумя пилонами, сложенными из каменных плит. В северо-восточном углу мечети обнаружен цоколь минарета 5x4,2 м из больших тесаных камней. Цилиндрический, утончающийся кверху ствол минарета был сложен из обожженных лекальных кирпичей. На поверхности его было несколько или один пояс, выложенный из голубых поливных кирпичей, перемежающихся квадратными ганчевыми штампованными вставками со словами или буквами арабского шрифта [4. с.126].

В г. Булгаре к сер. XIV в. соборная мечеть была дважды реконструирована и представляла собой большое сооружение 40x40 м, укрепленное по углам мощными многогранными крепостными башнями, с многоколонным залом, порталным входом и пристроенным к северному фасаду столпообразным минаретом высотой 26-30 м на кубовидном основании. На середине высоты по периметру ствола минарета шла надпись на арабском языке [5. с.55-66].

В г. Солхате (Старый Крым) в 1-й пол. XIV в. была построена мечеть с колоннами, порталным входом с северной стороны, с угловым минаретом, надстроенным позднее. Известны в Крыму небольшие кубовидные мечети с купольным завершением и угловым минаретом [7]. Обзор и краткая характеристика мечетей крупных городов Золотой Орды свидетельствуют, что по всей территории Золотой Орды в XIV в. были распространены колонные или купольные мечети с приставными цилиндрическими, постепенно утончающимися кверху минаретами на кубовидном основании, порталными входами с северной стороны [16]. В нижневолжских городах для их оформления использовались майоликовые и изразцовые плитки. В Булгарской соборной мечети основным декоративным приемом оформления фасадов служила резьба по камню. В мечетях Крыма

основным элементом декора служил сталактитовый портал. Вопрос о покрытии колонных мечетей остается открытым. С.С. Айдаров предложил свою гипотезу покрытия Булгарской соборной мечети скатной крышей. Археологические находки фрагментов выявляют аналогию в формах минаретов г. Булгара и других золотоордынских городов.

С распространением ислама в Золотой Орде сложилась традиция установления на могилах надгробий и мавзолеев. Специфическое и распространенное в мусульманском мире название мавзолеев «Дюрбе» или «Тюрба» было принято и в Золотой Орде. В Крыму в золотоордынский период в мавзолеех-дюрбе имелись подземные склепы. Покойников не зарывали в землю, а клали на пол склепа. Вход в склеп, располагавшийся с южной или восточной стороны, заделывался или закладывался плитой. В верхнем помещении на полу устанавливали надгробие [8, с.114]. В Крыму были распространены мавзолеи двух типов: квадратные и восьмигранные в плане. Дюрбе возводились из известнякового камня. Кирпич применяли в конструктивно необходимых местах и в перекрытиях. Снаружи дюрбе облицовывались каменными плитами, а внутри – штукатурились. Квадратные в плане дюрбе, в объеме представляли собой четверик, переходящий в восьмерик путем среза внешних углов. Восьмерик перекрывался полусферическим куполом. Как правило, все дюрбе с южной стороны имели вход, акцентированный порталом с арочным завершением. Пилоны порталов на внутренней стороне при входе в дюрбе имели ниши, а на внутренних углах колонны, поддерживающие декоративный ячеистый полукупол. Такими же полукуполками завершались ниши пилонов. Восьмигранный в плане мавзолей в интерьере мог иметь на внутренних стенах стрельчатые арки, несущие стрельчатый купол. Внешние углы восьмерика могли акцентироваться трех-четвертными колонками. Такие мавзолеи освещались двумя рядами арочных и прямоугольных окон. На восьмерике располагался 16-гранный барабан, перекрытый полусферическим куполом. Купол имел наружное восьмигранное пирамидальное покрытие. Это центрический тип дюрбе без входного портала [8, с. 118-119].

В 1330-е годы в г. Булгаре (Болгарское городище) были возведены мавзолеи, получившие названия Северного и Восточного. Оба мавзолея относятся к типу восточных шатровых усыпальниц с выносным порталом и прямоугольным внутренним помещением, переходящим через тропы в восьмигранный ярус, перекрытый внутренним полусферическим куполом и наружным шатром [6, с. 26]. Руины большого богато украшенного мавзолея со склепами сохранялись в Селитренном городище еще в конце XVIII в. [10. с. 143-145]. Там же раскопаны остатки нескольких одинарных мавзолеев, а также пристроенных друг к другу и вытянутых в один ряд мавзолеев [9. с. 106]. Они



относятся к типу двухкамерных и блокированных мавзолеев. Аналогичные мавзолеи сохранились в Болгарском городище под названием Ханские усыпальницы. Комплекс состоит из центральной Ханской усыпальницы, построенной в середине XIV в. Через угловые скосы решен переход от четверика к восьмиграннику и шестнадцатиграннику, а от него – к куполу. Первоначально вход располагался с севера. Позднее его заложили и пробили с юга. Наружные стены были облицованы хорошо отесанными блоками известнякового камня. В интерьере стены и купол были оштукатурены. Изразцы с растительным и геометрическим орнаментом, арабскими надписями, с преобладанием голубого и темно-синего цветов окаймляли оконные проемы. Гипсовые плитки с рельефным орнаментом также украшали внутренние стены. Дверной проем на северном фасаде был обрамлен резным известняковым камнем [11, с. 202]. С западной стороны у южного угла Ханской усыпальницы был пристроен небольшой мавзолей. Позднее к восточной стене Ханской усыпальницы был пристроен еще один мавзолей. Размеры аналогичны Ханской усыпальнице. Цоколь облицован хорошо отесанными блоками известнякового камня, но стены и купол были сложены из кирпича. Снаружи и внутри здание было оштукатурено. Вход на северном фасаде фланкирован двумя пилонами высокого арочного портала (11, с.203). На территории г.Булгара было много одинарных мавзолеев, аналогичных рассмотренным выше Северному и Восточному мавзолеям. В отличие от крымских мавзолеев, они не освещались окнами.

Остатки в виде фундаментов и нижней части стен нескольких мавзолеев вскрыты археологами на старинном кладбище бывшего золотоордынского города Мохша вблизи с.Наровчата Пензенской области. Выявлен двухкамерный мавзолей «с сенцами или навесом с южной стороны» и большим количеством «известковых вставок с синей и голубой поливой, употреблявшихся для стеной инкрустации» [12, с. 225]. По планировке и архитектурным особенностям мавзолеи Мохши, как и все золотоордынские мавзолеи, можно разделить на несколько типов: блокированные, двухкамерные и однокамерные. Входы в мавзолеи были фланкированы пилонами порталов. В интерьере на стенах были устроены арочные ниши и отсутствовали склепы в виде подвальных сводчатых помещений. Это роднит их с мавзолеями г. Булгара. В одном из многокамерных блокированных мавзолеев под одним из помещений устроен подвальный склеп.

В г. Укеке (Увекское городище) в процессе раскопок было выявлено много мавзолеев, как одинарных, так и сдвоенных со стенами, покрытыми майоликовыми плитками зеленовато-голубого цвета. В мавзолеях наблюдались склепы обычного золотоордынского типа с кирпичными сводами. Встречались и просто кирпичные надгробия над могилами [13, с. 23-26].

В г. Бельджамене (Водянское городище) были выявлены мавзолеи, во многом аналогичные усыпальницам г. Булгара [14].

Архитектуру золотоордынских мавзолеев можно восстановить по усыпальницам г. Булгара и г. Солхата XIV в. Несмотря на общие черты в объемно-планировочных решениях, дюрбе различных регионов Золотой Орды, мавзолеи г. Булгара имели свои особенности, обусловленные, вероятно, домонгольскими традициями. В сохранившихся болгарских мавзолеях склепы отсутствуют. В золотоордынских мавзолеях других регионов были кирпичные склепы со сводчатыми перекрытиями. Различались мавзолеи и по покрытию. В г. Булгаре, городах Крыма и Предкавказья мавзолеи покрывались двойным покрытием: внутренним полусферическим куполом, перекрытым снаружи восьмигранной пирамидой (реже 16-гранной). Иногда мавзолей имел одинарный или двойной полусферический или стрельчатый купол.

На всех золотоордынских городищах выявлены остатки монументальных зданий бань-хаммам [15]. Общей особенностью для них была крестообразная планировка, при которой в центре располагался зал с выступами по сторонам света, а по углам – моченые отделения, перекрытые цилиндрическими сводами или небольшими полукуполами. Большой полукупол перекрывал центральный зал бани. В зените куполов делали отверстия для освещения и вентиляции. Купола и арки выполнялись в кирпиче, а стены – в камне. Бани в зависимости от расположения в структуре города и социального статуса населения, для которого они предназначались, различались по оформлению, количеству вспомогательных помещений, величине и т.д. Несмотря на санитарно-гигиенический характер назначения бань, они по восточной традиции являлись своеобразными клубами общения. Поэтому наряду с мечетями, минаретами, мавзолеями являлись важным типом общественных зданий золотоордынских городов. Располагались они, как правило, на площадях с мощением, где устраивали фонтан. В нижневолжских городах Золотой Орды на площадях рядом с соборной мечетью и баней устраивали крупные водоемы-хаусы. Бани были одним из наиболее распространенных типов общественных зданий в городах Золотой Орды. Стены фасадов облицовывались камнем или штукатурились. Часто для сохранения тепла здание бани-хаммам углублялось в землю. В южных районах Золотой Орды купольные и сводчато-цилиндрические покрытия оставались снаружи открытыми. В Волго-Камье для предотвращения снежных заносов, по реконструкциям С.С. Айдарова, они дополнительно покрывались скатными деревянными крышами. При лаконичном наружном оформлении в интерьере бани имели достаточно богатое оформление. Стены штукатурились и окрашивались в различные цвета. Часто в раздевалках стены покрывались майоликовыми плитками, а полы -



кирпичами с поливой. Отапливались бани горячим воздухом по подпольным каналам. Вода в мыльные отделения подавалась по керамическим трубам и по лоткам отводилась за пределы здания.

Особенность жилой застройки нижеволжских городов, по археологическим данным, состояла в том, что богатые аристократические усадьбы окружались сырцово-кирпичными или глинобитными стенами, имели большой центральный дом, дома для усадебных ремесленников, слуг, водоем, подсобные помещения. Усадьбы в золотоордынских городах соответствовали социальному статусу владельцев. Усадьбы рядовых свободных горожан (ремесленников, мелких торговцев и т.д.) имели размеры 30-40х35-45 м. В центре их располагался однокомнатный на сырцово-кирпичном цоколе дом, стены которого представляли деревянный каркас, заполненный кладкой в елочку из сырцового кирпича или горизонтальными и вертикальными досками. В интерьере стены покрывались штукатуркой. Вдоль боковых и противоположной входу стен располагалась П или Г-образная суфа (лежанка в виде широкой ступени, образованной подпорной стенкой и покрытием из сырцового кирпича, пространство под которой заполнено глиной и битым кирпичом), в один или два конца которой были вделаны цилиндрическая или прямоугольная печь. В толще суфы от печи шли горизонтальные дымоходные каналы – каны, соединенные в углу или середине стены дома с вертикальным дымоходом из кирпичей. Помимо основного дома, на усадьбе были небольшие каркасные деревянные дома без фундаментов, иногда заглубленные в землю, или землянки, отапливавшиеся жаровнями.

Крупные богатые усадьбы с габаритами 70х75, 75х100, 100-145х100-150 м имели в центре многокомнатный дом на мощном цоколе с толстыми сырцово-кирпичными стенами размерами 16,8х24, 24х24, 35х50 м. В середине такого дома был протяженный зал, по сторонам которого располагались отапливаемые печами с канами в суфах жилые комнаты и неотапливаемые хозяйственные помещения. В залах размещался кирпичный подиум с балдахином на колоннах для хозяина дома, бассейн, облицованный, как и пол зала, глазурованным кирпичом. Такие обширные усадьбы огораживались глинобитными или сырцово-кирпичными стенами, имели 1-2 проезда и расположены по периметру усадьбы блокированные дома для зависимых людей и дворовой челяди. Чем больше была усадьба, тем более богат центральный дом, тем сложнее и обширнее дома усадебной администрации и усадебного люда. Близкие по типу дома в малых усадьбах были центральными, а в богатых усадьбах они предназначались для усадебной челяди [17, с. 64].

В поволжских золотоордынских городах, помимо многокомнатных жилых домов монгольской знати и администрации, широко были распространены

землянки с земляными лежанками – суфами площадью 11-32 кв. м. без печей (с жаровнями), землянки с отопительной системой типа канов в виде горизонтальных дымоходов в толще суфы, соединенными с одного конца с цилиндрической печью, а с другого – с вертикальным дымоходом в углу землянки. Печи канов и дымоходы обкладывались обожженными кирпичами, реже вырубались в суфах без обкладок. Площадь таких землянок с печами составляла 9-15 кв. м [2, с.45-46]. Большинство домов в золотоордынских городах имели деревянные стены, облицованные глиной, и глинобитный пол. Широко были распространены дома однокомнатные, частично заглубленные по высоте в землю на 40-55 см, а также наземные дома без фундаментов размерами 5-7х5-7 м. После устройства суф площадь пола могла составлять 2-3 кв. м. Стены могли быть из горизонтальных бревен или брусев. Группу однокомнатных домов дополняли дома с деревянными стенами на цоколе. Стены в таких домах были каркасные в виде деревянных рам, разделенных вертикальными стойками на отсеки, заполненные косо положенными кирпичами. Иногда рамы обшивались досками. Полы выкладывались кирпичами или делались деревянными на лагах. Однокомнатные дома возводили и из сырцового кирпича в 2-4 ряда. Такие дома были главными в усадьбах аристократического (юго-восточного) района на Царевском городище [17, с.51]. В домах всех типов имелись сливные устройства-умывальники – тошнау. Они имели вид отверстия в полу, куда вставлялся перевернутый горлом вниз кувшин без дна. Вода из него уходила в водопоглощающий колодец под полом.

Открытая раскопками на вершине Красного холма Селитренного городища богатая усадьба с большим многокомнатным домом в центре была типичной аристократической усадьбой золотоордынских городов. Всего в доме было 16 комнат, стены которых были сделаны из сырца, обожженного кирпича и дерева. Помещения дома были возведены не одновременно, а постепенно пристраивались друг к другу [18, с. 67].

Археологическими раскопками исследованы усадьбы в восточном пригороде Нового Сарая. Усадьбы с небольшим разрывом строились по заранее разработанному плану. Дома в них ставились вдоль улицы с входами со двора и предназначались для слуг, ремесленников и зависимых людей. Хозяйские дома в этих усадьбах ставились в ряду с этими домами, но имели большие размеры. Усадьбы огораживались глинобитными стенами-дувалами и включали водоемы, керамические горны и ямы различного назначения [19, с. 94, 99, 101]. Стены домов, выходившие непосредственно на улицу, представляли собой глухую ограду усадьбы. В южной части Нового Сарая во дворах некоторых богатых усадеб с многокомнатным домом были большие землянки без отопления, а также юрты [20, с. 114-138].



В Волго-Камье, помимо появившихся в период Золотой Орды усадеб и домов монгольского образца, сохранялись усадьбы и дома традиционного типа: деревянные, срубной или каркасной конструкции, полуземляночные и наземные, одно-, двух- или трехчастные в плане. На усадьбе, огороженной частоколом или деревянным забором, помимо дома, располагались навесы, небольшие дощатые постройки и ямы хозяйственного назначения. Дома отапливались печами прямоугольной, реже цилиндрической формы без канов.

Распространение ислама в золотоордынском Поволжье с начала XIV в. повлияло на развитие золотоордынской архитектуры и декора. Сложение золотоордынского орнаментального стиля в первую очередь происходило под сильным влиянием мастеров Средней Азии, Закавказья и Ирана.

Мозаики и майолики, применявшиеся в оформлении фасадов и интерьеров зданий, надгробий в городах Золотой Орды, относятся к кашинной архитектурной керамике. Основным материалом для их изготовления служил кашин – светлое тесто силикатного происхождения, главными компонентами которого были песок, коалин и полевой шпат (клей). При производстве кашинной керамики использовались прозрачные глазури. В Средней Азии кашинная архитектурная керамика известна с XII века. В городах Золотой Орды было налажено собственное производство кашинной поливной архитектурной керамики на местном сырье. Состав кашинов из Селитренного, Маджарского, Мечетного, Царевского и Увекского городищ практически однотипен. От общей массы отличаются образцы из Водянского и Булгарских городищ [22].

В декоре Золотой Орды применялись в основном глазури без окиси свинца, что придавало им большую устойчивость к атмосферным осадкам. Цветовая палитра включала белый, черный, голубой, синий, зеленый, желтый, красный и коричневый цвета. Различают две группы керамических изделий: мозаики и майолики.

Мозаики применяли для украшения поверхностей, удаленных на большое расстояние от наблюдателя, в результате чего четкая окраска каждого элемента рисунка значительно выигрывала по сравнению с расписными майоликами. Мозаики в основном использовались для облицовки порталов, арок, боковых стен пилонов, внутренних сводов куполов, больших плоскостей стен. Мозаики изготавливались из элементов, выпиленных из одноцветных майоликовых плит. Выпиленные и тщательно подогнанные друг к другу элементы собирались на гладких досках лицевой стороной вниз. Заливка обратной стороны набора осуществлялась жидким раствором гипса. Полученную плиту прикрепляли на место.

Майолики использовали для тех частей зданий, которые были расположены близко к наблюдателю.

Расписные майолики применялись для оформления карнизов, бордюров, боковых колонок, для украшения михрабных ниш и надгробий. Применялись майолики двух типов: с рельефным орнаментом и плоские без рельефа.

Для золотоордынских мозаик характерно применение ультрамаринового, бирюзового, белого, желтого и красного цветов. В архитектурном орнаменте растительного характера преобладает красный цвет, широко распространен ультрамариновый фон с белыми буквами, очень характерно для золотоордынской мозаики надглазурное золочение, роспись красной, черной, белой красками на бирюзовом фоне не находит аналогий в архитектуре других регионов. Изразцовое производство приходит в упадок в городах Золотой Орды в XV веке.

Одним из элементов декоративного оформления зданий в городах Золотой Орды было оконное стекло. Оно представляло собой круглые диски диаметром 10-12, 16-18 см, толщиной до 1 мм – очень тонкое стекло, почти бесцветное с голубоватым, зеленоватым, реже желтоватым оттенком. Обе стороны гладкие, блестящие. Стекло содержит мелкие пузырьки воздуха. Они были изготовлены техникой дутья, хорошо известной к XIII в. как русским, так и среднеазиатским мастерам-стеклодувам [21, с. 54]. Стекло с Булгарского городища аналогично стеклу с Селитренного и Царевского городищ в равной мере. Часть булгарских стекол была диаметром 14-20 см из бесцветного прозрачного стекла очень хорошей сохранности [21, с. 55]. Наряду с бесцветным оконным стеклом в золотоордынских памятниках встречается цветное стекло. Оно представляет собой небольшие куски плоского стекла геометрических форм темно-желтого, темно-фиолетового, темно-малинового и густо-зеленого цветов. Стекло хорошего качества с небольшим количеством пузырьков. Находки оконного стекла в золотоордынских городах связаны с богатыми жилыми деревянными и сырцовыми строениями. Наземные дома основной части городов освещались через открытую дверь и специальные отверстия в крыше, а зимой – светильниками.

Общий обзор архитектуры городов Золотой Орды показал общеимперскую типологию зданий и сооружений восточно-мусульманской направленности. Для кирпично-каменных построек г. Булгара и г. Солхата была характерна качественная каменная облицовка, минимальное использование полихромной мозаичной и майоликовой отделки снаружи зданий. В нижневолжских городах Золотой Орды в оформлении культовых, общественных и мемориальных зданий преобладало использование изразцовых и майоликовых плиток, терракотовых вставок. В зависимости от региональных домонгольских традиций в архитектуре жилых зданий и монументальных сооружений золотоордынских городов могли преобладать те или иные конструктивные и



декоративно-стилевые особенности. Для всех монументальных зданий общей чертой является выполнение конструктивно важных частей каменных зданий в кирпиче.

## Литература

1. Федоров-Давыдов Г.А. Золотоордынские города. – М.: Изд-во МГУ, 1994.
2. Баллод Ф.В. Старый и Новый Сарай, столицы Золотой Орды. – Казань, 1923.
3. Рудаков В.Г. Раскопки остатков минарета на Селитренном городище // Археология Нижнего Поволжья на рубеже тысячелетий. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Астрахань: Изд-во Астраханского пед. ун-та, 2001.
4. Егоров В.Л., Федоров-Давыдов Г.А. Исследование мечети на Водянском городище // Средневековые памятники Поволжья. – М.: Наука, 1976.
5. Айдаров С.С. Исследование и реставрация памятников монументального зодчества Болгара // Город Болгар. Монументальное строительство, архитектура, благоустройство. – М.: Наука, 2001.
6. Айдаров С.С., Аксенова Н.Д. Великие Булгары. – Казань, 1983.
7. Башкиров А.С. Художественные памятники Солхата // Крым, 1927, № 1 (3); Башкиров А.С. Сельджукизм в древнем татарском искусстве // Крым, 1926, № 2.
8. Засыпкин Б.Н. Памятники архитектуры крымских татар // Крым. Журнал общественно-научный и экскурсионный. – М.: Госиздат, 1927, № 2(4).
9. Рыков П.С. Музейные материалы по изучению феодального города // Советский музей, 1932, №4.
10. Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Российского государства. – СПб., 1788, ч. 3.
11. Аксенова Н.Д. Археологическое изучение мавзолеев юго-восточной и южной частей города Болгара // Город Болгар: Монументальное строительство, архитектура, благоустройство. – М.: Наука, 2001.
12. Алихова А.Е. Мавзолеи города Мохши-Наровчата // Советская археология, 1976, № 2.
13. Недашковский Л.Ф. Итоги и задачи изучения Укека и его окружи // Золотоордынскому городу Укеку семь с половиной столетий. Материалы научно-практической конференции, г. Саратов, 22 марта 2002 г. – Саратов, 2003.
14. Егоров В.Л. Мавзолеи Водянского городища // СА, 1980, №1.
15. Шарифуллин Р.Ф. Бани Болгара и их изучение // Город Болгар. Монументальное строительство, архитектура, благоустройство. – М.: Наука, 2001; Алихова А.Е. Постройки древнего города Мохши // Советская археология, 1976, № 4; Зиливинская Э.Д. Бани Нижнего Поволжья // Сокровища сарматских вождей и древние города Поволжья. – М., 1989.
16. Зиливинская Э.Д. Мечети Золотой Орды (общие принципы планировки) // Материалы и исследования по археологии Поволжья. Вып. I. – Йошкар-Ола, 1998.
17. Федоров-Давыдов Г.А. Золотоордынские города. – М.: Изд-во МГУ, 1994.
18. Зиливинская Э.Д. Раскопки богатого усадебного дома на Красном холме Селитренного городища // Поволжье в Средние века. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции, посвященной 70-летию со дня рождения Г.А. Федорова-Давыдова. – Н. Новгород: Изд-во НГПУ, 2001. – С. 67-69.
19. Федоров-Давыдов Г.А., Вайнер И.С., Гусева Т.В. Исследования трех усадеб в восточном пригороде Нового Сарая (Царевского городища) // Города Поволжья в средние века. – М.: Наука, 1974. – С. 89-131;
20. Рудаков В.Г. К вопросу о хронологии и топографии Селитренного городища эпохи Тохтамыша (1380-1396 гг.) // Поволжье в Средние века. Тезисы докладов Всероссийской научной конференции, посвященной 70-летию Германа Алексеевича Федорова-Давыдова. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского гос. пед. ун-та, 2001.
21. Бусятская Н.Н. Стекланные изделия городов Поволжья (XIII-XIV вв.) // Средневековые памятники Поволжья. – М.: Наука, 1976. – С. 38-72;
22. Носкова Л.М. Мозаики и майолики средневековых городов Поволжья // Средневековые памятники Поволжья. – М.: Наука, 1976.



УДК 726.7; 728.81

**И.В. Назарова** – аспирант, ассистент

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## **ОПЫТ РЕКОНСТРУКЦИИ АРХИТЕКТУРНО-ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ КРЕПОСТИ БЕЛЫЙ ЯР СЕРЕДИНЫ XVII ВЕКА**

### **АННОТАЦИЯ**

Статья представляет собой архитектурную реконструкцию Волго-Камской крепости Белый Яр российского периода, базируемую на писцовых источниках 1656 г. по строительству Закамской оборонительной черты. Автором выявлены объёмно-планировочные, композиционные и конструктивные принципы и приёмы формирования Белоярского крепостного комплекса. В работе использованы историко-архитектурные материалы по аналогичным оборонительным комплексам России XVI-XVII вв.

**I.V. Nazarova** – post-graduate student, assistant

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## **ARCHITECTURAL-SPATIAL STRUCTURE OF THE BELIOU YAR FORTRESS IN THE MIDDLE OF XVII CENTURY (FROM RECONSTRUCTION EXPERIENCE)**

### **ABSTRACT**

This article is devoted to the architectural reconstruction of Volga-Kama's fortress "Belou Yar" of the Russian period, based on 1656 year chronicles on Zakamian defensive line construction. The main principles and methods of Belou Yar fortress complex formation in voluminous-planning, composition and construction are analyzed. This research uses the historical-architectural materials on similar Russian defensive complexes in XVI-XVII.

В первые годы после присоединения к России (с 1552 г.) территория Волго-Камья представляла арену военно-политической борьбы. Поэтому в наиболее важных стратегических пунктах возводились русские города и монастыри, как военные укрепления и очаги распространения православия. Однако отдельные города-крепости с немногочисленными гарнизонами не обладали достаточной фортификационной функцией. Отсутствие в Среднем Поволжье линий пограничных укреплений (засечных черт) создавало для Московского государства угрозу нападения кочевых ордынцев. Ввиду этого, с конца XVI в. на территории Волго-Камья начинают появляться русские засечные линии, представляющие собой сложную систему укреплений, в которой деревянные крепости чередовались с лесными засеками, караульными башнями, частоколами, надолбами, земляными валами и рвами, а также с естественными природными препятствиями в виде рек и оврагов. Очередным этапом в укреплении юго-восточных областей колонизируемых земель было сооружение Закамской черты в 1652-1656 гг. (условно Старой Закамской) для защиты от кочующих калмыков, ногайцев, башкир и каракалпаков. В 60 верстах ниже города-крепости Симбирска, на левом берегу Волги, заложили крепость Белый Яр, которая и явилась началом Закамской линии [1].

Недолговечность дерева как строительного материала и исчерпание военной функции крепостей Закамской черты со второй половины XVIII в. послужили причиной полного исчезновения оборонительных укреплений и сооружений на территории крепостей. Ввиду чего графическое восстановление архитектурного облика Белоярской крепости является целью данной статьи. Ранее автором уже проводилась попытка реконструкции этой крепости на основе различных исторических сведений [2]. Настоящая работа представляет собой более достоверную архитектурную реконструкцию Белого Яра, т.к. базируется на данных писцовой книги 1656 г. по строительству Закамской черты. В частности, автором используются описания крепости Белый Яр Никиты Гладкова, содержащие мерные сведения в русских сажнях о крепостных стенах, башнях и земляных укреплениях последней (РГАДА. Ф. 1209. Д. 156. Л. 29-32), а также историко-архитектурные материалы по аналогичным оборонительным комплексам России XVI-XVII вв.

Первая крепость Закамской засечной линии – Белый Яр – располагалась на равнинной стороне Волги, в 88 сажнях (в нынешней системе мер в 180-190 м) от этой реки, выше места впадения в неё р. Большой Черемшан. Ныне эта местность находится в зоне затопления Куйбышевского водохранилища [3].



Безусловно, характер местности повлиял на расположение форт поста. Открытые места у слияния рек могли служить путями для набегов кочевых племён, поэтому требовали дополнительной обороны. По измерениям Никиты Гладкова, крепость представляла собою четырехугольник с почти равными сторонами – 142 сажени в длину и 140 сажень поперёк. Основанием для крепостных стен города высотой в 2 сажени служил тарасный вал высотой и шириной в одну сажень. По валу в разных местах спускались небольшие мосты. Вокруг города, на расстоянии 2 сажений от вала, размещался ров в 2 сажени глубиной. От угловой крепостной башни с южной стороны до Волги были поставлены деревянные надолбы в 2 ряда. Крепость имела восемь башен: четыре восьмиугольные по углам города и остальные четырёхугольные. Из числа последних три являлись проездными. В городе, около проездных ворот находились караульные избы. Над проездными воротами башен, находившихся с северной, западной и южной сторон, располагались иконы. В соответствии с изображениями на иконах ворота получали названия Спасских, Казанских и т.д. Проездная Спасская башня с южной стороны крепости и четыре угловых башни имели смотровые вышки. Далее в описании указываются размеры Спасской башни: «Башня четвероугольная, в вышину с земли до обломов 5 сажень, обломов сажень, с обломов до вышки 4 сажени, вышка 2 сажени...». Кроме того, Гладков упоминает о наличии построек на территории Белого Яра: «церковь, дворы причта... приказная судная изба, государев двор, где приказные люди, баня; у волжских проезжих ворот государев выходной погреб, изба тюремная, колодезь – сруб дубовый; стрелецких дворов в городе было пять». Наряду с указанными дворами на территории крепости, большинство дворов служилых людей располагалось с трёх сторон города, из которых образовалось два укрепленных надолбами поселения. Всякому переведенцу (служилому человеку) выдавались «земли под двор, под огород и под гумно по 40 сажень длиннику, по 10 поперечнику» (РГАДА. Ф. 1209. Оп. 1. Д. 156).

Более подробные сведения о Белоярских укреплениях и постройках отсутствуют. Итак, размеры Белого Яра, переведённые в нынешнюю систему мер, составляли 306,72 м в длину и 302,40 м в ширину. Модулем явилась наиболее применяемая в крепостном деревянном строительстве на Руси косая (казённая) сажень, равная 216 см. Исходя из этого, высота срубных крепостных стен определяется 4, 32 м. Вероятно, общая высота прясел вместе с двускатной крышей составляла 6 м. Основание стен в виде тарасного вала принято согласно великой косой сажени (249, 5 м) высотой и шириной в 2, 5 м [4, с. 10, 11]. Так называемые тарасные валы широко применялись в русском крепостном строительстве рассматриваемого периода. Археологические раскопки ряда оборонительных пунктов (Великого Новгорода, Москвы, Смоленска,

Тулы и др.) показали наличие продольных и поперечных брёвен внутри земляных валов [5]. Во многих случаях брёвна перевязывались между собою, образуя «городни», заполняемые и покрываемые земельно-глиняным составом. Между тем, обладая высотными данными Белоярских стен и учитывая устройство последних, как правило, «тарасами», можно предположить наличие одного верхнего боевого хода. Тарасы представляли собой две параллельно рубленые стены, соединённые с определённым шагом (от 1 до 4 сажений) поперечными стенами. Образующиеся клетки, зачастую через одну, заполнялись землёй и камнями. По верху стен из тарас располагался боевой ход, перекрывавшийся двускатной стропильной крышей. Срубы соединялись с кровлей через рубленые фронтоны, представляющие собой непосредственное продолжение торцевых стен с постепенным уменьшением длины брёвен по высоте кровли. В бревенчатые фронтоны – «самцы» врубались горизонтальные брёвна – «слеги», которые и несли кровлю. На слеги, в специальные пазы, укладывались своеобразные стропила в виде тонких елей – «курицы» [4, с. 14, 31, 32; 6, с. 102]. Во всех ярусах крепостных стен имелись прорезанные бойницы – стрельницы [6, с. 102]. Беря во внимание ширину вала, толщина тарас принята в 2 м. Соответственно ширина боевого хода, вероятно, равнялась 3м, т. к. в верхнем ярусе устраивался «облам» для ведения подошвенного боя (стена выносилась вперёд на бревенчатых консолях и в полу облама устраивались бойницы) [4, с. 31].

Переходя к графической реконструкции крепостных башен – «вежей» Белого Яра, воспользуемся указанными данными проездной Спасской башни. Её высота в нынешней системе мер устанавливается 23,76 м. Судя по всему, башня имела 5 ярусов, 4 из которых являлись боевыми. Так как башня являлась проездной, вероятно, в первом ярусе бойниц не было. Ширина башни, учитывая традиционные выступы «вежей» относительно крепостных стен (на 1-1,5 сажени) и толщину последних, гипотетически принята в 7,40 м [6, с. 112]. Каждый выступ (с южной и северной сторон) четырёхугольной Спасской башни относительно стен равен 1 сажени (2, 16 м) и большому локтю (0, 54 м), т.е. 2,70 м. Исходя из этого, надо полагать, что ширина валовых оснований в местах постановки башен была намного значительней ширины земляных оснований крепостных стен. На основании «Выписки в разряд о построении новых городов и черты» второй половины XVII в. все укрепления засечных черт Московского государства возводились по единым принципам построения [7]. Ввиду чего в качестве примера крепостных «вежей» взяты сохранившиеся башни Якутского и Юильского острогов в Сибири и острога Торговище в Пермской области второй половины XVII в., а также графические изображения Олонецкой крепости в Карелии неизвестного автора и башни г. Торжка



Тверской области Э. Пальмквиста указанного периода. Примечательно, что на рисунке Э. Пальмквиста показаны разрезы башни и стены города, дающие представление о конструктивных принципах построения деревянных крепостных сооружений Русского государства. В частности, выявляется многоярусность оборонительных построек венцовой (венчатой) структуры с поярусными перекрытиями из бревен и наличие стропильных конструкций в покрытиях крепостных стен и башен с многочисленными продольными и поперечными связями – брёвнами, крепящимися в пазах стропил. В результате, при графическом восстановлении башен определяющими явились данные конструктивные системы. Между тем, размерные сведения о других башнях Белого Яра до нас не дошли. В писцовых записях, описывающих рассматриваемую крепость, имеется общее указание о построении всех башен Закамской линии: «Все башни на черте построены по одному плану и разнятся лишь в величине частей, причём проезжие иногда сделаны несколько больше, а иногда меньше глухих» (РГАДА, Ф. 1209, Оп. 1, Д. 156). Тем самым, опираясь на графические источники второй половины XVII в. по крепостям Мангазеи, Олонца, Кашпира и др., можно полагать, что проездные башни имели наибольшую высоту относительно глухих башен. Так как набег кочевых племён совершался с юга, очевидно, что Спасская башня с южной стороны крепости была главной проездной башней. Исходя из этого, известная высота Спасской башни определена самой значительной, а высота противоположной северной башни принята на одну сажень меньше. Вместе с тем, высотные параметры остальных «вежей» гипотетически воспроизведены на 2 сажени меньше относительно южной проездной «вежи».

Возвращаясь к писцовым данным о внутренней планировочной организации Белого Яра, мы располагаем лишь общим перечислением основных сооружений на территории крепости. Отсутствует достоверная информация о точном расположении построек и их ориентировке. Единственным указателем на размещение определённых построек явились волжские ворота: «у волжских ворот государев выходной погреб, изба тюремная, колодезь – сруб дубовый» (РГАДА, Ф. 1209, Оп. 1, Д. 156). Тем самым, учитывая топографическую ситуацию Белого Яра, можно определить расположение последних построек в западной части крепости, т.е. со стороны р. Волги. Беря во внимание указанные выше сведения Никиты Гладкова о наличии на территории крепости церкви и дворов причта, а также двора приказных людей, надо полагать, что данные структурные элементы города формировали планировочный и композиционный центр, соединяющийся с проездными воротами города основными улицами. Вполне возможно, что доминирующие объекты располагались по диагонали относительно друг друга в целях максимального

раскрытия сооружений с разных видовых точек. Диагональное развитие композиции, состоявшее из нескольких объёмных и вертикальных доминант, было характерным для русских городов XVI-XVII вв. (4, с. 74-75). О трассировке улиц крепости можно говорить с определённой долей условности. Согласно принципам древнерусского градостроительства, вероятно, Белоярские улицы проходили по направлению линий бровок рек Волги и Большого Черемшана [8]. Опираясь на планировочную организацию российских крепостей XVI-XVII вв. (Сызрани, Саранска, Тамбова, Пензы, Тулы, Тобольска и др.), стрелецкие дворы Белого Яра, видимо, располагались вдоль улиц по порядковой системе, т.е. путём разбивки дворовых участков по «длиннику и поперечнику» [9]. Наличие данной системы межевания дворов прослеживается в кратких писцовых записях, касающихся Белоярского посада: «земли под двор... по 40 сажень длиннику, по 10 поперечнику» (РГАДА, Ф. 1209, Оп. 1, Д. 156). В целом, планировка города-крепости, вероятнее всего, имела нерегулярную структуру, а лишь элементы упорядоченности и правильности. Ввиду того, что геометрически правильная планировка российских городов с настоящим уличным типом селений по заранее намеченному плану стала появляться не ранее XVIII в., как следствие градостроительных реформ [10].

Таким образом, проведённое исследование и графическая реконструкция крепости Белый Яр позволили гипотетически определить основные принципы и приёмы её построения.

*В формировании объёмно-планировочной структуры можно отметить следующие закономерности:*

- влияние топографии на фиксацию форт поста: крепость расположена у слияния рек Волги и Большого Черемшана по направлению их бровок;
- сложение двухчастной структуры Белого Яра (крепость-посад);
- регулярная планировочная форма крепостных укреплений;
- тенденция центричности во внутренней планировочной организации крепости с наличием одного планировочного центра, состоящего из церкви и главных дворов – архиерейского и воеводского; наличие основных улиц по направлению линий бровок рек; использование порядковой системы в разбивке дворовых участков по «длиннику и поперечнику», в целом, не имевшей регулярной структуры.

*В архитектурно-пространственной организации Белого Яра выявляются следующие принципы и приёмы:*

- непосредственная связь архитектурно-пространственной организации крепостного комплекса с его планировочной структурой;
- организация общей композиции города-крепости по принципу соподчинения систем застройки

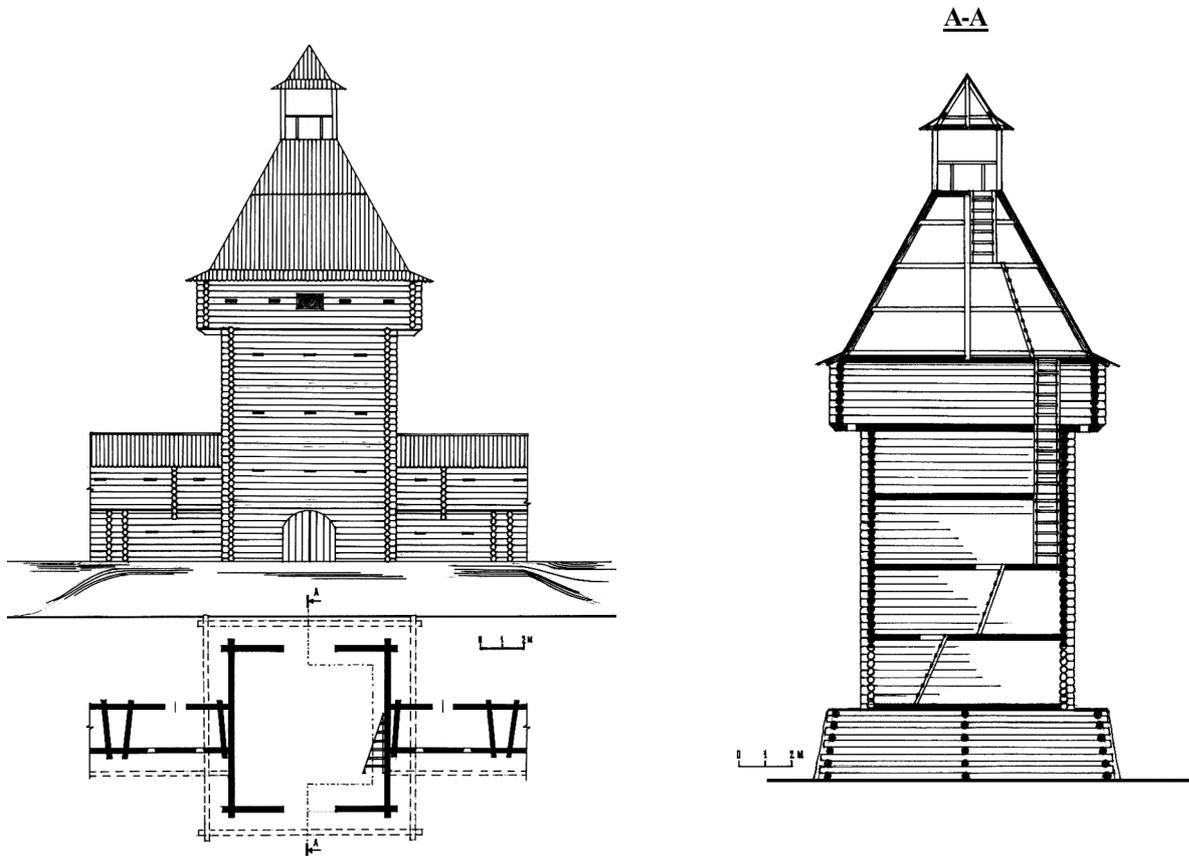


Рис. 1. Реконструкция проездной Спасской башни

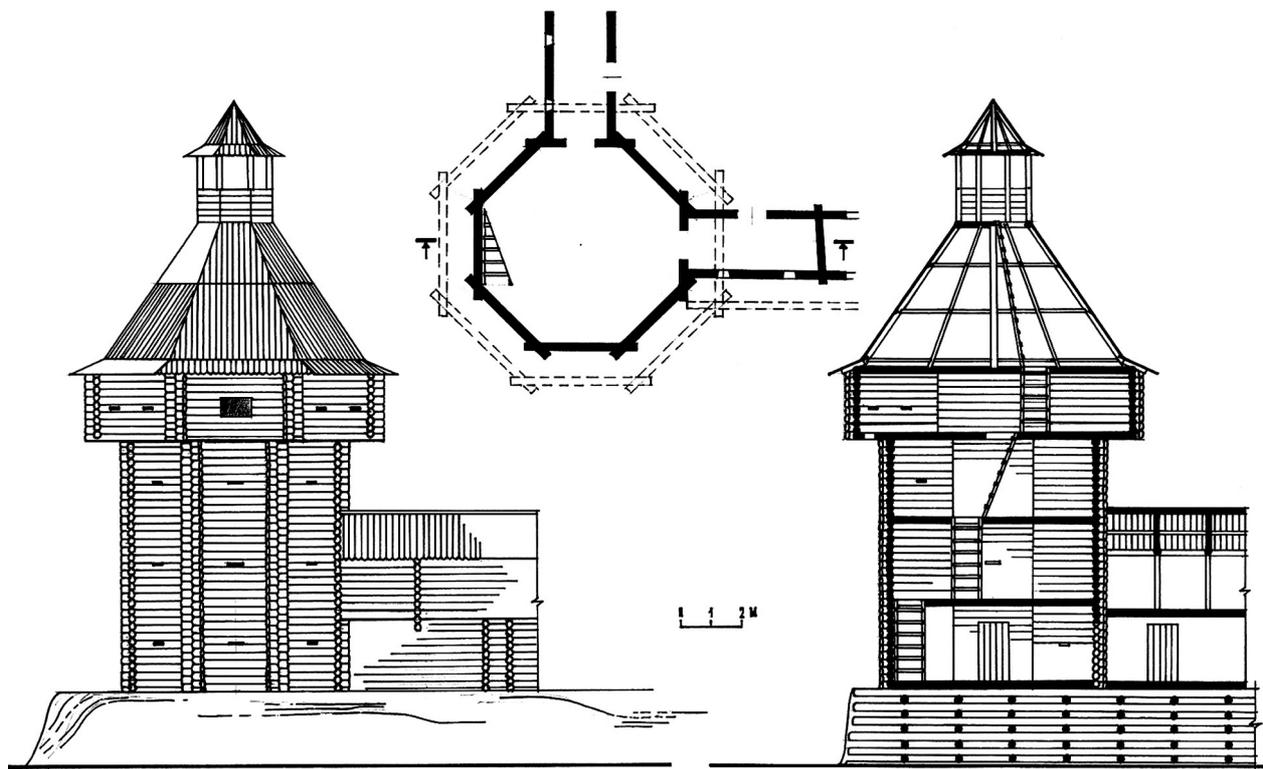


Рис. 2. Реконструкция угловой башни



относительно городского центра – церкви и главных дворов (архиерейского и воеводского);

- диагональная система расположения доминирующих объектов крепостного ансамбля;
- вертикальное построение оборонительного комплекса (композиционные вертикали доминирующих крепостных башен, караульных изб-башен и шатровой церкви);
- наличие объединяющего линейного элемента – крепостных стен в архитектурно-пространственном построении крепостного ансамбля.

*В рамках конструктивной структуры Белого Яра определяются соответствующие принципы и приёмы:*

- использование венчатой (венцовой) конструктивной структуры в оборонительных

сооружениях и застройке крепости (основная конструктивная форма в виде прямоугольного сруба, где каждый ряд из четырёх брёвен составлял венец; скрепление брёвен при помощи врубки с остатком – «в обло»);

- применение двух типов оборонительных ограждений: а – крепостные стены «тарасами», где две параллельно рубленные стены соединялись с определённым шагом поперечными стенами, с наличием верхнего боевого хода, перекрытым двускатной кровлей; б – ограда в виде тына или частокола посадских территорий;

- характерные конструктивные приёмы при возведении крепостных стен «тарасами»: а – обламные выносы для ведения подошвенного боя (вынос стены

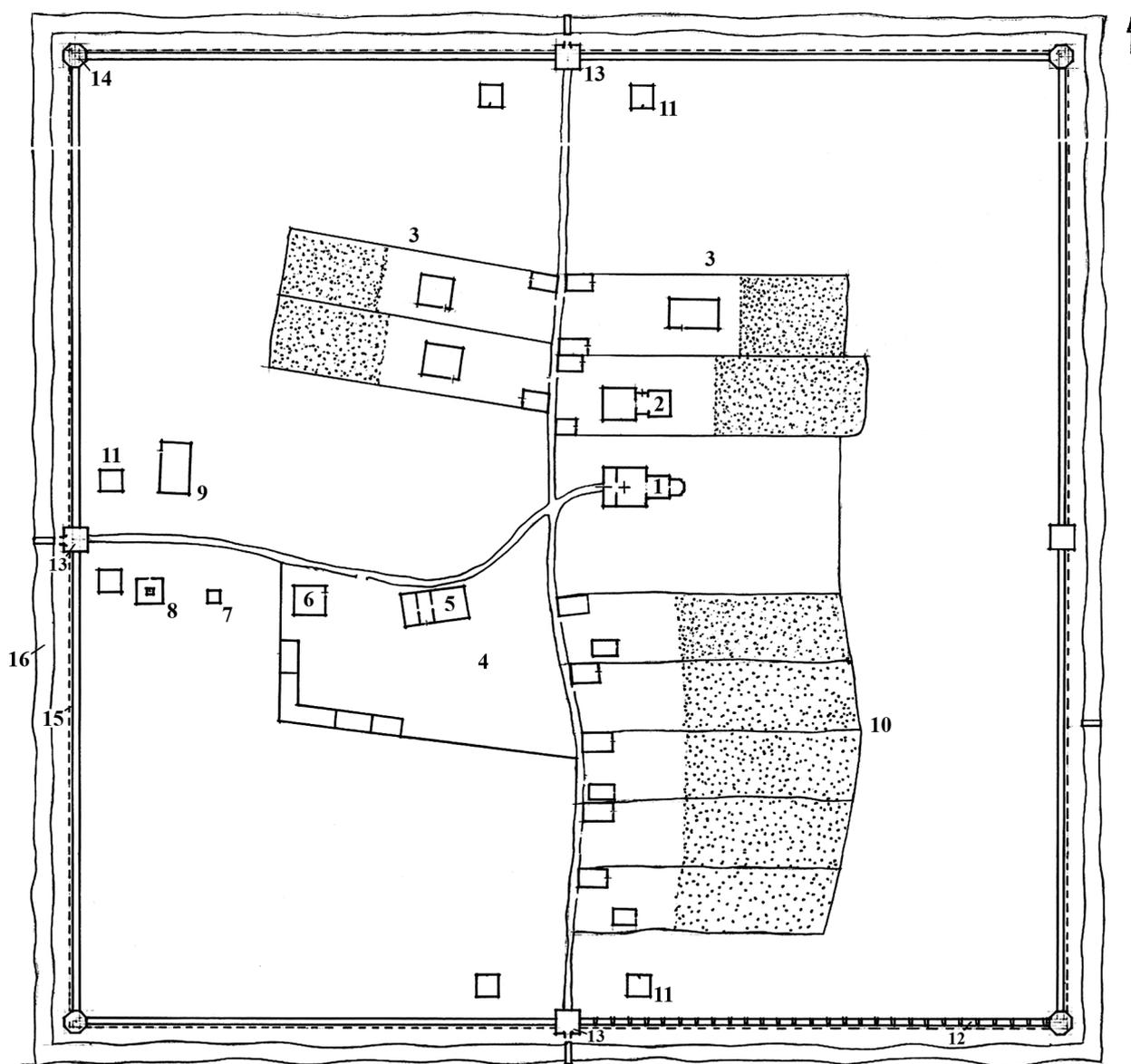


Рис. 3. Реконструкция плана крепости: 1 – церковь, 2 – архиерейский дом, 3 – двory причта, 4 – воеводский двор, 5 – приказная изба, 6 – баня, 7 – погреб, 8 – колодец, 9 – тюрьма, 10 – стрелецкие двory, 11 – караульные избы, 12 – крепостные стены, 13 – проездные башни, 14 – угловые башни, 15 – тарасное валовое основание, 16 – ров



боевого хода вперёд на бревенчатых консолях – «обламах»); б – соединение срубов с кровлей через рубленные фронтоны – «самцы», горизонтальные брёвна – «слеги» и тонкие стропила – «курицы»;

- основные конструктивные приёмы при возведении крепостных башен: венчатая структура в 4 или 8 граней; крепление в пазах венцов поярусных перекрытий из брёвен; воротные полотнища с прямым проездом; наличие обламных выносов; шатровые покрытия стропильной структуры; смотровые вышки каркасной структуры;

- возведение тарасных валов (включение деревянных конструкций во внутреннюю структуру валов в виде срубов – «городней», заполняемых и покрываемых земельно-глиняным составом).

Судя по всему, Белый Яр представлял собой типичную русскую крепость на колонизируемых землях с использованием традиционных объёмно-планировочных, композиционных и конструктивных принципов и приёмов построения.

### Литература

1. Синельник А.К. История градостроительства и заселения Самарского края. – Самара, 2003. – С. 15.
2. Назарова И.В. Крепость Белый Яр в системе оборонительных рубежей русского государства. // Региональное многообразие архитектуры России: Научный сборник. / Отв. ред. Г.Г. Нугманова. – Казань, 2007. – С. 53-57.
3. Галлямов Р.Ф. Закамская засечная черта и новые русские поселения в Алексеевском крае. // Алексеевский район. История и современность. – Казань, 2000. – С. 111.
4. Пилявский В.И., Тиц А.А., Ушаков Ю.С. История русской архитектуры. – Ленинград, 1984. – с. 10, 11; Ожегов С.И. Словарь русского языка. – М.: «Русский язык», 1984. – С. 616.
5. Алешковский М.Х. Новгородский детинец 1044-1430 гг. (по материалам новых исследований). // Архитектурное наследие, 1962, № 14. – С. 8-13; Иванов Ю.Г. Великие крепости России. – Смоленск, 2004. – С. 174, 262, 328.
6. Красовский М. Энциклопедия русской архитектуры. Деревянное зодчество. – СПб., 2005. – 384 с.
7. Известия Тамбовской учёной архивной комиссии, XXXIII. – Тамбов, 1892. – С. 49-56.
8. Кудрявцев М. П. Использование рельефа местности в русском градостроительстве на примере Москвы XVII в. // Архитектурное наследие, 1973, № 21. – С. 3-13.
9. Гуляницкий Н.Ф. История русского градостроительства X-XV веков. – М., 1993. – С. 216; Кудрявцева Т.Н. Композиция улиц древнерусских городов. // Архитектурное наследие, 1985, № 33. – С. 16.
10. Зорин А. Н. Города и посады дореволюционного Поволжья. – Казань, 2001. – С. 254, 265.



УДК 72.01

**А.А. Назмиева** – соискатель, ассистент

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## ИСЛАМСКИЙ САД В МИРОВОЙ ИСТОРИИ АРХИТЕКТУРЫ

### АННОТАЦИЯ

Целью статьи является рассмотрение канонического райского сада как идеального образа архитектуры исламского сада и его отражение в истории архитектуры. Идеальная архитектура канонического сада стала образцом в возведении исламских садов регулярной планировки в странах Ближнего и Среднего Востока, Азии и Северной Африки.

На основе исследований иконографических и исторических источников автором выявлены традиционные элементы, составляющие структуру планировки и пространства классического Восточного исламского сада; выполнены авторские теоретические планировочно-пространственные модели идеального райского и восточного классического исламского сада.

**A.A. Nazmieva** – post-graduate student, assistant

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## ISLAMIC GARDEN IN THE WORLD HISTORY OF ARCHITECTURE

### ABSTRACT

The aim of the article is to consider canonical paradise garden as an ideal architectural image of Islamic garden and its reflection in the history of architecture. Ideal architecture of canonical garden became a model in Islamic garden erection of regular lay-out in Near and Middle East, Asia, and Northern Africa countries.

Based on investigation of iconographical and historical sources, the traditional elements, which form the structure of lay-out and space of classical Islamic garden, are revealed; the original theoretical lay-out and spatial models of the ideal paradise and eastern classical Islamic garden are made.

В Коране большое внимание уделяется будущей жизни [1]. Интересующий нас теологический термин – «рай» в истинном смысле в Писании Аллаха обозначается словом «ал-Джанна» – сад, происходит от арабского слова «джанн», первичное значение которого – «укрывать». Ал-Джанна или джаннат означает место, которое покрыто, т.е. покрыто деревьями и прочими растениями [2]. Райский сад обещан Господом мусульманам в будущей жизни в награду за их богобоязненность. О славной жизни в раю, красоте и великолепии следующего мира в Коране упоминается более двухсот раз. Большая часть описаний рая цитируется в 51, 52, 55, 56 сурах – главах Корана.

Краткая и главная характеристика понятия «сада-рая» заключается в коротких и наиболее часто повторяющихся предложениях: «Райские сады, в которых текут реки» (85:11) или «Рай, который обещан богобоязненным, где внизу текут реки: пища в нем постоянна и тень. Это – награда (завершение) тем, которые богобоязненны» (35:13) [3].

«Этот аят подразумевает фрукты и наслаждения всякого рода, в том числе и духовные. Радости джанната не похожи на радости дунья (земные радости), которые исчезают или надоедают. Радости джанната чисты,

вечны и свободны от всяких недостатков, которые мы ассоциируем с чувственными удовольствиями. Тень джанната, о которой говорит Всевышний, означает укрытие, защиту и безопасность, ибо мы знаем, что тень – одно из удовольствий рая» [2].

Приведем извлеченные автором качества джанната из хадисов Пророков, различные коранические обозначения и перечисления аятов, содержащие то или иное обозначение (с указанием общего количества упоминаний), к которым можно обратиться за более подробными сведениями, а также более детально раскрыть коранические сведения о теме рая.

- Рай обычно обозначается словом ал-Джанна, Сад (с артиклем) встречается сорок пять раз, Джанна (без артикля) употребляется пять раз, Джаннат-И, Сад Мой – один раз. Шесть раз в Коране упоминается ал-Джанна в смысле первобытного Рая, из которого были изгнаны Прародители. Большинство толкователей отождествляют этот Рай с будущим Раем. Еще четыре раза слово джанна употребляется в составе более широкого обозначения типа «Сад вечности» (см. ниже); девять раз (в ед. ч.), четыре раза (в двойств. ч.) и двенадцать раз (во мн. ч.) – для обозначения обычного, земного сада. Джаннатан, два Сада (в двойств. ч.) – три раза, Джаннат, Сады (во мн.ч.) – пятьдесят семь раз



(см. ниже) [2].

• Невообразимость. «Аллах говорит: «Я приготовил для своих праведных рабов такой удел, которого глаз никогда не видел, ухо никогда не слышало, человеческий ум никогда не представлял» (Муслим) [2].

• Непеременимость. «Образ сада, который обещан богобоязненным: там – реки из воды не портящейся и реки из молока, вкус которого не меняется, и реки из вина, приятного для пьющих, и реки из меда очищенного. И для них там всякие плоды и прощение от их Господа» (47:15) [3].

• Восемь ворот. «У рая восемь ворот, и одни из них называются ар-Райан» (Бухари) [1].

• Рай – сад, обширный, как небеса и земля. Всевышний Аллах говорит в 133 аяте суры Имран: «И устремляйтесь к прощению от вашего Господа и к раю, ширина которого – небеса и земля, уготованному для богобоязненных» [2].

• Сто уровней. «В джаннате сто уровней (этажей, ярусов), которые Аллах создал для тех, кто усердствует на Его пути, и расстояние между каждым из них подобно расстоянию между небом и землей. Когда вы просите у Аллаха рай, просите джаннат ал-Фирдаус, потому что это центральная (в фокусе) точка джанната и высочайшая степень его. На нем Арш Аллаха и в нем источник рек джанната» (Бухари) (Валиулла, 2005). Фирдаус как обозначение Рая встречается еще в 23:11. Некоторые связывают это слово с греч. *Paradeisos*. Согласно внекораническому преданию, Фирдаус – высший ярус Рая [1].

Характеристики, порой толкуемые как название Рая в целом или некоторых из его 100 ярусов: Джаннат ‘адн, Сады истинного (вечного) пребывания. Слово ‘адн некоторые истолковывают как название дворца или реки в Раю. Это же слово в арабском языке обозначает и библейский Эдем. Джаннат ан-на’им, Сады благодатные; Джаннат вн-на’им (ед.ч.), Сад благодатный; Джаннат ал-хулд, Сад вечности; Джаннат ал-ма’уа (ед.ч.), Сад обитания; Джаннат ал-ма’уа (мн.ч.), Сады обитания; Дар ас-салам, Жилище мира (покая); Дар ал-макама, Жилища всегдабытности; Мак’ад сидк, Обитель истинная; Макам амин, Место надежное [1].

• Дворцы. «Люди рая будут смотреть на обитателей возвышенных особняков (лучшее, превосходящее место в раю) так же, как человек смотрит на яркую звезду далеко на востоке или на западе на горизонте. Эти возвышенные дома – для людей» (Бухари) [2].

• Троны, реки (четыре реки), сады, где текут ручьи, встречаются в Коране 57 раз. Источники. Два сада и два источника. Цветник. Горницы. Шатры и т.д. «В раю есть палатка, сделанная из одной пустой жемчужины шириной в 60 миль. И есть два сада, утварь (инструменты) и содержимое которых сделаны из серебра; и два других сада, утварь и содержимое которых сделаны из того-то и того-то (т.е. золота), и ничто не помешает людям, пребывающим в Эдемском

саду, видеть их Господа, кроме занавеса Величия поверх Его Лица» (Бухари) [2].

«Сайхан, Джайхан, Евфрат и Нил – все они среди райских рек» (Муслим) [2].

• «В раю есть дерево, которое столь велико, что всадник может ехать в его тени сотню лет, не пройдя ее» (Бухари) [2].

• Обитатели рая. «Вознаграждение (аджр) щедрое, прекрасное, великое, неисчерпаемое. Блаженство (фауз) явное, великое. Дары неиссякаемые. Награда выше всех описаний. Жизнь без смерти. Непрерывающееся пребывание в Раю. Вечное пребывание – обитатели рая будут есть и пить» (Муслим) [2].

«Тот, кто войдет в рай, будет наслаждаться таким вечным блаженством, что он не станет нуждающимся (лишенным), одежда его не износится и молодость его не угаснет» (Муслим) [2].

• Роскошь. Одевания и наряды, ложи, седалища, посуда для яств и питий. «Поистине, Аллах введет тех, которые уверовали и творили благое, в сады, где внизу текут реки. Разукрашены они там будут браслетами из золота и жемчугами, и одеяние их там – шелк» (22:23) [3].

• «Поистине, богобоязненные (муттакун) – среди садов и источников: «Входите сюда с миром в безопасности!» И изъяли Мы злобу, что в их груди; братьями они на седалищах обращены друг к другу» (15:45-47) [3].

• Яства райские. Напитки. Отроки-прислуга. Присоединение, потомства к блаженствующим в Раю (52:21). «Обитатели рая сегодня, поистине, своим делом наслаждаются (заняты радующими вещами). Они и их супруги в тени возлежат на ложах. Для них там фрукты и все, чего они потребуют» (36:55-57) [3].

• Пребывание в мире и безопасности. «Входите туда с миром, это – день вечности. Им – то, что они пожелают там, и у Нас есть еще» (50:34-35) [3].

• Жены будут петь так мелодично, что человеческое ухо не слышало такого (по сообщениям у Бухари). В некоторых из аятов порой полагают, что речь идет о гуриях [1].

• Каусар. Разговоры блаженствующих друг с другом. «Вы знаете, что такое хауз и каусар? Это пруд, дарованный мне моим Господом. Он будет очень благословен. Моя умма будет собираться у него, чтобы встречаться со мной. Его чаши равны звездам по количеству» (Бухари) [2].

• Рынки. «В джаннате будет рынок, где люди рая будут собираться каждую пятницу. Будет дуть фантастический ветерок и обрызгает блеском их лица и одеяния, отчего они будут выглядеть еще более красивыми и привлекательными» (Муслим) [2].

При тщательном изучении сур и аятов-стихов, посвященных сюжету райского сада, автором были выявлены четыре основных элемента, составляющих его структуру: архитектура (дворцы, жилище,



особняки), четыре сада, вода (сады, где текут ручьи; четыре реки, источники), дерево.

Выявлены дополнительные эстетические качества или классификация второстепенных элементов, дополняющих картину райского сада.

- Малая архитектура: шатры, ложи, сидалища, горницы. Ландшафт: два сада, сады. Водная система: пруд, два источника, источники, реки. Дендрология: цветники, всевозможные плодовые деревья. Живность: певчие птицы. Яства райские: напитки. Обитатели рая: жены (гурии), отроки-прислуга, хранители рая. Роскошь: одеяния, наряды, посуда для яств и питий. А также в раю происходят действия: разговоры блаженствующих друг с другом, присоединение потомства к блаженствующим в Раю. Лицемерие Бога (по толкователям). Благоволение Божие к ним. Славословия Господу. Приветствия. Рай это: вознаграждение, дары неиссякаемые, непрекращающееся пребывание в Раю, вечное пребывание. Жизнь без смерти – награда выше всех описаний. Блаженство явное, неисчерпаемое, великое, прекрасное. Вознаграждение щедрое. Рай обширный, как небеса и земля. Место надежное. Обитель истинная. Жилища. Жилище всегдабытности, покоя, вечного пребывания.

Интерпретируя вышеизложенное, можно сделать вывод или создать теоретическую, сводно-идеальную модель архитектуры исламского сада: рай имеет восемь степеней и восемь врат («расстояние между двумя воротными столбами в раю подобно расстоянию между Меккой и Босрой (в Шаме)» (Бухари)) =  $n$  км. По размерам в ширину рай, как земля, равен обхвату экватора, в длину, предположим, равен меридиану земли, по высоте имеет сто уровней (этажей, ярусов), а расстояние между каждым из них подобно расстоянию между небом и землей =  $n$  км. По содержанию в раю есть два сада, а перед теми двумя есть еще два сада (итого четыре сада); высочайшая и центральная (в фокусе) точка джанната, высочайшая степень, в котором источник рек джанната – доминанта в райском саду; четыре текущие реки из молока, меда, воды и вина; пруд. Имеются в раю особняки высотой до звезд; дерево, дающее тень, в которой всадник может ехать более ста лет =  $n$  км. По словам доктора архитектуры, профессора Г.Н. Айдаровой, возможно, дерево давало не только тень, но и являлось центром знаний, содержало в себе тайные познания.

Учитывая то, что место это надежное, можно предположить, что оно хорошо укрепленное, например, окружено высокими ограждениями или жильем типа горниц.

Об очертаниях сада и количестве его граней или стен в Коране ничего не сказано, но нам известно, что в исламе существуют священные цифры, например, четыре (огонь, вода, воздух, земля – то, что каждый человек может иметь при земной и будущей жизни). А также структура ада (джаханнам) содержит описание

четырёх стен, которые его окружают. Ширина каждой стены – сорок лет ходьбы =  $n$  км.

Изучая и анализируя каноны ислама, создан образ райского, идеального сада. По истории и иконографическим источникам выявили планировку, структуру, композицию архитектуры сада в культуре исламских стран, которые создавались идеями, сознанием, творческим воображением создателей.

Приведем смысловые аналоги между религией, историей и основными иконографическими материалами, для того чтобы характеризовать геометрические параметры объемно-пространственного канона, архитектуру и структуру изучаемого нами исламского сада.

Обращаясь к истории садов, формировавшихся по композиционному принципу чар-баг, можно сказать, что он полностью выражал своеобразие менталитета, культуры, характер мусульманского мира. Он составляет основу мусульманского сада. Сады в мусульманских странах ассоциировались с раем. И, несмотря на всё их разнообразие, устройство садов строго регламентировалось законами ислама.

Эту же мысль выражают многие ученые: Дормидонтова В.В., Карцева В.Н., Мерпорт И.А., историки Рандхава М.С., Смолина Н.И., Веймарн Б.В., Булатов М.С. в своих работах говорят о том, что воззрения праведных мусульман, их традиции, свод мусульманских законов играли большую роль как в истории архитектуры, так и в науке, искусстве и культуре.

К XV в. окончательно сложился ведущий тип архитектурно организованного сада – чар-баг – «четырёхчленный сад», традиционный отличительный признак планировочной схемы – осевая планировка, которая сводилась к расчленению квадратного или прямоугольного участка каналами воды на четыре части с регулярным планом, подчиненным геометрии осей, с центральным положением источника воды и дворцового павильона, четкой разбивкой зеленых посадок.

Исламский сад, чар-баг – вклад иранской цивилизации в садоводство мира [4]. Его можно отметить во многих мусульманских странах, относящихся к 14-17 вв. Он представлял собой замкнутое, закрытое пространство, созданное при дворцах резиденций, усыпальницах властителей и при богатых особняках.

Исламские сады существовали в основном в частных владениях. Общественные сады были явлением исключительно редким, они содержались, как правило, очень богатыми меценатами.

Они имели распространение в различных регионах и странах ислама, таких как:

- Турция. Стамбул. Дворец-музей Топкапы. Перестроен в 17 в. [5].
- Испания. Гранада. Дворец-крепость Альгамбра. Конец 13 – начало 14 вв. Львиный двор, Миртовый двор,



сад Линдархии [5]; Дворец Генералифе, 14 в. [6].

- Иран. Кашан. Сад Багхе Фин. 17 в. [7]
- Индия. Агра. Сады чар-баг мавзолея Тадж-Махал. 17 в. Традиционный «райский сад» при мавзолее представляет наиболее совершенную композицию чар-бага [6].

• Средняя Азия. Исфахан. Дворец Али-Капу. Конец 16 – начало 17 вв. [5]; Дворцовый павильон Хашт-Бехишт. 17 в.; Эшреф. Парк 17 в. [8]. Планировка города Герата 15 в. разбита по принципу чар-баг [9].

По историческим источникам создавалась теоретическая модель классического, исторического, восточного исламского сада.

Примерная схема структуры, планировки, композиции и пространства сада чар-баг:

- основной план составляет прямоугольник или квадрат;
- центрально-осевая симметрия плана;
- отчетливая строгая геометричность плана;
- простота регулярной планировки и индивидуальность решения;
- пример экономного использования воды;
- правильная ориентация по странам света;
- главная ось выделена широкой аллеей или каналом воды;

• площадки сада чар-баг разбиты на правильные геометрические фигуры;

- строгая геометричность планировки сада чар-баг подчеркивается с помощью благоустройства сада;
- замкнутый, скрытый характер;
- территорию обрамляют высокие стены и растительность, тем самым достигая подчеркивание контура;

• вход в сад часто размещается не по центру, а сбоку, тем самым нарушается симметрия, обогащается общая картина сада. Связь между внутренним замкнутым пространством сада и открытыми внешними видами достигается путем устройства видовых точек, оформленных аркадами;

• абсолютной композиционной доминантой, центром является источник (вода); планировочные ритмы, геометрический порядок оживают в звуковых ритмах падающей воды. Сад строится по правилам симметрии. На живописный рельеф накладывается прямоугольная сетка аллей и каналов. В узлах этой упорядочивающей композиции сетки пересекаются горизонтальные линии каналов, наклонные линии лестниц и аллей и вертикальные линии каскадов воды;

• подчиненной композиционной доминантой являются дворцовые павильоны. Архитектура садовых павильонов обусловлена планировкой сада. Павильон, поставленный на месте пересечения диагональных и ортогональных аллей – осей парка, также центричен и раскрывается проемами в их сторону. Купольный объем павильона доминирует над садом. В случае зеркально-симметричной планировки территории встречаются различные вариации размещения

павильона на оси: либо в начале пути, либо в центре, либо в конце его. Помещения такого павильона группируются вдоль оси симметрично ей. Монументальность, могущество построек достигались не только грандиозными размерами, но и приемами композиции, среди которых симметрии, бесспорно, принадлежит первое место. Акцентирование центра, доминирование единого большого объема, перекрытого куполом, и другие приемы симметрии, выявляющие главный мотив, – достаточно убедительные средства раскрытия традиционной философской темы единства и ее социального воплощения – единодержавия. Таким средством служит прием симметричных расположений;

• к источнику ведут дороги, аллея; четкая геометрическая сеть дорожек и каналов, примыкавших к главной оси с обеих сторон, включала живописно скомпонованные поляны, окружающие роскошные дворцы и павильоны;

• от источника по выложенным каналам бежит вода. При движении по аллее, кроме восприятия линейных горизонтальных ритмов мелькавших сквозь деревья садовых павильонов и строений, прохожий испытывал ощущение вертикального ритма, обусловленного спуском к бассейну. Можно представить, что совместное действие всех этих факторов – мерный шум воды, ритмичный шаг по ступеням, пересекающие путь тени от деревьев, игра цветоцветовых пятен – производило впечатление единого стройного потока озвученных картин и вызывало ответную реакцию, как чувство причастности каждого стремительному движению самой жизни, разворачивающемуся одновременно в пространстве и во времени. Динамичная направленность главной дороги к водоему, источнику жизни, имеет глубокий смысл: указание на абсолютную ценность воды для существования человека в условиях жаркого климата. Символическая обусловленность оси составляет планировочную идею композиции центра сада в целом:

• растения, мраморные полы, другое благоустройство обрамляет воду;

• в центрах квадратов часто стоят небольшие фонтаны или размещаются бассейны с крохотными фонтанчиками, питающими систему влагой, облицованные мрамором, разноцветными керамическими плитками и стеклом, которые являются главным украшением всего сада. Лиричные, тихо журчащие фонтаны, легкие струи воды, текущие по мраморному ложу, создавали особую интимную атмосферу. Ее усиливали экзотические деревья и благоухающие цветы, бродящие в садах павлины и поющие в золоченых клетках птицы;

• наличие правильной геометрической сетки, симметрично расположенной по обе стороны главной оси, и множество вариаций орнаментального заполнения этой сетки. Можно проследить



закономерности симметрии в отдельных элементах: и в рисунке садовой клумбы, и в плане небольшой садовой беседки, и т. д.

Геометрические параметры сада чар-баг:

- геометричность;
- центричность;
- орнаментальность.

Качественные параметры сада чар-баг:

- единство;
- статичность;
- «интерьерность»;
- «гармония».

Функции пространства:

• основывается как увеселительный сад в системе дворцового ансамбля;

• со временем нередко становился погребальным садом, некрополем семьи своего основателя;

• погребение. Погребение несет с собой как интимную зону сада, так и общественную (мавзолей). Определенную специфику имеют погребальные сады. Погребальный сад может существовать, что бывает наиболее часто, отдельно, в качестве общественного (открыт для посетителей), а может занимать какой-то участок частного сада;

• место спасения. Сад является местом спасения для человека, так как, цветущий сад – аналог райского сада, а рай небесный является спасением для души мусульманина;

• мазджид – место прострации, поклонения, у доисламских арабов и у мусульман ритуально чистое место молитвы (в том числе молитвенный ковер). Этим местом мог служить и сад;

• маджлис, пир. Функция маджлиса предусматривает садовый праздник, по-арабски означает сидение, место сидения, обладающее обширным полем значений в мусульманской культуре. Это процесс передачи знаний от наставника ученикам во время длительных бесед, проповедь, судебное заседание, государственный совет, официальный прием правителя; устойчивая традиция интимных собраний для бесед и развлечений, куда допускались лишь особо приближенные лица. На маджлисах, помимо наслаждения вином, фруктами, обществом красавиц, общение с мудрецами, поэтами, слушание лучших певцов и музыкантов, созерцание красивых вещей, – в общем, все то, что очищает душу человека, приближает его к Богу;

• тихий отдых предусматривает прогулки в тени под деревьями, около прохладных каналов с журчащей водой, слушание птиц и наслаждение ароматами цветов;

- активный отдых. Борьба или танцы;
- эстетическое удовольствие;
- хозяйственные участки для выпечки хлеба.

При устройстве садов около храмов немалая роль принадлежала религиозным представлениям. Фундаментальные принципы построения различных

форм искусства: архитектуры, музыки, поэзии, живописи, одни и те же – ритм, гармония и равновесие. Эти же принципы лежат в основе религии, которая считается искусством духовной жизни. Гармония должна быть во всем, что окружает человека. Сад и дом должны благоприятствовать созданию гармонии души.

Итак, исламский сад имеет строгую ориентацию по сторонам света, регулярную планировку, лишен случайных элементов, все подчинено строгой геометрии, основной план составляет прямоугольник или квадрат, центром которого является источник воды, все остальное – подчиненные элементы. Главное назначение этих садов – создать среду покоя и гармонии.

Садово-парковое искусство прошло длительный путь развития, и многие шедевры безвозвратно утеряны. По многочисленным изображениям и описаниям, благодаря изобразительному, прикладному, декоративному искусству (миниатюрам, коврам, тканям, изразцам), мы можем подробнее судить о райских садах.

Исламская культура проявлялась в первую очередь в архитектуре и в её убранстве (мозаики, изразцы, ткани, ковры, керамика). Во всем окружающем человека царствовала идея рая. Райские сады не только вокруг архитектуры, внутри двора, но и внутри дворцов в качестве изображений райских куш, экзотических растений, животных на изразцах. Эти же образы создавались и на предметах прикладного искусства, на предметах роскоши, которыми халифы окружали себя.

Мусульманские правители стремились воспроизвести коранический Рай на земле, воплощая в образе своих дворцов и садах. Это отразилось не только на архитектуре, на ландшафтной архитектуре, но и в искусстве, так как мусульманские сады явились подосновой для создания многих предметов искусства [9].

Все вышеперечисленные параметры сада чар-баг явились подосновой для создания разных предметов прикладного искусства и роскоши:

• изобразительный материал. Миниатюры арабские, персидские, сефевидские, могольские. Сцены, которые изображали художники-миниатюристы, непосредственно были связаны с садами. По рассмотренным миниатюрам можно сказать, что их изображения совпадают с принципами планировки сада чар-баг (араб. четырехчленный сад; райский или исламский сад) и ее архитектуры.

В мусульманском искусстве, в миниатюрах изображали очень часто маджлисы – садовые праздники, которые проводились непосредственно в садах. Функций у мусульманского сада было множество. Все они отражены на миниатюрах;

• декоративно-прикладное и текстильное искусство. Ковры – «садовые», «звериные», «молитвенные», «охотничьи», «медальонные» имели формализованное изображение садов. Ковры



«садового» типа напрямую относились к садам, на которых были изображены дворцы, малые архитектурные формы, планировка сада, источники воды, каналы, пруды и всевозможные экзотические деревья, животный мир, на них как бы было порождено кораническое описание рая. Возможно, орнаменты, рисунки ковров ткались по существующим планам сада самого же заказчика, естественно прилагая фантазию мастера. Все вышеперечисленные функции в качестве сцен изображались и на тканях. Ткани с растительными орнаментами и изразцы с буйными, яркими растительными узорами, заполнявшие стены османских мечетей;

• монументально-декоративное искусство: росписи, изразцы, мозаика, декор, стук, орнамент. Сюжеты сада изображались художниками-миниатюристами на стенах дворцов и павильонов в виде мозаик из придворной жизни.

Исторические и иконографические источники дают бесценный изобразительный материал, который помогает реконструировать утраченные моменты. По изученным источникам можно судить о функциях сада, вариантах планировочных решений, типах многочисленных павильонов, формах и очертаниях бассейнов и фонтанов, способах орошений сада, водных системах.

Анализ источников исследования позволяет судить о том, насколько был высоко развит этот вид архитектурного искусства.

В современном мусульманском мире в разных странах это искусство находило продолжение. Сады согласно этой традиции строятся и в Азии, и в странах северной Африки. Исламский сад разнообразен. Традиции мусульманского сада (регулярной планировки) повлияли и на сады европейских стран. Наблюдается переплетение восточных и европейских обычаев при строительстве садов [10].

Сады испанских дворцов и монастырей один современный исследователь сравнивает с персидским ковром: «Традиция восточного садового искусства преломлялась через призму типично монастырского чувства природы». Хосе Сигуэнса описывает величие этих цветущих садов, их щедрую красочность и искусную планировку, благодаря чему при взгляде из высоких окон дворца они казались «прекрасными коврами, привезенными из Турции, Каира или Дамаска» [11].

Восточная культура распространялась, привозилась кочевниками и в регион Среднего Поволжья. Сады Волжской Булгарии и Казанского Ханского дворца существовали в таком виде, как сады Испании, Арабского Халифата, Крымских татар и имели такие же признаки, но с учетом климата видоизменялись и отличались от исламских садов Востока. В общих чертах, напоминая турецкие сады. Система, приемы, принципы планировки архитектуры садов мусульманского населения Среднего Поволжья

просты, в отличие от восточных исламских садов.

Один из подобных садов существовал на берегу озера Кабан при резиденции, принадлежавшей Сююмбике. На данный момент, на месте царского летнего архитектурного комплекса, со слов доктора архитектуры Г.Н. Айдаровой, построен Воскресенский монастырь, а под ним остался слой Ханской архитектуры.

Вывод: Поиск основ архитектуры исламского сада привел нас к мусульманским теологическим источникам и исламским традициям. Анализируя коранические цитаты и хадисы пророков, содержащие информацию о райском, исламском саде, можно сказать, что они подтверждаются фактами исламской цивилизации в мировой истории архитектуры.

### Литература

1. Валиулла хазрат Якуб. Джаннат и джаханнам. – Казань: Иман, 2005. – С. 6-26.
2. Веймарн Б.В. Классическое искусство стран ислама. – М., 2002. – 500 с.
3. Горохов В.А., Лунц Л.Б. Парки мира. – М., 1997. – 200 с.
4. Ибрагим Т., Ибрагим Т., Ефремова Н. Путеводитель по Корану. – М., 1998. – С. 114-118.
5. Каптерева Т.П. Эскориал. Грани творчества. // Сб. научных трудов. – М., 2000. – С.46-50.
6. Кулиев Э.Р. Коран. Перевод смыслов. – Издание пятое, исправленное и дополненное. – М.: УММА, 2004. – 687 с.
7. Назмиева А.А. Архитектура исламского сада по иконографическим источникам // Развитие региональных школ в контексте историко-культурных традиций: Матер. междунар. науч. конф.: 1 т. – Казань: КазГАСУ, 2005. – С. 65.
8. Ожегов С.С. История ландшафтной архитектуры. – М., 2003. – 157 с.
9. Рандхава М. Сады через века. – М.: Знание, 1981. – 320 с.
10. Смолина Н.И. Приемы комбинаторики в планировочных схемах Средней Азии 15-17 вв. – М., 1984. – 178 с.
11. Яралова Ю.С. Архитектура стран Средиземноморья, Африки и Азии 6-19 вв. 8 том // Н.В. Баранов. Всеобщая история архитектуры. – М., 1969. – С.174-176.



УДК 72.03:72025.4/5

**Н.Е. Троепольская** – ассистент

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

**АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ  
КАЗАНСКОГО СВЯТО-ТРОИЦКОГО ФЕДОРОВСКОГО МОНАСТЫРЯ**

**АННОТАЦИЯ**

Полностью утраченный Федоровский монастырь является одним из наименее изученных монастырей Казанской епархии. В настоящей статье рассматриваются вопросы истории строительства и формирования планировочной структуры этого небогатого заштатного монастыря в разные хронологические периоды. На основании достаточно обширного графического материала, справочной информации и архивных документов, собранных автором, с определенной степенью достоверности удалось воссоздать образ и обстановку этого комплекса, выполнить его подробное архитектурно-планировочное описание и графические реконструкции.

**N.E. Troepolskaya** – assistant

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

**ARCHITECTURAL AND HISTORICAL DESCRIPTION  
OF THE HOLY TRINITY KAZAN MONASTERY OF ST. FEDOR**

**ABSTRACT**

The completely lost monastery of St. Fedor is the least studied one of Kazan eparchy. Some historical stages of the building construction and development of the planning structure of this not too wealthy supernumerary monastery are chronologically considered. Based on many graphical materials, reference information and archival documents, collected by the author, the reproduction of the monastery complex, its detailed architectural and planning description, and graphical reconstructions were made with the significant accuracy.

Многовековыми хранилищами информации были в России монастырские комплексы, которые неизбежно накапливали в своих ограниченных пространствах, отделенных от суетного мира прочными монастырскими стенами, свидетельства об изменениях общественных строев, а вместе с ними и функций, стилей, строительных технологий и многого другого, что ярко проявлялось в архитектуре их зданий и сооружений. И по сей день подробное рассмотрение истории строительства и формирования планировочных структур даже самых небольших и небогатых монастырей в разные хронологические периоды позволяет нам пополнять знания о развитии русской архитектуры в целом.

Об одном из таких, на первый взгляд, незначительных монастырей и пойдет речь в данной публикации, а именно о Казанском Свято-Троицком Федоровском монастыре, основанном на рубеже XVI-XVII веков заботами Казанского Митрополита Гермогена и усердием Благодетелей воеводы князя Голицына, в 1764 году ставшем заштатным, закрытом в 20-е годы XX столетия и впоследствии полностью утраченным. Стоит отметить, что этот малоприметный монастырь был обделен вниманием

исследователей. В справочной литературе по монастырям России дается предельно скудная информация о нем [1-5]. Однако, мне удалось собрать из разных источников достаточно количество графических материалов, справочной информации и архивных материалов. Основные архивные документы, на которых основано настоящее исследование, это - описание Свято-Троицкого женского монастыря, составленное в 1910 г. настоятельницей монахиней Людмилой [6], и послереволюционные материалы по изъятию церковного имущества во время закрытия храма в 1929 г. [7]. Графические материалы в основном составляют фотографии XIX-XX в. Е.Н. Аршаулова, Г.Ф. Локке, А.И. Бренинга, К.К. Романова, П.М. Дульского, Г.В. Фролова, а также неизвестных фотографов из собрания Национального музея РТ. Все эти материалы позволяют с определенной степенью достоверности воссоздать образ и обстановку этого монастыря на рубеже XIX-XX веков, которые частично представлены на рисунке.

Самая же ранняя информация о составе монастырских строений приводится в приложении к работе И.М. Покровского “К истории казанских монастырей до 1764 г.” [8]. С дореформенных времен

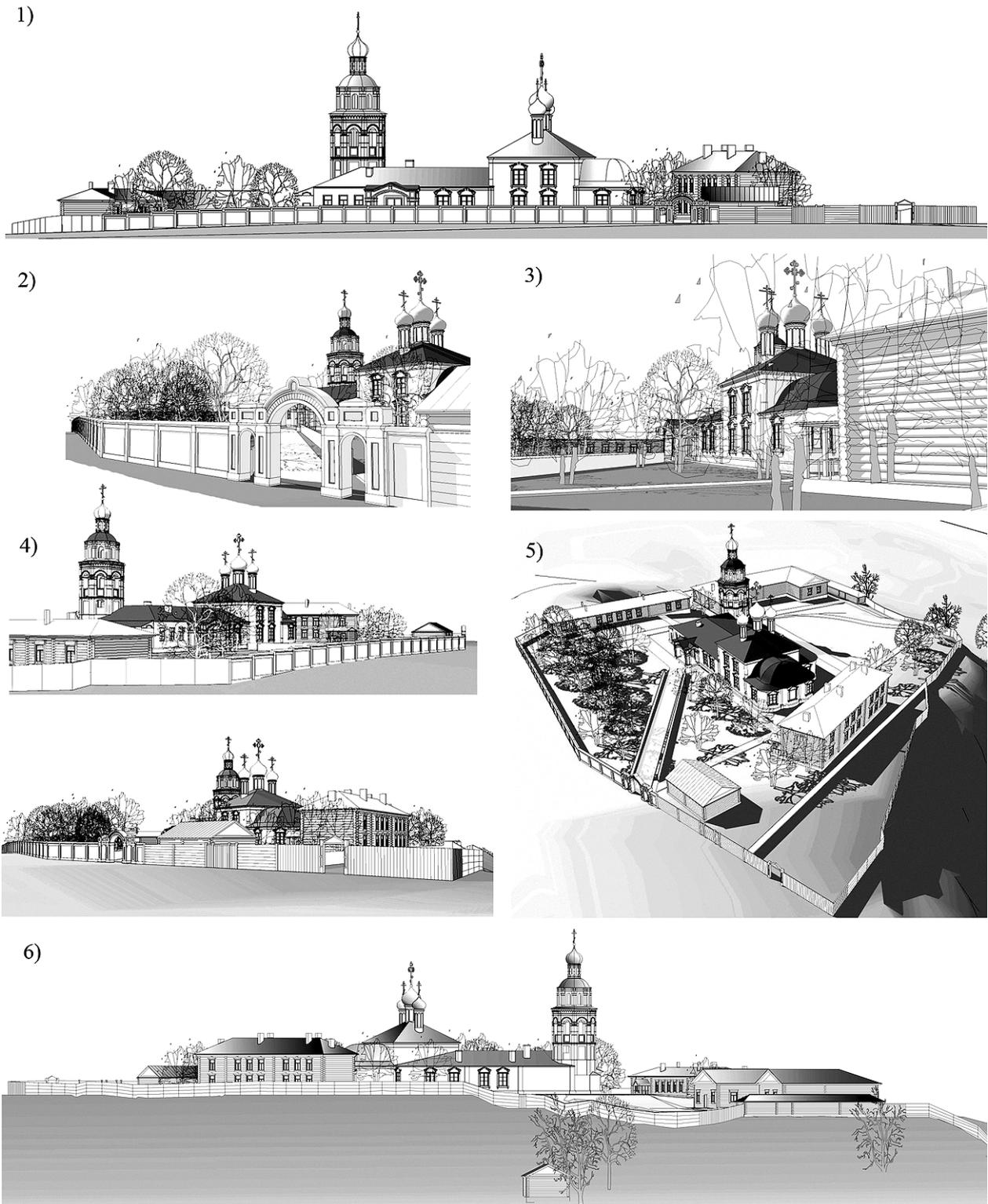


Рис. Фрагменты графической реконструкции Казанского Федоровского монастыря на конец XIX - начало XX вв., выполненной студентами V курса КГАСУ каф. РиРАН Ахмадеевым Р.Р. и Султановым Л.И. под руководством Троепольской Н.Е.: 1) Панорама монастыря со стороны города Казани, 2) Вид на Святые врата, 3) Вид на церковь Святой Троицы от Святых врат, 4) Вид с бывшей ул. Односторонка Федоровская, 5) Вид сверху на монастырский комплекс, 6) Панорама монастыря со стороны р. Казанки



Федоровский монастырь состоял из одной двухпрестольной каменной церкви, одной деревянной церкви и двух деревянных келий длиной 9 и шириной 3 саж. (20х6,4 м). Кроме этих строений, в монастырской ограде стояли каменный погреб с самостоятельным входом, хлебня, погреб с надпогребницей, конюшенный амбар с сенцами, семинарский амбар. Деревянный храм во имя Святой Живоначальной Троицы просуществовал около ста лет. Монастырские строения неоднократно становились жертвой часто свирепствующих в Казани пожаров. Вероятно, Троицкая церковь сгорела в один из таких пожаров. Какими-либо описаниями этой церкви и обозначением ее места на планах я не располагаю. Пожары в судьбе Федоровского монастыря вообще играли роковую роль. Так, после сильнейшего пожара в 1843 г. он не был долгое время возобновлен как монастырь и был сначала приписан к Иоанно-Предтеченскому монастырю, а затем в 1855 г. – к Спасо-Преображенскому монастырю. В 1889 г. при нем была устроена богадельня. И только к концу XIX в. жизнь в монастыре стала налаживаться. По Указу Священного Синода от 23 сентября 1900 г. за №6491 Федоровский мужской монастырь был преобразован в общежительный женский монастырь.

Свое название – “Федоровский” – монастырь носил до середины XVIII в. и только после упразднения в казанском Кремле Троице-Сергиевского монастыря стал называться “Троице-Федоровским” [8]. Монастырь камерно и уединенно стоял на удобном для строительства мысу над рекой Казанкой (на левом её берегу). Мыс тот в народе назывался Федоровским бугром по названию монастыря, а поселения, постепенно разросшиеся по соседству с монастырем, стали носить название Федоровской слободы. Монастырь и слобода эта находились за пределами городской черты (за деревянным городом) и являлись северо-восточной окраиной Казани. Неподалеку от этого места проходила городская стена с некоторыми пристройками. Но уже по сведениям переписных книг 1680 года Федоровская слобода вошла в посад.

Монастырь не просматривался со стороны города, поскольку занимал подгородное положение. При том что он, наряду с Богородицким монастырем, формировал панораму города вдоль р. Казанки, его не встретишь на старинных презентабельных панорамах города. Эта панорама раскрывалась со стороны Царево-Кокшайской дороги, но была неприметной и редко попадала в объективы фотографов. Однако Федоровский бугор являл собой для Казани важнейший элемент сакрального каркаса. Он замыкал череду церквей от Кремля, растянувшуюся вдоль береговой линии реки Казанки. От Кремля вдоль берега реки Казанки располагались Пятницкая церковь, Богородицкий монастырь, Евдокиевская церковь и Федоровский монастырь. А в начале XX века в трудах таких исследователей, как Н.А. Спасский, М.М. Хомяков

и др., даже возникла гипотеза (на основе довольно поздних татарских легенд) о локализации именно на этом месте первоначальной Казани – “Старого городища”. Но археологические наблюдения при строительстве на этом месте Ленинского мемориала, проводимые А.Х. Халиковым в 1985 г., показали отсутствие здесь каких-либо следов легендарного “Старого городища” [9].

Главным сооружением этого компактного монастырского комплекса являлся каменный трехглавый храм во имя Св. Троицы с приделом в честь Св. Великомученика Феодора Стратилата, построенный в 1700 г. Центральная часть церкви (собственно храм) представляла собой кубический объем – двухсветный бесстолпный четверик, перекрытый глухим сомкнутым сводом с четырехскатной кровлей. Вдоль центральной оси (север-юг) были выстроены в ряд три главки луковичной формы, покрытые железом (традиционно листами по диагонали). Главки высоко поднимались над плоскостью кровли на вытянутых глухих барабанах. Барабаны были декорированы аркатурно-колончатými поясками. Центральная главка доминировала над крайними главками не только за счет своих больших геометрических размеров и центрального барабана, но и возвышающегося над ней массивного кованого креста. Алтарная часть храма (в четыре окна) была просторной. На центральной апсиде было фальшокно, полностью повторяющее габариты и декор соседних с ним окон. Алтарь был перекрыт сомкнутым полусводом – конхой. С северной стороны к храму примыкал придел в честь Святого Великомученика Федора Стратилата. Декоративные элементы на этом одноэтажном объеме полностью повторяли элементную базу основного храма, что свидетельствует об их одновременной постройке. На завершении оси северного придела возвышалась над всеми объемами храма шестиярусная колокольня, которая в основании по первому ярусу имела четверик, на нем в три яруса – восьмерик и еще два яруса пропорционально уменьшающихся восьмериков. Увенчана колокольня была граненой главкой. Звонница состояла из четырех медных колоколов весом по мере убывания – 102 п. 29 ф., 45 п., 10 п. 25 ф., 4 п. 26 ф. и 4-х звончиков. С храмом колокольня была объединена одноэтажным корпусом (более поздней постройки) в единый фасад с трапезной и храмом. В нем располагались помещения для трапезной и две кельи, а также кухня, хлебня и кладовая с окном на паперть. С запада позже была пристроена одноэтажная под одну крышу церковная сторожка.

На фасаде кубического объема храма в центре под карнизными тягами был изображен образ Богоматери, заключенный в круглый медальон – символический круг славы. Позже на этом же фасаде были расписаны ниши с циркульными завершениями, симметрично расположенные между окнами нижнего уровня. Всего



таких ниш было три. Настенные росписи были и в прямоугольной нише фальшокна, на центральной абсиде. Также были расписаны плоскости стены под незамкнутыми бровками наличников окон на уровне первого этажа на протяжении трапезной, храма и апсид. Наличники северного фасада расписаны не были. Сказать о сюжете росписей я затрудняюсь, поскольку они с трудом просматриваются на фотоизображениях и большинство из них загорожено деревьями, росшими в палисаднике перед церковью. В крайней правой нише виден силуэт святого вполоборота с опрятной округлой бородой. В центральной нише предположительно были изображены три фигуры в полный рост. Возможно, это образы Святой Живоначальной Троицы, в честь которой назван храм. Упоминания о написании фасадных росписей в документах мне не встречались. Но если анализировать фотографии разных лет, можно с уверенностью сказать, что медальон в центре фасада был написан раньше остальных упомянутых мною росписей. Он фигурирует на фотографиях Аршаулова, Локке (приблизительно 1880-е гг.), в то время, как прочие изображения появились только на фотографиях Бренинга и их написание можно отнести к самому началу XX века. Вероятнее всего, росписи были масляные, а не фресковые, поскольку на фотографиях, выполненных с высокой степенью качества Дульским в 30-е годы XX века, видны следы от соскобленных изображений, которые наглядно говорят о технике утраченных росписей.

В храм вели деревянные двери с медными ручками. На левой двери был изображен Архангел Гавриил, а на правой – Архангел Михаил. Предалтарный иконостас в храме был трехъярусный, деревянный с позолоченной резьбой, в нем царские врата с такой же позолоченной резьбой, с традиционными живописными изображениями. Иконы второго и третьего яруса были живописные. В центре второго яруса находилась икона в медной ризе – Тайная вечеря. Иконостас придела в честь Св. Великомученика Феодора Стратилата был одноярусным с деревянной резьбой, позолоченной по белому фону, и имел полукруглое завершение с семью медальонами. В центральном медальоне была изображена Пресвятая Троица, по бокам – 12 Пророков (по два в каждом медальоне), а на царских вратах сверху – в специальном медальоне – образ Успения Пресвятой Богородицы [7]. Главная святыня монастыря – икона Божьей Матери Федоровской – располагалась на особом месте в правом приделе, слева от царских врат. Местно-чтимая икона была списком с чудотворной явленной иконы из Костромы. Список этот был довольно светлого письма, размером 40 на 53 см, в серебряном поверх позолоченном окладе, украшенном драгоценными камнями. По описанию П. Заринского [10], в Федоровском монастыре из церковных древностей хранилось лишь одно Евангелие конца XVII – начала XVIII веков. У Павловского А.А. [4] еще упоминаются

икона Великомученика Феодора Стратилата древнего письма, пожертвованная в 1607 г., и икона Смоленской Божьей Матери, которая при пожаре 1829 г. обгорела с обратной стороны, а лик ее остался цел и невредим. Подробное описание церковного имущества (храмовых и алтарных икон, ризницы и другого богослужебного имущества) содержат в себе акты по его передаче при закрытии церкви в 1929 г. [7].

По всему периметру Федоровский монастырь был обнесен оградой – неотъемлемым атрибутом любого монастыря. Каменной (выложенной из кирпича) стена была только вдоль южной границы, то есть со стороны города. С прочих сторон стена была деревянной, устроена из горизонтально настеленных досок на высокие вертикальные деревянные опоры. В каменной ограде были устроены Святые врата, выходящие на пересечение улиц – б. Односторонка Федоровской (Крутой переулочек) с б. Верхней Федоровской (Олькеницкого). Они состояли из проездных ворот и двух калиток, симметрично расположенных вокруг них. И ворота, и калитки сверху замыкались циркульными арками, обрамленными архивольтами. Ворота венчал остроконечный кокошник, а над калитками были устроены громоздкие аттики. С двух сторон ворота и калитки фланкировали пилоны. Их ниши были украшены декоративными лепными ромбами с объемными розетками в виде цветка. Судя по кладке, каменная ограда и ворота были выстроены одновременно во второй половине XIX века. От них к входу в храм сквозь декоративный палисадник вела диагональная аллея, огороженная с двух сторон низким деревянным заборчиком. Декоративный палисадник был разбит перед церковью в 80-е годы XIX века. После того, как деревья выросли, штакетник был снят. Палисадник был засажен преимущественно лиственными (березами, липами, рябинами и др.) и отчасти хвойными (молодыми соснами и расположенной близко к церкви группой елей) деревьями.

В ограде монастыря, кроме собора с колокольней, располагались строения жилого и хозяйственного назначения. Все эти постройки, ничем не примечательные с архитектурной точки зрения, лишней раз подчеркивали значимость монастырского храма. Вдоль западной границы монастыря вытянулись друг за другом просторное каменное здание, в котором находился заводик по изготовлению восковых свечей, деревянный одноэтажный флигель на четыре кельи и старое здание церковно-приходской школы, которое с 1910 г. было приспособлено под живописные мастерские и 4 кельи. На берегу р. Казанки тоже стояли монастырские кельи. Так, в 1901 году там был построен протяженный двухэтажный деревянный на каменном фундаменте корпус. На первом его этаже располагались 12 келий для сестер, а на втором – помещения для настоятельницы и рукодельные мастерские.

По правую сторону от Святых врат в 1910 г. был



построен деревянный на каменном фундаменте флигель, почти квадратный в плане 10 на 9 аршин (7,1х6,4 м). В нем располагались больничная палата на 3 кровати и три кельи для сестер. Напротив этого здания стояли два погреба под одной крышей. Кроме перечисленных строений, в ограде монастыря находились ещё деревянные службы, каретник, просфоропекарня и баня.

Стоит отметить и просветительскую роль Федоровского монастыря. Он был причастен к истории становления Казанской духовной семинарии. В 1727 году монастырь был приписан к архиерейскому дому, но очень ненадолго. В этот же год при преемнике митрополита Тихона Сильвестре (Холмском) при Федоровском монастыре была устроена славяно-латинская школа. Для нее было построено особое школьное помещение с покоем для учителя и студентов. Эта постройка обошлась в 250 руб. Деньги на строительство поступили из семинарских доходов. То, что это учреждение разместили в Федоровском монастыре, можно объяснить стремлением соответствовать всем правилам Регламента: “образом монастыря, вдали от шума городского на высоком и веселом месте” [11]. Это место отвечало всем этим требованиям. Однако, славяно-латинская школа просуществовала при Федоровском монастыре недолго. В 1733 году она была переведена еще дальше от города – в Зилантов монастырь и стала называться семинарией. Со временем число учеников и учителей возросло, в монастырских стенах семинарии стало крайне тесно, в связи с этим в 1734 году вблизи Петропавловского собора было заложено обширное фундаментальное здание специально для духовной семинарии (в настоящее время его занимает геологический факультет КГУ). Но свою социально-просветительскую роль Федоровский монастырь исполнял практически до своего закрытия. Во второй половине XIX века неподалеку от монастыря, к северу от него, на монастырской земле в каменных зданиях размещался Ольгинский детский приют духовенства Казанской епархии. Однако, несмотря на его местоположение, он был в ведении Епархиального духовенства, а не Федоровского монастыря. А вот Федоровская школа при монастыре на протяжении многих десятилетий оказывала неоценимую услугу для образования бедного люда, проживающего в округе монастыря. В “Известиях по Казанской епархии” за 1895 год дается отчет о строительстве в 1892 году нового здания школы при монастыре, осуществленном за Правительственный счет [12]. Отчет содержит очень подробное описание этого здания, сведения о его габаритах и местоположении, благодаря чему было несложно определить это здание на планах и фотографиях этого времени. Новое строение школы было возведено по проекту (выполненному совершенно безвозмездно) архитектора С. Тынкасова на месте старого ветхого зданьица, которое вмещало в себя не более 10-12 человек. Новый класс во время духовно-нравственных чтений вмещал до 100 человек. Здание было выстроено скромно, но добротнo и удобно: 2-этажное, на каменном

фундаменте и обшито тесом. Крыша его покрыта была железом. Гребень её и карнизы украшала резьба. Окна обрамляли скромные наличники с треугольными завершениями. Над парадным крыльцом был установлен крест. В здании располагались по тем временам просторный класс (6,5х5,5 м), оборудованный на 50 человек, две комнаты учителя, комната для 5-6 учеников-сирот и помещение для сторожа, объединенное с гардеробом для учащихся. Высота всех помещений была одинаковая – 3 м. Общая площадь школьного здания составляла 91 кв. м. Западный фасад с парадным крыльцом и семью окнами с видом на апсидную часть храма был обращен в небольшой палисадник. Восточный фасад с шестью окнами выходил в вытянутый вдоль здания монастырский садик. В сад можно было попасть из здания через черное крыльцо. Из окон на восток раскрывалась панорама на извилистое русло реки и заливные луга.

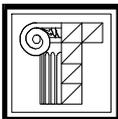
В советские годы деревянное здание школы одиноко стояло над рекой до начала строительства Ленинского мемориала (вплоть до 1982 г.), имело адрес: ул. Олькеницкого, д.15 и использовалось под жилье. Впрочем, и другие деревянные здания (жилые и хозяйственные) нашли себе применение и просуществовали до нового строительства. Они были также определены под жилье, обросли хозяйственными службами, к ним нарезали небольшие земельные участки в качестве огородов и палисадников. А на месте снесенной церкви между вновь образовавшимися домовладениями была разбита спортивная площадка. Судьба самой церкви была типичной для того времени. В 1918 году по проведению в жизнь декрета об отделении церкви от государства монастырский храм был передан женской трудовой общине при монастыре. Вскоре он стал приходской церковью Федоровской религиозной общины [7]. В это лихое время в 1927 г. храм дважды грабили “охотники” за серебром. 10 апреля 1929 года вышло постановление о его закрытии. До сноса в здании церкви размещалась керосиновая лавка.

Поднимать вопрос о восстановлении Федоровского монастыря на прежнем месте с профессиональной точки зрения было бы некорректно. Но его графическое воссоздание несомненно представляет научный интерес. На основе составленного архитектурного описания в результате подробного изучения выявленных архивных и литературных материалов и на анализе графического материала под моим руководством в рамках курса по реставрационному проектированию студентами V курса архитектурного факультета кафедры РиРАН КГАСУ Ахмадеевым Р.Р. и Султановым Л.И. была выполнена графическая реконструкция этого монастырского комплекса и, в частности, его собора с колокольной на конец XIX - начало XX вв.



**Литература**

1. Ратшин А. Полное собрание исторических сведений о всех бывших и ныне существующих монастырях и примечательных церквах России. – М., 1852. – 564 с.
2. Зверинский В.В. Материал для историко-топографического исследования о православных монастырях в Российской империи. Том I. Преобразование старых и учреждение новых монастырей с 1764-95 по 1 июля 1890 г. – СПб., 1890. – 294 с.
3. Богословский Г.К. Справочная книга для Казанской епархии. – Казань: Типолиитография Императорского Университета, 1900. – 490 с.
4. Павловский А.А. Всеобщий иллюстрированный путеводитель по монастырям и святым местам Российской Империи и Афону. – Н. Новгород: Издательское товарищество И.М. Машистова, 1907.
5. Денисов Л.И. Православные монастыри Российской империи. – М., 1908.
6. Клировые ведомости о монастырях, храмах оных, зданиях, угодьях и документах за 1910 год. НА РТ, ф. 4, оп. 142, д. 100. – 713 с.
7. Акт 23 мая 1929 г. о передаче церковных зданий и церковного имущества во исполнение постановления №99 Президиума Центрального Исполнительного Комитета ТССР от 10/11 апреля 1929 г. о закрытии церкви Фёдоровской религиозной общины. НА РТ, ф. Р-5852, оп. 1, д. 654.
8. Покровский И.М. К истории Казанских монастырей до 1764 года. – Казань: Типолиитография Императорского университета, 1902. – 80 с., приложение – XXV с.
9. Ситдииков А.Г. Археологическое изучение Казани (XIX–XXI вв.). <http://www.kermen.ru/Arheologia.php> 22.10.2007.
10. Заринский П. Церковные древности г. Казани. // Известия по Казанской епархии издаваемые при Казанской духовной академии. – Казань: Типолиитография Императорского Университета, 1877. – С. 397-410, 428-440.
11. Покровский И.М. Казанский архиерейский дом, его средства и штаты, преимущественно до 1764 г. – Казань: Центральная типография, 1906. – 264 с.
12. Отчет по постройке школы при Феодоровском монастыре г. Казани, при производстве общественных работ в 1892 году на Правительственный счет // Известия по Казанской епархии издаваемые при Казанской духовной академии. – Казань: Типолиитография Императорского университета, 1895. – С. 107-109.



УДК 624.012

**Ф.Х. Ахметзянов** – кандидат технических наук, доцент

**О.В. Радайкин** – аспирант

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН В БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБЪЁМНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

### АННОТАЦИЯ

Для определения зависимостей параметров поверхностных несквозных трещин рассмотрена задача о растяжении объёмных бетонных элементов (в виде призм). Одна группа элементов содержала нормальную к растягивающим усилиям трещину, а другая – наклонную (задача моделировалась методом конечных элементов в программном комплексе Ansys). Определены коэффициенты интенсивности напряжений трёх типов, для чего написан макрос (подпрограмма) на языке APDL, вычисленные коэффициенты 2-го и 3-го типа ( $K_I$ ,  $K_{II}$ ) в рассматриваемых задачах использованы впервые. На основе этих коэффициентов установлены соотношения между длиной, шириной раскрытия, заглублением трещин, найдены границы зоны предразрушения, дана оценка остаточной несущей способности элементов с трещиной. Показано, что область разгрузки напряжений вокруг трещины имеет форму ромба. Полученные зависимости и процедура получения численных значений  $K_I$  и  $K_{II}$  составляют научную новизну.

**F.H. Ahmetzjanov** – candidate of technical sciences, associate professor

**O.V. Radaikin** – post-graduate student

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## TO DEFINITION OF DEPENDENCE BETWEEN SURFACE CRACKS' PARAMETERS IN SOLID CONCRETE AND REINFORCED-CONCRETE ELEMENTS

### ABSTRACT

To determine the dependencies of surface non-cutting cracks the problem of the tension of concrete solid elements (in the form of prisms) was considered. One group of elements contained the crack normal to tensile stress, while another contained the inclined crack (the task was simulated by finite elements method in Ansys software). The coefficients of three types of stress intensity factors were defined; for that the macro (Sub) in APDL language was written; the calculated coefficients of the 2nd and 3d type factors ( $K_I$  and  $K_{II}$ ) in these tasks were used for the first time. Based on these factors, the dependencies between the length, width disclosure and depth of cracks were established, the borders of process zone were found, and the residual bearing capacity of the elements with cracks was evaluated. It was shown that the discharge stress area around the cracks was in the form of diamond. The received dependencies and the procedure for obtaining of the numerical values  $K_I$  and  $K_{II}$  constitute the scientific novelty.

Ранее нами получены зависимости между длиной, заглублением и шириной раскрытия нормальной трещины в стеновой панели. Цель этой работы – найти те же соотношения для объёмной задачи более общего вида (на примере призматических стержней с одиночной несквозной трещиной).

Для достижения цели решаются следующие задачи:

- проводится моделирование напряженно-деформированного состояния объёмных бетонных элементов с одиночной полуэллиптической трещиной (как с нормальной, так и с наклонной) методом конечных элементов;
- вычисляются коэффициенты интенсивности напряжений для трещин с различным соотношением длины и заглубления, определяется ширина раскрытия трещины;
- определяются границы зоны предразрушения в прифронтной области макротрещины и зоны релаксации напряжений.

Таким образом, рассматривается растяжение объёмных бетонных элементов (в виде призм 1x1x1 м), имеющих по одной поверхностной полуэллиптической трещине. Одна группа элементов содержит нормальные к растягивающим усилиям трещины, а другая – наклонные (рис. 1).

Методика исследований строится на тех же допущениях, что и для ранее рассмотренной в наших исследованиях стеновой панели, т.е. справедливой остается линейная механика квазихрупкого разрушения для бетона как однородного упругого материала.

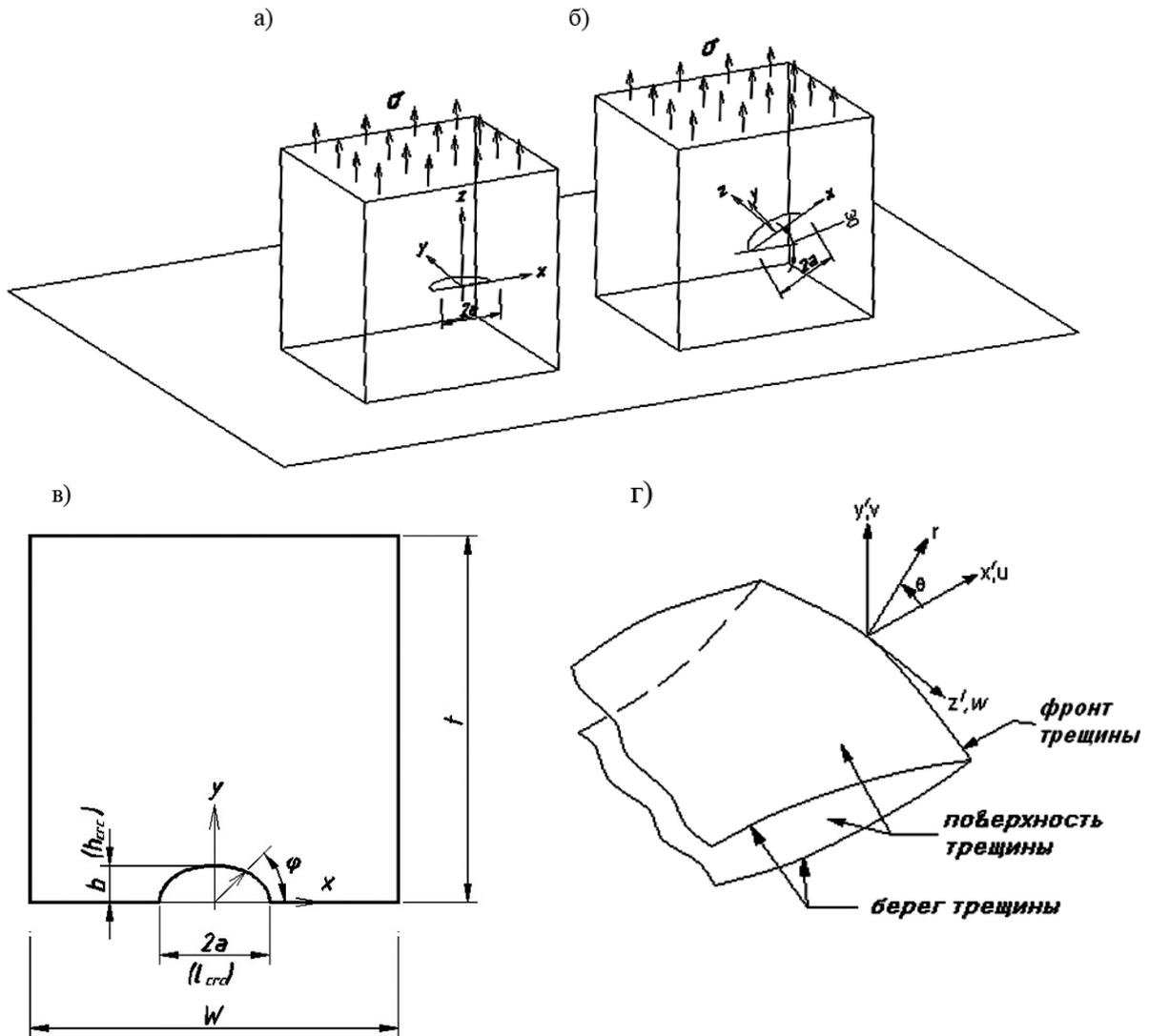


Рис.1. Расчетная модель объёмного бетонного элемента с боковой трещиной: а) с трещиной нормального отрыва, б) с наклонной трещиной с углом наклона  $30^\circ$ , в) локальная система координат в центре полуэллиптической трещины, г) локальная цилиндрическая система координат в произвольной точке фронта трещины

Для нахождения зависимостей между параметрами несквозной трещины и определения коэффициентов интенсивности напряжений используется метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в программном комплексе Ansys.

В работе рассматриваются только макротрещины (сопоставимые с сечением образцов). Так, длина их составляет  $l_{crc} = 2a = 0,3\text{ м} - const$ , заглубление  $h_{crc} = b = 0,1...0,15\text{ м}$  ( $a, b$  – полуоси эллипса). Отметим, что длина трещины и её заглубление (соответственно большая и малая полуоси эллипса) связаны между собой

уравнением  $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$  или  $\frac{4x^2}{l_{crc}^2} + \frac{y^2}{h_{crc}^2} = 1$ , где  $x, y$  – координаты произвольной точки фронта трещины. Причем

одним из недостатков предложенной геометрической модели трещины является ограниченность возможного

соотношения  $\frac{2a}{b} = \frac{l_{crc}}{h_{crc}} = 1,33...3,33$  (в работе принимается  $\frac{l_{crc}}{h_{crc}} = 1,5...3$ ). Поэтому МКЭ комплекса Ansys

применим только для призматических или массивных элементов (колонны, плотины) и плохо подходит для расчета

объёмных балок-стенок и плит. Кроме того, необходимо соблюсти условие  $\frac{2a}{W} < 1$ , где  $W$  – ширина образца.



Пространство в прифронтной зоне трещины, где, как известно, возникает особенность в полях перемещений и напряжений, разбивается специальными изопараметрическими 20-узловыми конечными элементами Solid186, что предложено в руководстве пользования Ansys (рис. 2).

В качестве примера материал образцов принят из тяжелого бетон В27,5 с характеристиками  $R_{bt,ser} = 1,02 \text{ МПа}$ ,  $E_b = 30200 \text{ МПа}$ ,  $K_{Ic} = 0,405 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$ . Модуль упругости материала при моделировании не варьируется, так как зона концентрации напряжений (псевдопластических деформаций) невелика и нелинейностью модуля в ней можно пренебречь, а в остальной части сечения  $E_b - const$ .

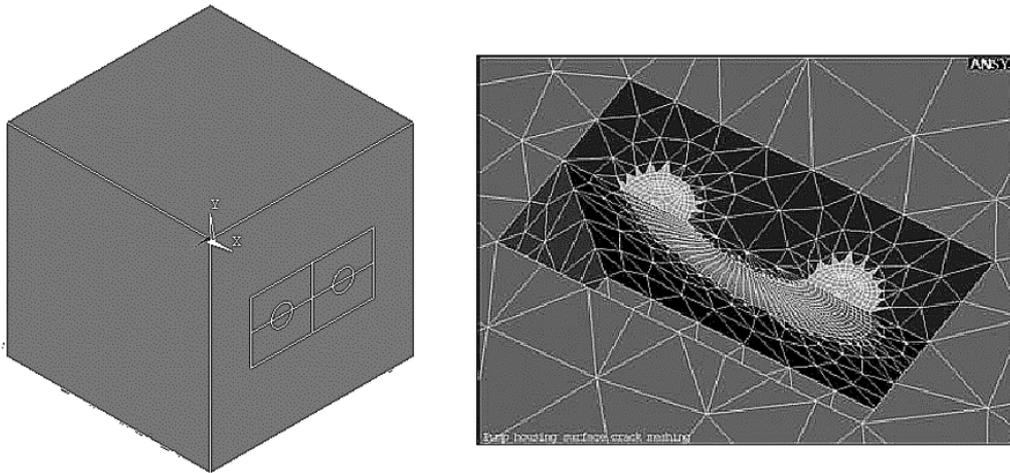


Рис.2. Этап твердотельного моделирования полуэллиптической трещины в объеме (слева – разбиение бетонного элемента на участки, справа – конечно-элементное разбиение объема вокруг фронта трещины)

Для вышеприведенных двух типов бетонных элементов (рис. 1 а, б) численно определяются КИН нормального отрыва  $K_I$ , поперечного  $K_{II}$  и продольного  $K_{III}$  сдвига (для нормальной трещины только  $K_I$ ) при различном значении полярного угла  $0^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$  (см. рис. 3, 4 а-в) и для различного заглубления трещины  $0,1 \leq h_{cr} \leq 0,15 \text{ м}$ . Для этого используется тот же аппроксимирующий алгоритм, что и в плоской задаче [1], только в более общем виде для формул [2]:

$$\begin{aligned}
 K_I &= \sqrt{2p} \frac{G}{1+k} \lim_{r \rightarrow 0} \frac{|\Delta v|}{\sqrt{r}}, & K_I &= \sqrt{2p} \frac{G}{1+k} \lim_{r \rightarrow 0} (A_I + B_I r); \\
 K_{II} &= \sqrt{2p} \frac{G}{1+k} \lim_{r \rightarrow 0} \frac{|\Delta u|}{\sqrt{r}}, & K_{II} &= \sqrt{2p} \frac{G}{1+k} \lim_{r \rightarrow 0} (A_{II} + B_{II} r); \\
 K_{III} &= \sqrt{2p} \frac{G}{1+k} \lim_{r \rightarrow 0} \frac{|\Delta w|}{\sqrt{r}}, & K_{III} &= \sqrt{2p} \frac{G}{1+k} \lim_{r \rightarrow 0} (A_{III} + B_{III} r).
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$K_I = \sqrt{2p} \frac{G}{1+k} A_I; \quad K_{II} = \sqrt{2p} \frac{G}{1+k} A_{II}; \quad K_{III} = \sqrt{2p} \frac{G}{1+k} A_{III} \tag{2}$$

где  $\Delta u$ ,  $\Delta v$ ,  $\Delta w$  - смещение одной поверхности трещины относительно другой в соответствующих координатных осях (рис. 3г), причем  $\Delta v$  - отвечает расклиниванию берегов трещины,  $\Delta u$  - их относительно поперечному сдвигу, а  $\Delta w$  - их антиплоскому продольному сдвигу;  $A_I$ ;  $A_{II}$ ;  $A_{III}$ ,  $B_I$ ;  $B_{II}$ ;  $B_{III}$  - постоянные коэффициенты для линейных функций, аппроксимирующих перемещения в узлах конечных



элементов на берегах трещины;  $G = \frac{E}{2(1+m)}$  – модуль сдвига; коэффициент  $k = 3 - 4m$  для плоско-деформированного состояния,  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Отметим, что  $K_I$  нормальной трещины определяется по существующей аналитической зависимости [3]:

$$K_I = \frac{\sigma \sqrt{pb}}{E_k} F_s \left[ \frac{b}{a}, \frac{b}{t}, \frac{a}{W} j \right] \quad (3)$$

где  $F_s$  – аппроксимирующая функция;  $\sigma$  – номинальные растягивающие напряжения;  $E_k$  – полный эллиптический интеграл второго рода;  $t$  – толщина образца.

На рис. 3 приведено сопоставление численного и аналитического решения  $K_I$  в образце первого типа при напряжении  $\sigma = 1 \text{ МПа}$  и соотношениях  $\frac{l_{cr}}{h_{cr}} = 2; 2,4; 2,73; 3$ . Расхождение результатов не превышает 5%, что является удовлетворительным.

По рисунку 3 можно сделать следующие выводы:

- при небольшом заглублении ( $b < a$ )  $K_I$  максимален, когда  $\varphi = 90^\circ$  – трещина с ростом нагрузки будет развиваться за счет заглубления центральной части фронта;

- при  $b \approx \frac{1}{1,2} a$   $K_I|_{\varphi=0^\circ} = K_I|_{\varphi=90^\circ}$  – трещина может как заглубляться, так и удлиняться за счет продвижения её

кончиков по поверхности бетона;

- при  $b \geq a$   $K_I$  максимален при  $\varphi = 0^\circ$  – трещина будет удлиняться;

- причем при  $b \geq \frac{1}{1,2} a$   $K_I|_{\varphi=90^\circ, b \geq \frac{1}{1,2} a} \approx K_I|_{\varphi=90^\circ, b=a} - const$ .

Очевидно, что нижние две кривые графика, построенные по формуле (3), имеют более одного экстремума из-за погрешности аппроксимации функции  $F_s$ . В то же время экспериментальные точки по МКЭ описываются плавной кривой с одним экстремумом.

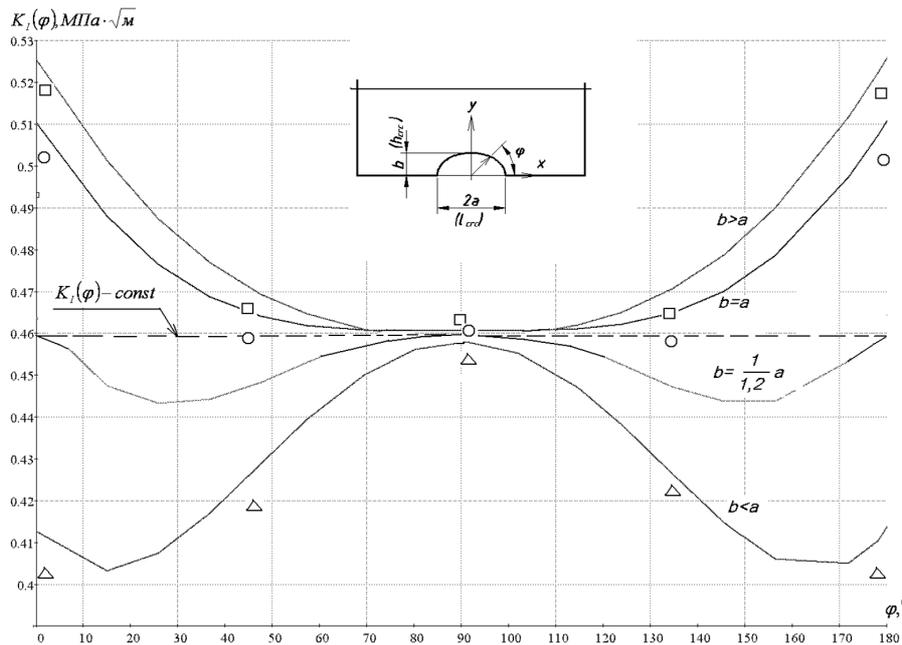


Рис.3. График сопоставления аналитического [3] и численного определения  $K_I$  (кривые линии на графике соответствуют

формуле (3));  $\square$  – численное решение при  $\frac{2a}{b} = \frac{l_{cr}}{h_{cr}} = 1,5$ ,  $\circ$  – то же при  $\frac{2a}{b} = 2$ ,  $\Delta$  – при  $\frac{2a}{b} = 3$



Поскольку в процессе своего развития трещина может удлиняться и заглубляться только одновременно, то  $b \approx \frac{1}{1,2} a - const$  ( $l_{cr} \approx 2,4h_{cr}$ ). Варианты соотношений  $b \neq \frac{1}{1,2} a$  возможны только при искусственно созданной трещине, либо когда вдоль фронта трещины имеется некоторая неоднородность жесткостных свойств материала (за счет включений крупного заполнителя или арматуры).

Таким образом, при  $S = 1 МПа$  и  $b = 1/1,2 a$   $K_I|_{\varphi=90^\circ, b=a} = 0,46S\sqrt{a}$ . Тогда критические напряжения  $S_{cr} = S \frac{K_{IC}}{K_I|_{\varphi=90^\circ, b=a}} = 1,309 МПа$  (ОНС). Полученная ширина раскрытия нормальной трещины равна

$a_{cr} = 0,0423 S МПа \cdot мм$ , тогда предельное раскрытие  $a_{cr}^* = a_{cr} S_{cr} = 0,0554 мм$  лежит в интервале опытных значений  $0,001 \dots 0,06 мм$  [4].

Вышеописанный численный метод применяется в работе и для наклонной трещины. Для чего, помимо  $K_I$  (есть аналитическая формула [3]), численно определяются  $K_{II}$  и  $K_{III}$  (рис. 4 а-в) – данные по их вычислению в литературе не приводятся. Этот этап моделирования и процедура нахождения  $K_{II}$  и  $K_{III}$  составляют научную новизну работы и практическую её ценность.

С целью автоматизации построения топологической схемы модели, разбиения на конечные элементы области вокруг фронта трещины, вычисления КИН написан макрос на встроенном в Ansys языке APDL.

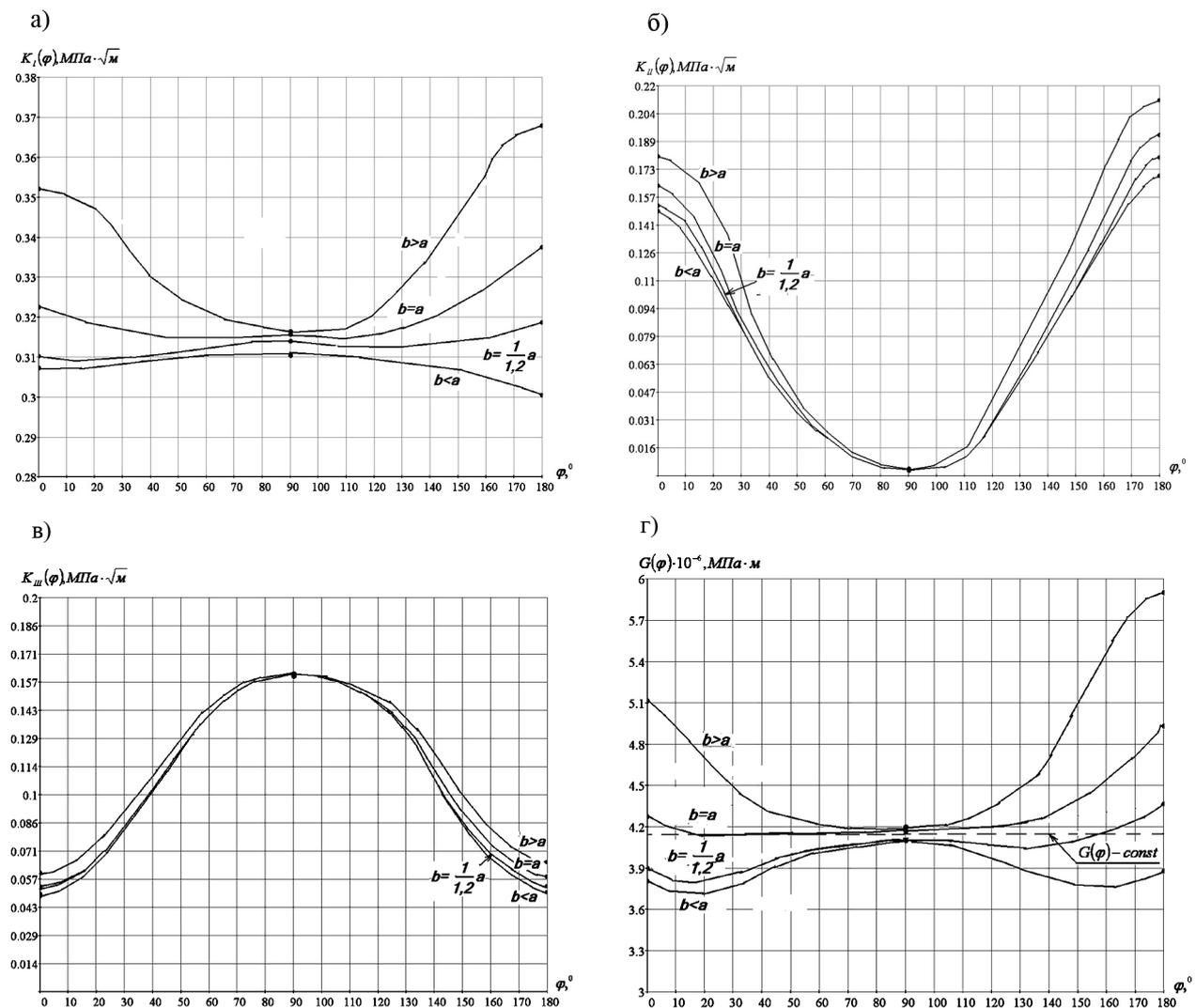


Рис.4. Параметры механики разрушения для наклонной трещины



Чтобы определить соотношение  $\frac{2a}{b}$ , при котором трещина будет удлиняться и заглубляться одновременно, учитываются все три коэффициента через величину интенсивности высвобождения упругой энергии деформирования (рис. 4 г):

$$G = G_I + G_{II} + G_{III} = \frac{1-n^2}{E} (K_I^2 + K_{II}^2) + \frac{1+n}{E} K_{III}^2 \quad (4)$$

Рассуждая так же, как и относительно трещины нормального отрыва, установлено, что для наклонной трещины соотношение  $\frac{2a}{b}$  непостоянно: для верхней половинки трещины ( $0 \leq j \leq 90^0$ )  $b \approx \frac{1}{1,2} a - const$  ( $l_{cr} \approx 2,4h_{cr}$ ), а для нижней ( $90 < j \leq 180^0$ ) –  $b \approx a - const$  ( $l_{cr} \approx 2h_{cr}$ ). В этих рассуждениях вместо  $K_I$  рассматривается обобщённая характеристика  $G$ . Для одновременного роста трещины по всему фронту обеспечивается условие  $G(j) \approx G|_{j=90^0, b=a} - const$  (пунктир на рис. 6 г), что возможно только при непостоянстве соотношения  $\frac{2a}{b}$ .

Таким образом, при  $s = 1МПа$  и  $b = \frac{1}{1,2} a$  при  $0 \leq j \leq 90^0$ ,  $b = a$  при  $90 < j \leq 180^0$ , получены следующие значения КИН и интенсивности высвобождения энергии (табл.).

Таблица

Значения КИН и G в зависимости от полярного угла  $\Phi$

$\Phi$	$K_I / s, \sqrt{m}$	$K_{II} / s, \sqrt{m}$	$K_{III} / s, \sqrt{m}$	$G / s, m$
$0^0$	0,352	0,180	0,060	$4,2 \cdot 10^{-6}$
$90^0$	0,316	0,004	0,160	
$180^0$	0,353	0,182	0,061	

По рисункам 4 а-в и данным таблицы можно видеть, что в области кончиков фронта трещины в процесс её распространения большой вклад вносит механизм поперечного сдвига ( $K_{II}$  – максимален). Напротив, в середине фронта трещины  $K_{II}$  – минимален, а  $K_{III}$  – максимален, т.е. здесь большую роль играет механизм продольного сдвига (из плоскости трещины).

Интенсивность высвобождения энергии в момент перед разрушением равна  $G_{cr} = G \frac{K_{IC}}{K_I|_{j=0^0}} = 4,83 \cdot 10^{-6} МПа \cdot м$ .

Критические напряжения (ОНС)  $s_{cr} = s \frac{K_{IC}}{K_I|_{j=0^0}} = 1,15 МПа$ , что меньше, чем для нормальной трещины такой

же длины. Ширина раскрытия наклонной трещины равна  $a_{cr} = 0,0350 s МПа \cdot мм$ , тогда предельное раскрытие  $a_{cr}^* = a_{cr} s_{cr} = 0,0403 мм$ , что также меньше, чем это для нормальной трещины –  $a_{cr}^* = 0,0554 мм$ .

Таким образом, получены следующие зависимости:  $\frac{l_{cr}}{a_{cr}} = \frac{300}{0,0554} = 5415$  – нормальная трещина,

$\frac{l_{cr}}{a_{cr}} = \frac{300}{0,0403} = 7444$  – наклонная трещина. Эти соотношения согласуются с экспериментальными данными

работы [5]:  $a_{cr} = (1600...10200)^{-1} l_{cr}$  и в среднем  $a_{cr} = 3190^{-1} l_{cr}$ .

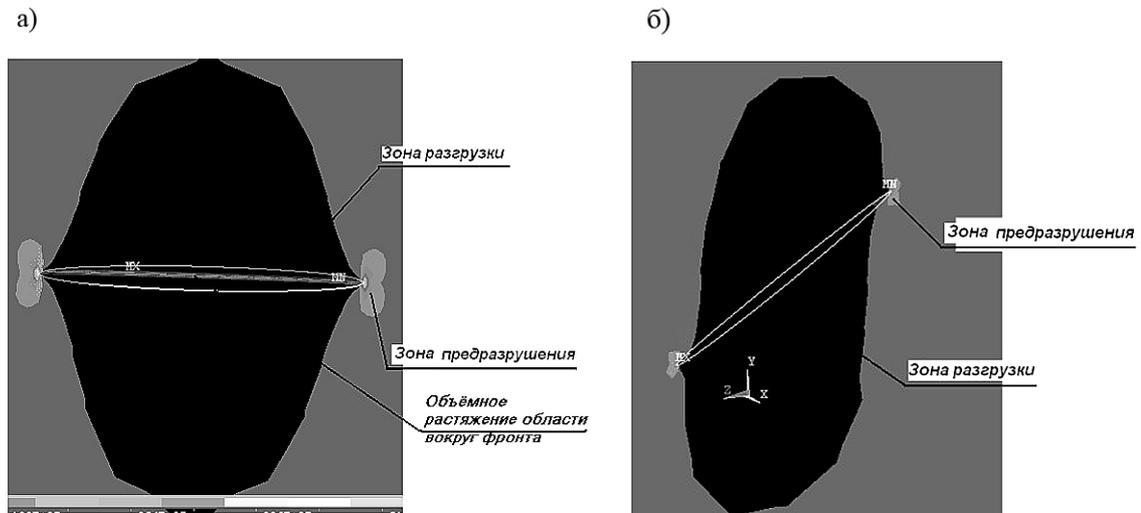


Рис. 5. Изополя главных растягивающих напряжений  
(а – трещины нормального отрыва, б – для наклонной трещины с углом наклона 30°).

Из рассмотрения изополей напряжений (рис. 5) вытекает, что вдоль фронта трещины возникает объемное растяжение. Зона предразрушения вдоль фронта по форме сходна с подобной областью для плоской задачи [1], и её размер намного меньше длины трещины и размеров образца. Это является основным условием применимости линейной механики разрушения [6] для рассматриваемой задачи.

Размер зоны предразрушения в вершине нормальной трещины для тяжелого бетона В27,5 равен

$$d = \frac{K_{IC}^2}{3p(1,16R_{bt,ser})^2} = 12,4\text{мм} < l_{crc} = 300\text{мм}, \quad d \ll W = 1000\text{мм}.$$

Для наклонной трещины эта зона в образце из бетона одного класса прочности примерно на 18% меньше, чем для нормальной, и определяется формулой [6]

$$d = \frac{G_{cr}E}{3p(1,16R_{bt,ser})^2} = 10,6\text{мм}.$$

Также отметим, что область разгрузки напряжений (рис. 5) имеет форму не окружности, как это принято в классических работах Гриффитца, а форму ромба с большей диагональю длиной  $2l_{crc}$ .

### Выводы

Рассмотрена задача о растяжении объёмных бетонных элементов (в виде призм 1x1x1 м), имеющих по одной поверхностной полуэллиптической трещине. Одна группа элементов содержала нормальные к растягивающим усилиям трещины, а другая – наклонные (задача моделировалась методом конечных элементов в программном комплексе Ansys). Определены коэффициенты интенсивности напряжений трёх типов, для чего написан макрос (подпрограмма) на языке APDL, вычисленные коэффициенты 2-го и 3-го типа в рассматриваемых задачах использованы впервые. Установлены соотношения между длиной, шириной раскрытия, заглублением трещин:

$$l_{crc} \approx 2,4h_{crc}, \quad \frac{l_{crc}}{a_{crc}} = 5415 \quad (a_{crc} = 0,0554) \text{ – для нормальной трещины; } l_{crc} \approx (2...2,4)h_{crc}, \quad \frac{l_{crc}}{a_{crc}} = 7444$$

$(a_{crc} = 0,0403)$  – для наклонной трещины. Установлено, что зона предразрушения в вершине наклонной трещины

$d = 10,6\text{мм}$  на 18% меньше, чем для нормальной  $d = 12,4\text{мм}$ . Показано, что область разгрузки напряжений вокруг трещины имеет форму ромба.

Полученные соотношения, размер зоны предразрушения и ширина раскрытия трещин подтверждается опытными данными [4,5] и имеют научную новизну. Также научную новизну представляет собой процедура численного определения коэффициентов  $K_I, K_{III}$  для наклонной трещины.



### Литература

1. Радайкин О.В. К оценке остаточной несущей способности стеновых железобетонных стеновых панелей методами механики разрушения // Материалы 58-ой Республ. науч. конф. – Казань: КГАСУ, 2006. – С. 86-92.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1, Т. 2. – М.: Наука, 1970. – 547 с., 586 с.
3. Мураками Ю. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений. Т. 1, Т. 2. – М.: Изд-во «МИР», 1990. – 448 с., 566 с.
4. Почтовик Г.Я., Липник В.Г., Филонидов А.М. Дефектоскопия бетона ультразвуком в энергетическом строительстве. – М.: Энергия, 1977. – 121 с.
5. Ахметзянов Ф.Х., Арсентьев Е.З., Мухаметзянов И.А. К закономерностям развития макротрещин в наружных стенах из монолитного керамзитобетона в жилых домах при эксплуатации // Тезисы докладов 3-й Всеросс. конференции «Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции НАСКР-2001», Ч. I. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2001. – С. 160-165.
6. Зайцев Ю.В. Механика разрушения для строителей. – М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.



УДК 624.012.35/45

**Ф.С. Замалиев** – кандидат технических наук, доцент

**Ш.Н. Хайрутдинов** – инженер

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗОК

### АННОТАЦИЯ

Целью настоящих экспериментальных исследований являлась оценка влияния длительных нагрузений на напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонных балок. Выявлены закономерности распределения: деформаций по высоте сечения для каждой серии балок; сдвиговых деформаций на границе «сталь-бетон»; прогибов балок в зависимости от степени податливости стыка. Приведены диаграммы смещений и прогибов в зависимости от длительности нагружения.

**F.S. Zamaliev** – candidate of technical science, associate professor

**Sh.N. Khayrutdinov** – engineer

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

## THE EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF COMPOSITE STEEL AND CONCRETE BENDING CONSTRUCTIONS UNDER SUSTAINED LOADS

### ABSTRACT

The purpose of this experimental investigation is the estimation of the influence of sustained loads upon the stressed and deformed condition of composite steel and concrete beams. The following patterns have been revealed: the strain distribution throughout the section for each beam series; the shearing strain distribution of steel-concrete connection; the bending deflection distribution subject to connection compliance degree. The diagrams of displacements and deflections depending on load duration are given.

Работа сталежелезобетонных конструкций при длительных нагружениях в настоящее время недостаточно изучена, поэтому необходимы исследования их напряженно-деформированного состояния при длительных нагружениях.

Целью настоящих экспериментальных исследований являлась оценка влияния длительных нагрузений на прочность, деформативность и напряженно-деформированное состояние сталежелезобетонной балки.

В качестве опытных образцов для испытания на малоцикловую прочность были запроектированы 12 сталежелезобетонных балок, составленных из двугавра №12 (сталь С 245) длиной 2000 мм и бетонной плиты размерами 2000х400х50 мм. Соединение стальной балки и бетонной плиты осуществлялось путём установки вертикальных анкеров высотой 40 мм, изготовленных из арматурных стержней четырех видов: Ø6 А-III, Ø8 А-III, Ø10 А-I, Ø10 А-III.

Были разбиты на четыре группы, по 3 в каждой группе, в соответствии с видом использованного анкера. Анкеры на балках приварены в два ряда с помощью электродуговой сварки, в крайних третях

(длиной по 700 мм) шаг принят равным 100 мм, а в средней части (длиной 600 мм) – 150 мм.

Формирование опытных образцов проводилось в опалубках, путём заливки стальных балок бетоном класса В30, с одновременным армированием верхней части плиты сеткой из проволоки Ø4 Вр-I и последующим уплотнением глубинным вибратором.

В качестве схемы нагружения выбрана схема в виде свободноопертой балки, нагруженной в третях пролета двумя сосредоточенными силами, расчетным пролетом 1900 мм. Нагрузка на балку передавалась посредством металлической траверсы в двух точках, через два катка Ø40 мм и длиной 400 мм, один из которых неподвижен. Нагрузку прикладывали по «рычажной» схеме.

В процессе испытания измерялись деформации бетона и стали в зоне чистого изгиба, деформации сдвига вдоль границы «сталь-бетон», а также прогибы в середине пролета балки. Деформации материалов замерялись электротензодатчиками (с использованием автоматического измерителя деформаций – АИД-3); прогибы – линейкой и струной, натянутой между «крепёжами», закрепленными на уровне опор балки;



Таблица

№	Марка	Серия	Вид анкера	Материал маркера
1	БМ-10	1	Ø 6	А-III
2	БМ-11		Ø 6	А-III
3	БМ-12		Ø 6	А-III
4	БМ-25	2	Ø 8	А-III
5	БМ-26		Ø 8	А-III
6	БМ-27		Ø 8	А-III
7	БМ-40	3	Ø 10	А-I
8	БМ-41		Ø 10	А-I
9	БМ-42		Ø 10	А-I
10	БМ-52	4	Ø 10	А-III
11	БМ-53		Ø 10	А-III
12	БМ-54		Ø 10	А-III

сдвиг контакта «сталь-бетон», сжатие бетона и растяжение стальной части балки – индикаторами часового типа.

Оценка воздействия длительной нагрузки производилась путем сравнения несущей способности исследуемого образца при действии длительной нагрузки, с ее несущей способностью при приложении кратковременной статической разрушающей нагрузки (данные взяты из результатов экспериментальных исследований других авторов).

Исследуемые образцы находились под воздействием нагрузки в течение шести месяцев, при этом длительная нагрузка  $P_{max}$  принималась в пределах  $0,85-0,95P_{разр}^{крат}$ . В конце испытаний нагрузку на образцы увеличивали, доводя их до физического

разрушения. Одновременно с измерением деформаций и прогибов проводилось наблюдение за характером образования и раскрытия трещин.

Во всех случаях опытные образцы сталежелезобетонных балок разрушались по нормальному сечению в зоне чистого изгиба из-за местного раздробления бетона сжатой зоны бетонной плиты вследствие развития пластических деформаций в нижней части стальной балки. При этом наблюдалось образование продольной вертикальной трещины в верхней части бетонной плиты по всей длине балки и нормальных трещин в нижней части плиты в зоне чистого изгиба. В нескольких образцах с наиболее податливыми анкерными связями происходил срез анкеров в приопорной части балки и отрыв бетонной

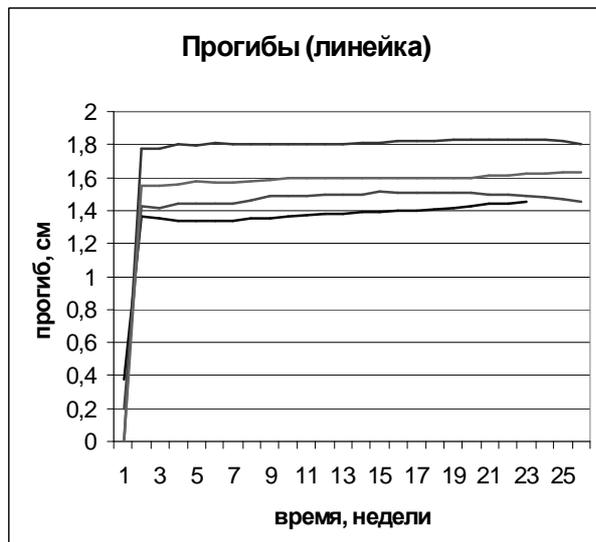


Рис. 1

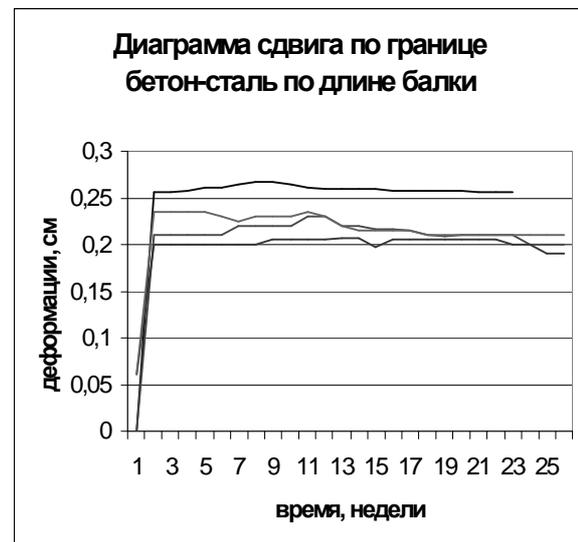


Рис. 2



полки от стальной части. В целом, для всех четырех групп характерно значительное увеличение прогибов в начальных циклах нагружения, дальнейший их медленный равномерный рост, с потерей несущей способности после приложения разрушающей нагрузки. Распределения деформаций по высоте сечения во время действия длительной нагрузки во всех группах характеризуются эпюрой, близкой к треугольной, без разрыва совместности деформаций на контакте «сталь-бетон», который происходил уже непосредственно перед загрузением балки дополнительной нагрузкой до разрушения.

Наименьший сдвиг по границе сталь-бетон, а, соответственно, и наибольшую несущую способность показали балки с анкерами  $\varnothing 10$  А-III. Далее по убывающей –  $\varnothing 8$  А-III. Замыкают группу балки с анкерами  $\varnothing 6$  А-III и  $\varnothing 10$  А-I.

Динамика развития смещения на границе сталь-бетон во всех группах схожа, за исключением некоторых нюансов.

Изменение сдвиговых деформаций с течением времени представлено на рисунке 2. Характер диаграммы изменения «сдвига» по длине балки существенно не меняется от вида используемого анкера.

Прогибы, в зависимости от типа балки, на первой неделе составляли  $1/150L$  –  $1/100L$ , а к моменту разрушения  $1/70L$  –  $1/40L$ ; «выпрямления» балки при снятии нагрузки после разрушения не наблюдалось, что подтверждает пластическую работу материалов сталежелезобетонных балок.

#### Литература

1. Ржаницын А.Р. Составные стержни и пластины. – М.: Стройиздат, 1986. – 314 с.
2. Ржаницын А.Р. Теория ползучести. – М.: Стройиздат, 1968. – 416 с.
3. Прокопович И.Е., Зедгенидзе В.А. Прикладная теория ползучести. – М.: Стройиздат, 1980. – 240 с.
4. Замалиев Ф.С. Сталежелезобетонные конструкции. Новые методы расчета. – Казань, 1997. – 51 с.



УДК 624.01-19+531.16:624.041

**И.Ю. Майстренко** – кандидат технических наук, ассистент  
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

## ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МОСТОВ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

### АННОТАЦИЯ

В работе представлены результаты оценки прочности стальной главной балки пролётного строения моста, полученные детерминированными методами и с использованием статистического моделирования процесса нагружения. Для физического генерирования определяющих параметров оценки использована многофункциональная вычислительная система MathCAD.

**I.J. Maystrenko** – candidate of the technical sciences, assistant  
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

## RELIABILITY ESTIMATION OF BEARING DESIGNS OF METAL BRIDGES BY STATISTICAL MODELING METHOD

### ABSTRACT

The results of an estimation of durability of main steel beam of bridge's flying structure, received by the determined methods and statistical modeling of freight process are presented. For physical generating of estimation defining parameters the multifunctional computing system MathCAD is used.

Для определения работоспособности эксплуатируемых мостовых сооружений возникает необходимость в оценке надёжности несущих конструкций пролётных строений. Одним из направлений методологии решения этой задачи является оценка технического состояния несущих конструкций с использованием статистических методов расчета, например, Монте-Карло [1].

Принципиальный алгоритм решения рассматриваемой задачи методом Монте-Карло сводится, по существу, к статистическому моделированию. На ПЭВМ путем физического генерирования вырабатываются случайные числа – значения параметров нагрузок, геометрических параметров, прочности, параметров, учитывающих конструктивные и эксплуатационные особенности конструкции – с заданным законом распределения. Далее определяется вероятность достижения предельного состояния как вероятность выброса стационарного случайного процесса за допустимый уровень.

В работе рассматривается пример оценки надёжности элемента конструкции методом статистического моделирования. В качестве примера выбрана стальная главная балка пролётного строения моста. Статическая схема моста разрезная, с ездой поверху.

Исходные данные для расчета: пролет  $l = 33$  м; тип поперечного сечения главной балки – сварной

составной двутавр; материал конструкции – сталь марки 15ХСНД по ГОСТ 6713-91 [2] с расчётным сопротивлением по пределу текучести  $R_y = 295$  МПа; геометрические характеристики приведенного сечения главной балки:  $A_0 = 0,083$  м<sup>2</sup>;  $J_x = 0,099$  м<sup>4</sup>;  $W_x = 0,058$  м<sup>3</sup>.

На одну главную балку в середине пролета действуют расчетные усилия (по моменту): от постоянной нагрузки – 11516,2 кН·м; от временной нагрузки А11 – 6439,2 кН·м; от временной нагрузки А11+толпа – 5535,1 кН·м; от временной нагрузки НК80 – 4302,8 кН·м.

Оценим прочность балки по нормальным напряжениям в сечении с максимальным изгибающим моментом  $M_{\max} = 17955,4$  кН·м. Расчетное нормальное напряжение в сечении с учетом ограниченного действия пластических деформаций ( $C = 1,16$ ) составит

$$\sigma_x = \frac{M_{\max}}{C \cdot W_x} = 268,33 \text{ МПа}, \quad (1)$$

а расчетное сопротивление стали с учетом коэффициента условий работы  $m = 0,9$

$$R_y \cdot \delta = 265,50 \text{ МПа}. \quad (2)$$



Таким образом, несущая способность балки по рассмотренному предельному состоянию не обеспечена. Перегруз составляет 1,1%.

Решим эту же задачу методом статистического моделирования.

Выберем первичные параметры, число циклов изменения нагрузок или объемы выборки, параметры функций распределения. За один цикл нагружения будем считать воздействие единицы временной нагрузки на достаточно малую область  $k$ -го звена расчетного элемента.

За один год эксплуатации моста (8760 часов) и расчетной интенсивности движения 15 транспортных средств за 1 час [3] – число циклов изменения нагрузок будет соответствовать  $i = 8760 \cdot 15 = 1,314 \cdot 10^5$  случайных реализаций статистического моделирования.

Статистические исходные данные для рассматриваемого примера сведены в таблицу 1. Так как допуски на толщину проката [4] сопоставимы с глубиной коррозионного поражения, последние учтены в расчетах и заданы распределенными по

равномерному закону. Нестационарность силовых воздействий и прочностных свойств учитывается в расчетах соответствующими параметрами функций с нормальным законом распределения.

На рисунке 1 показана область пересечения функций плотности распределения нормальных напряжений  $p(S)$  и удельной прочности  $p(R)$  рассматриваемой в качестве примера главной балки пролетного строения моста. Эта область представляет наибольший интерес с позиции оценки показателей надёжности конструктивного элемента.

Проведем процедуру статистического моделирования комбинации «нагрузка-прочность». Для этого выполним генерирование случайных чисел с параметрами распределения, принятыми по таблице 1, в объеме выборки соответствующему числу циклов изменения нагрузок за один год эксплуатации. Для вычислений используем программную оболочку MathCAD с встроенными генераторами случайных чисел и разработанные автором программные модули для обработки массивов случайных реализаций расчетных параметров.

Таблица 1

Геометрические размеры сечения (начальные)		
Первичный параметр и функция распределения	Параметры функций распределения	
	Нижняя граница	Верхняя граница
Толщина верхнего пояса главной балки, $d_1(i) = f[i, a_{d1}, b_{d1}]$	$a_{d1} = 17,6 \text{ мм}$	$b_{d1} = 22,4 \text{ мм}$
Толщина нижнего пояса главной балки, $d_2(i) = f[i, a_{d2}, b_{d2}]$	$a_{d2} = 17,6 \text{ мм}$	$b_{d2} = 22,4 \text{ мм}$
Толщина вертикальной стенки главной балки, $d_3(i) = f[i, a_{d3}, b_{d3}]$	$a_{d3} = 13,6 \text{ мм}$	$b_{d3} = 18,4 \text{ мм}$
Силовые воздействия		
Первичный параметр и функция распределения	Параметры функции распределения	
	Математическое ожидание	Стандарт
Изгибающий момент в середине пролета от постоянной нагрузки, $M_n(i) = f(i, m_{Mn}, \Delta_{Mn})$	$m_{Mn} = 9596,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$	$\Delta_{Mn} = 239,9 \text{ кН} \cdot \text{м}$
Изгибающий момент в середине пролета от временной нагрузки, $M_v(i) = f(i, m_{Mv}, \Delta_{Mv})$	$m_{Mv} = 5425,7 \text{ кН} \cdot \text{м}$	$\Delta_{Mv} = 825,9 \text{ кН} \cdot \text{м}$
Прочностные характеристики		
Первичный параметр и функция распределения	Параметры функции распределения	
	Математическое ожидание	Стандарт
Удельная прочность стали (по пределу текучести), $s_\delta(i) = f(i, m_{s\delta}, \Delta_{s\delta})$	$m_{Mn} = 321,4 \text{ МПа}$	$\Delta_{Mn} = 16,1 \text{ МПа}$

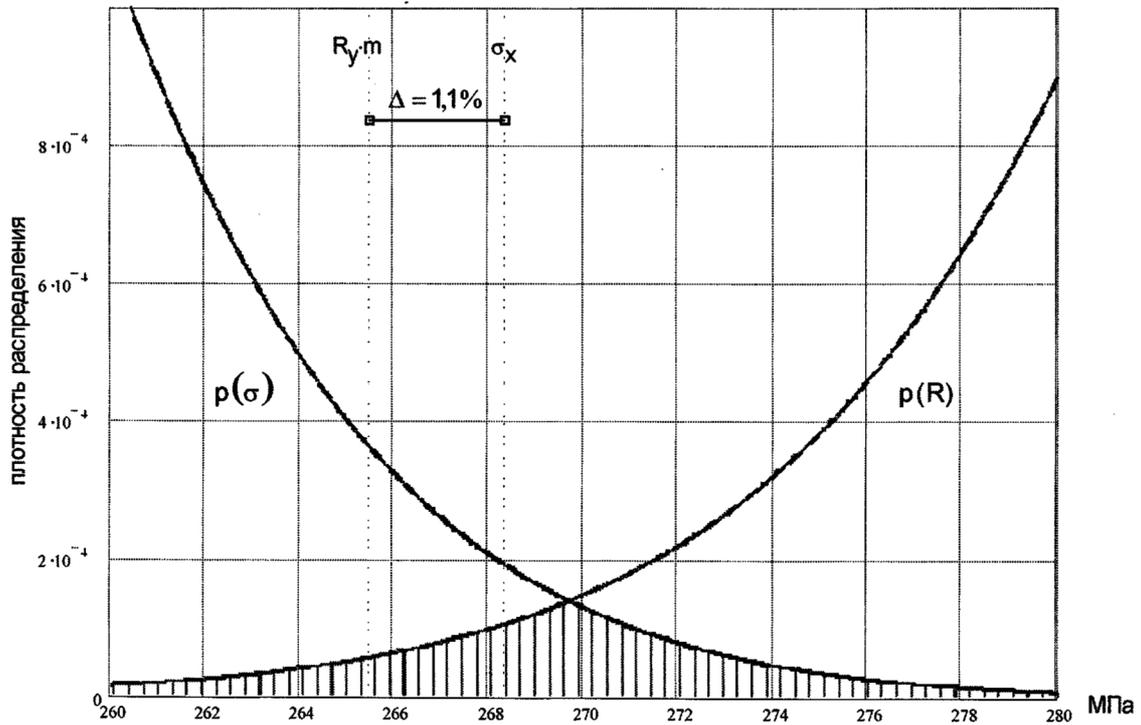


Рис. 1. Область пересечения функций плотности распределения напряжений  $p(\sigma)$  и удельной прочности  $p(R)$

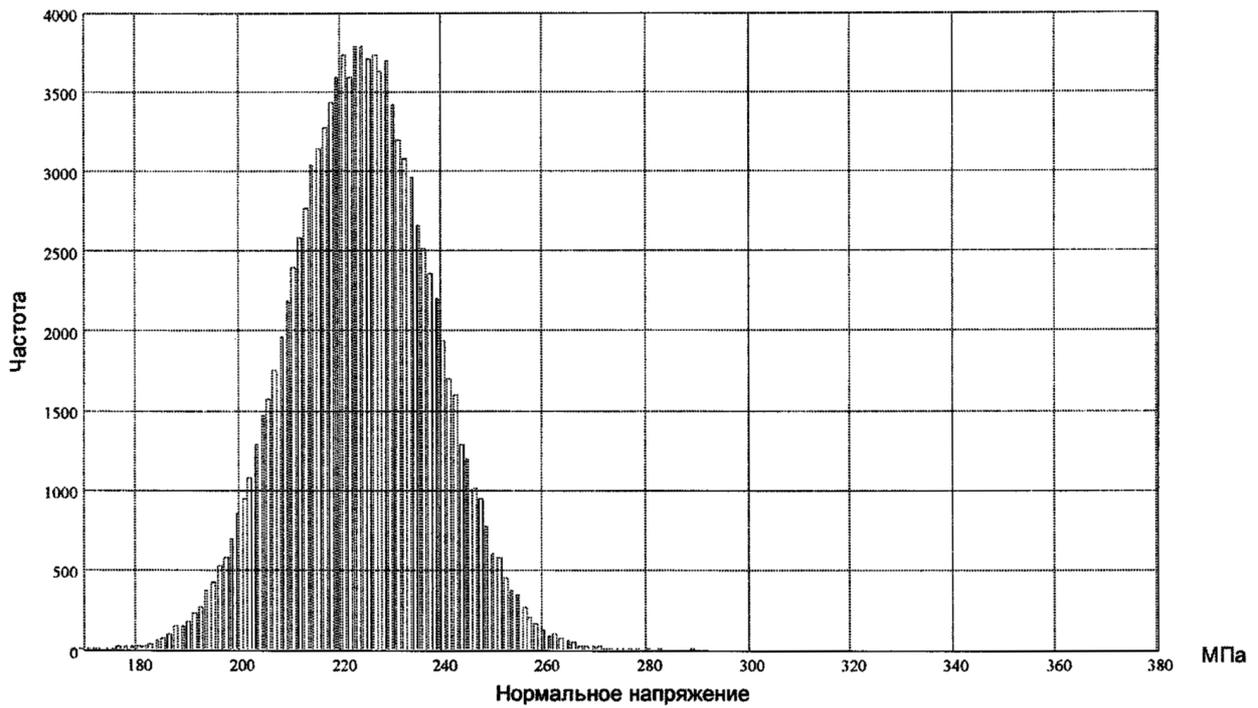


Рис. 2. Частотная гистограмма массива случайных реализаций нормального напряжения

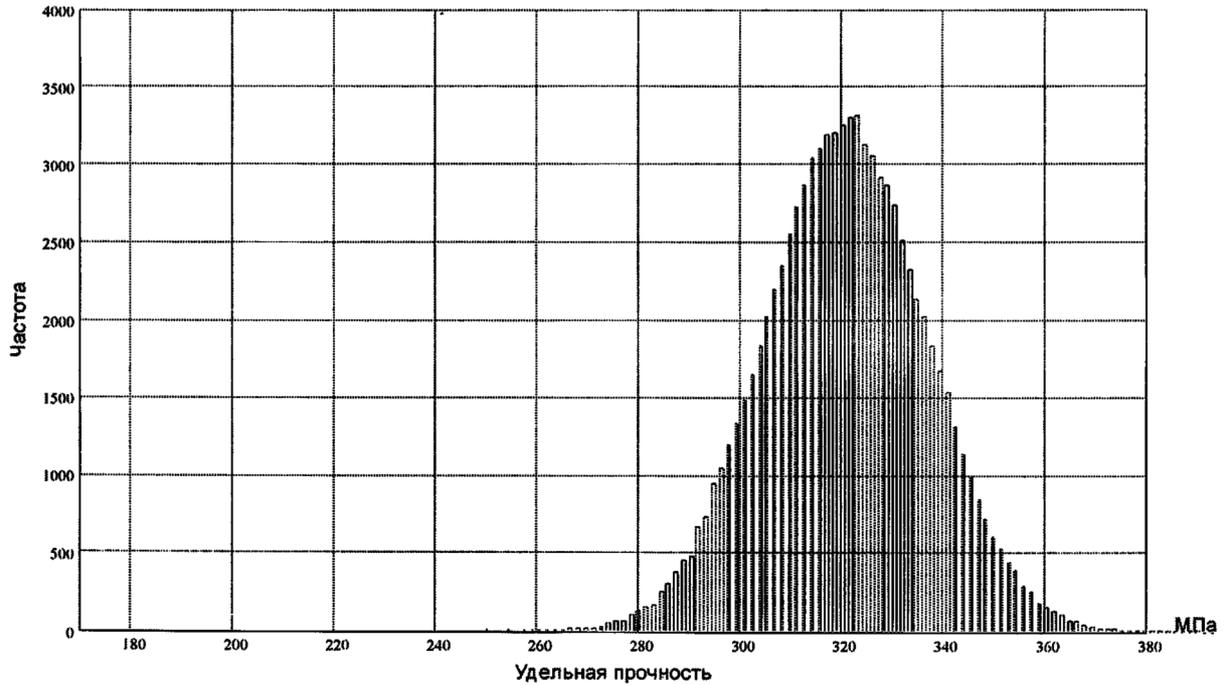


Рис. 3. Частотная гистограмма массива случайных реализаций удельной прочности (по пределу текучести)

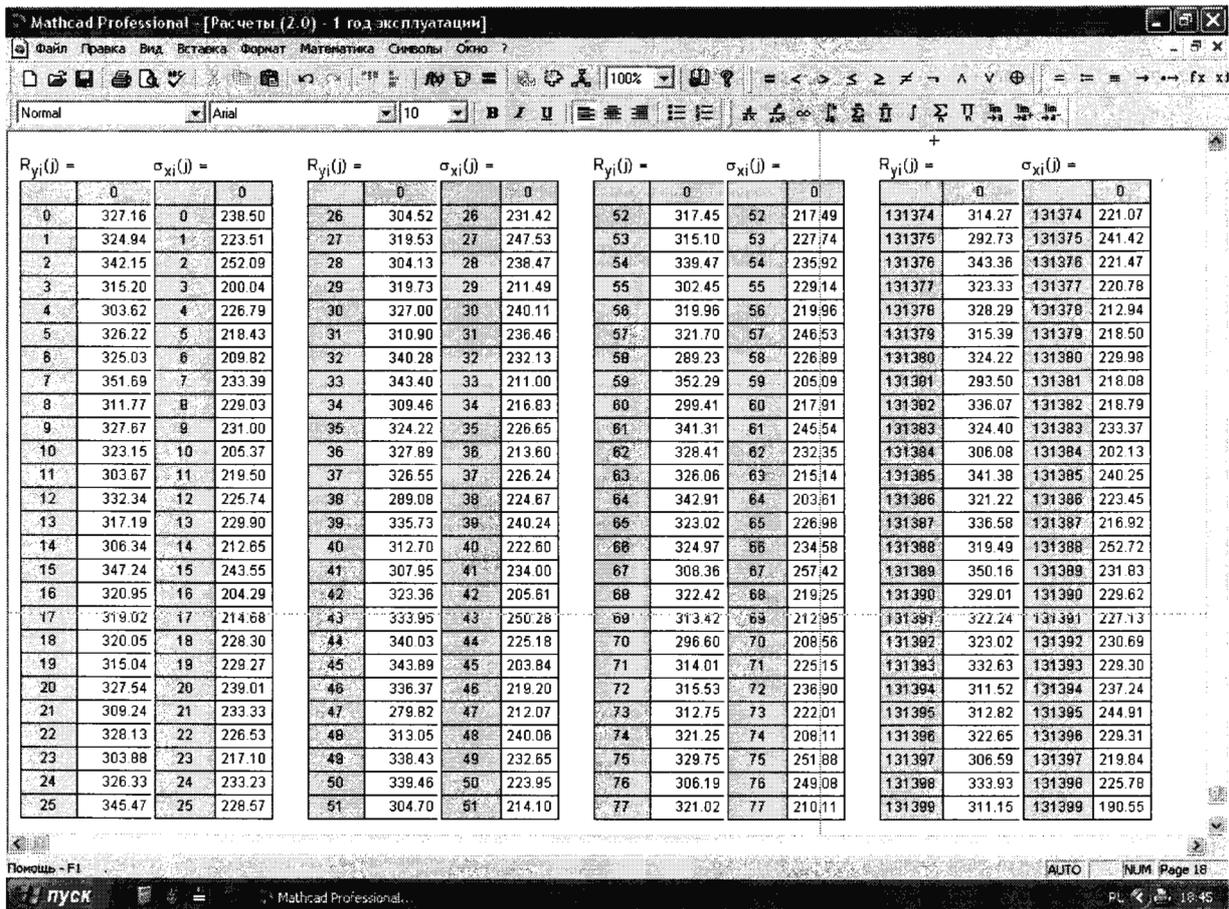


Рис. 4. Визуализация численных значений массивов случайных реализаций нормального напряжения и предела текучести стали (обозначены соответственно  $\hat{r}_{xi}(\theta)$  и  $R_{yi}(j)$ )



Таблица 2

Конечные параметры для принятия решений	Функции взаимодействия между начальными и конечными параметрами
Момент сопротивления сечения, $W_x(i)$	$W_x(i) = F [r_1(\theta), r_2(\theta), r_3(\theta), \dots]$
Нормальное напряжение в сечении с учетом ограниченного действия пластических деформаций, $r_x(\theta)$	$r_x(\theta) = \frac{M_n(i) + M_v(i)}{c \cdot W_x(i)}$

Для наглядности на рисунках 2 и 3 показаны частотные гистограммы массивов случайных реализаций нормального напряжения от изгиба главной балки и предела текучести стали.

Введем событие – факт отказа конструктивного элемента. Под таким «событием» будем понимать превышение случайной реализации нормального напряжения в расчетном сечении  $S_x(i)$  случайной реализации предела текучести стали  $S_\delta(i)$  в области  $k$ -го звена сжатой зоны расчетного элемента.

Используя функции взаимодействия между начальными и конечными параметрами (таблица 2), определим ожидаемое число отказов.

Для рассматриваемого примера площадь одного звена расчетного элемента  $s_k$  принята равной 0,1 м<sup>2</sup>. В этом случае общее количество отдельных звеньев и, соответственно, число необходимых процедур статистического моделирования составит

$$k = \frac{l \cdot b_n}{s_k} \approx 172, \quad (3)$$

где  $b_n$  – ширина сжатого пояса главной балки.

Фрагменты вычислений числа отказов и вероятности отказов для времени эксплуатации главной балки 8760 часов показаны на рисунках 4 и 5.

По результатам проведенных процедур статистического моделирования отказов главной балки выявлено не было, то есть вероятность отказа равна нулю. Таким образом, несущую способность элемента конструкции, принятого в качестве примера, по рассмотренному предельному состоянию для заданной интенсивности движения транспортных средств и времени эксплуатации 8760 часов можно считать обеспеченной.

Полученные выше результаты свидетельствуют в большей степени о начальных показателях надежности элемента конструкции, взятого в качестве примера.

Для практики представляет также интерес возможность оценки надежности элементов конструкции через  $t$  лет эксплуатации. Рассмотрим поставленную задачу с учетом данных натурального обследования технического состояния пролетного

строения моста через  $t = 20$  лет его эксплуатации.

Установлено, что фактическая интенсивность движения увеличилась до 25 транспортных средств за 1 час. В процессе обследования были выполнены инструментальные измерения толщин элементов сечения главной балки ультразвуковым методом. Объем контроля составил по 10 точек измерений каждого элемента по длине пролета. Для статистической обработки результатов измерений толщин использованы известные соотношения Стьюдента между доверительными интервалами и доверительной вероятностью для нормального распределения [5]. Уровень достоверности интервальной оценки принят равным 0,95. Геометрические размеры сечения на момент обследования приведены в таблице 3.

Итак, выполним статистическое моделирование для объема выборки, который соответствует числу циклов изменения нагрузок за 20 лет эксплуатации при фактической интенсивности движения транспортных средств к моменту обследования. Фрагменты вычислений числа отказов и вероятности отказов для времени эксплуатации главной балки 175200 часов показаны на рисунках 6 и 7.

Расчетами установлено, что число случаев превышения случайной реализации нормального напряжения в расчетном сечении главной балки  $S_x(i)$  над случайной реализацией предела текучести стали  $S_\delta(i)$  в области  $k$ -го звена расчетного элемента в сжатой зоне варьируется от 115 до 130.

Используя вариационный принцип Лагранжа-Гамильтона [5], отбираем из всех полученных значений числа отказов  $n_1, n_2, \dots, n_k$  экстремальное (в данном случае максимальное) значение

$$n_{RS} = \max(n_1, n_2, \dots, n_k) = 130. \quad (4)$$

Обращаясь к теории распределения крайних членов выборки [5], определим вероятность отказа  $Q_{RS}$  «слабых» звеньев цепи расчетного элемента при числе статистических испытаний  $i \rightarrow \infty$  по формуле

$$Q_{RS} = \frac{n_{RS}}{i}. \quad (5)$$

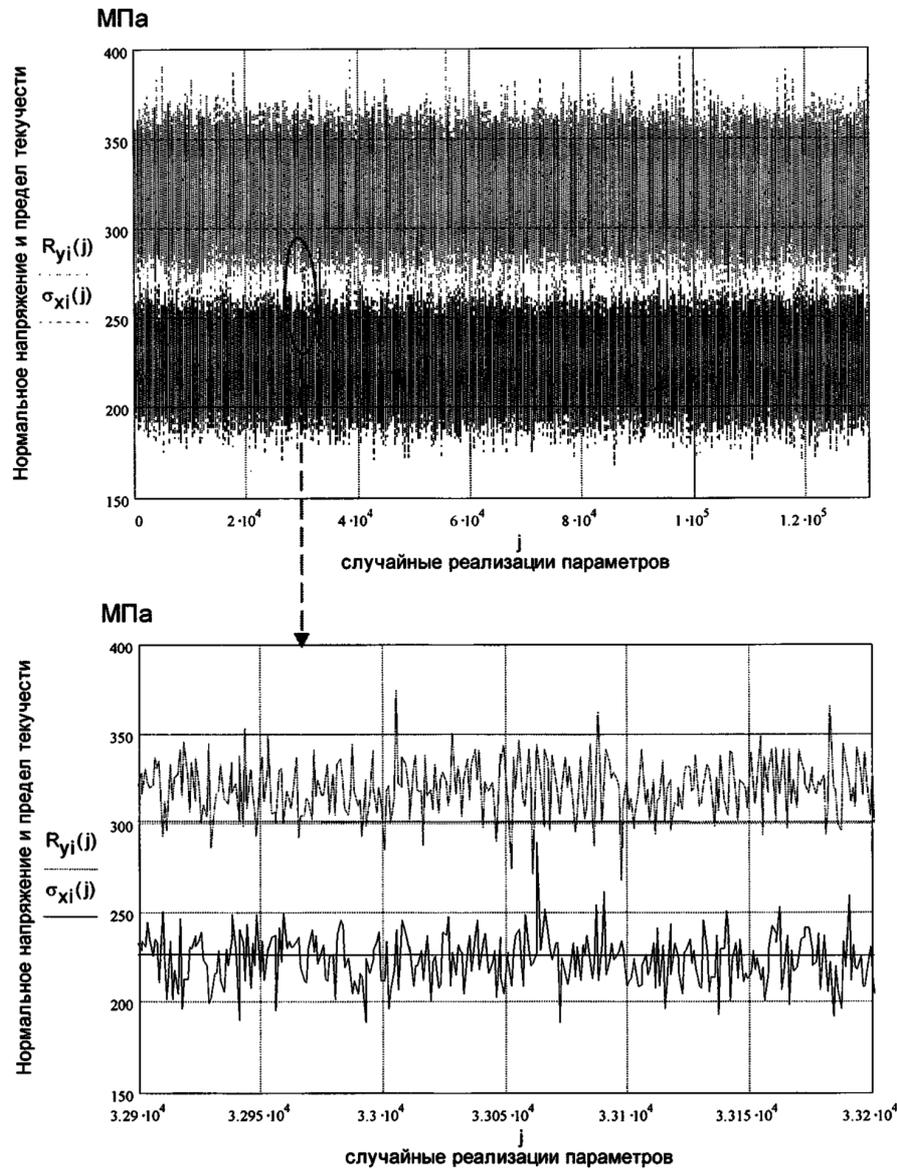


Рис. 5. Фрагмент статистического моделирования комбинации “нагрузка-прочность” – флуктуации генерированных случайных процессов напряжения и предела текучести

Таблица 3

Геометрические размеры сечения на момент обследования, $t = 20$ лет		
Исходный параметр и функция распределения	Параметры функций распределения	
	Нижняя граница	Верхняя граница
Толщина верхнего пояса главной балки, $d_{1,t}(i) = f[i, a_{d1,t}, b_{d1,t}]$	$a_{d1,t} = 16,8 \text{ мм}$	$b_{d1,t} = 20,2 \text{ мм}$
Толщина нижнего пояса главной балки, $d_{2,t}(i) = f[i, a_{d2,t}, b_{d2,t}]$	$a_{d2,t} = 16,9 \text{ мм}$	$b_{d2,t} = 20,7 \text{ мм}$
Толщина вертикальной стенки главной балки, $d_{3,t}(i) = f[i, a_{d3,t}, b_{d3,t}]$	$a_{d3,t} = 14,3 \text{ мм}$	$b_{d3,t} = 17,1 \text{ мм}$

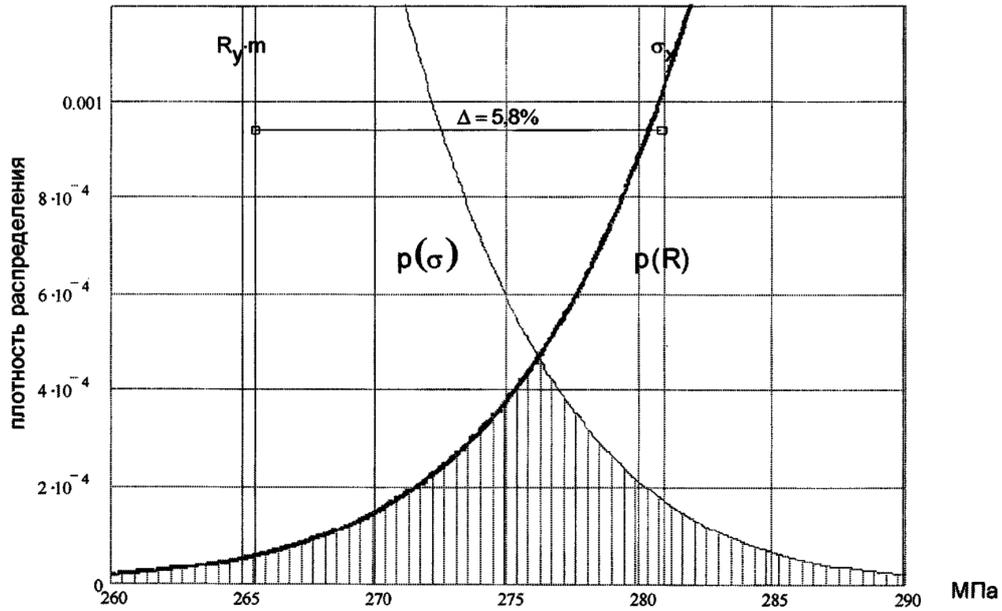


Рис. 6. Область пересечения функций плотности распределения напряжений  $p(S)$  и удельной прочности  $p(R)$  через 20 лет эксплуатации

программный модуль определения числа "выбросов" за допустимый уровень  $\sigma_{xi} > R_{yi}$

- Преобразование структуры параметров случайного процесса из векторной формы в функциональную зависимость
  - ввод вспомогательной переменной,  $j$   $j := 0..(i - 1)$
  - функция нормальных напряжений,  $\sigma_{xi}(j)$   $\sigma_{xi}(j) := \sigma_{xi_j}$
  - функция удельной прочности (по пределу текучести),  $R_{yi}(j)$   $R_{yi}(j) := R_{yi_j}$
- Вспомогательная функция для проверки граничного условия  $\Omega(j) := R_{yi}(j) - \sigma_{xi}(j)$
- Программный модуль проверки соблюдения граничного условия,  $\Omega(j) < 0$ 

```

 $\eta_{R\sigma} :=$ 
    |  $j \leftarrow 0$ 
    |  $k \leftarrow 0$ 
    | for  $j \in 0..i - 1$ 
    |   |  $k \leftarrow k + 1$  if  $\Omega(j) < 0$ 
    |   |  $j \leftarrow j + 1$ 
    |  $k$ 
                
```
- Число "выбросов" за допустимый уровень (число отказов),  $\eta_{R\sigma} = 130$
- Частота отказов (вероятность отказа),  $Q_{R\sigma} := \frac{\eta_{R\sigma}}{i}$   $Q_{R\sigma} = 2.968 \times 10^{-5}$

Рис. 7. Программный модуль обработки массивов случайных реализаций и определения числа «выбросов» за допустимый уровень



Для последнего случая статистических испытаний получим, что вероятность разрушения сжатого пояса главной балки составляет

$$Q_{Rr} = \frac{130}{4,38 \cdot 10^6} = 2,968 \cdot 10^{-5}.$$

#### Выводы:

1. Метод статистического моделирования позволяет исключать «избыточность» при проектировании элементов конструкции, а также дает возможность определять вероятность отказа как численную меру оценки эксплуатационной надежности.

2. Эффективность использования метода статистических испытаний при расчетах эксплуатационной надежности во многом зависит от рационального распределения функций, связанных с формированием реализаций случайных параметров и внешних воздействий.

#### Литература

1. Болотин В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1981. – 351 с.
2. ГОСТ 6713-91. Прокат низколегированный конструкционный для мостостроения. Технические условия.
3. СТ СЭВ 4940-84. Стандарт СЭВ. Дороги автомобильные международные. Учет интенсивности движения.
4. ГОСТ 21779-82\*. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски.
5. Беленький Д.М., Ханукаев М.Г. Теория надежности машин и металлоконструкций. – Ростов н/Д: «Феникс», 2004. – 608 с.



УДК 624.014.072

**А.З. Мананов** – кандидат технических наук, доцент

**Д.М. Хусаинов** – кандидат технических наук, доцент

**М.В. Козлов** – инженер

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## О СИЛЕ И ПОСЛЕДСТВИЯХ УРАГАНА 8 ИЮЛЯ 2007 ГОДА

### АННОТАЦИЯ

В г. Казани 8 июля 2007 года наблюдалось сильнейшее для здешних мест движение воздушных масс, которое вызвало повреждения и разрушения сооружений городской застройки, преимущественно малых форм (рекламных конструкций, элементов оформления зданий, флагштоков, ограждающих заборов, крыш малоэтажных зданий) и зеленых насаждений (отдельно стоящие деревья и часть лесополосы). Зарегистрированная метеорологической службой скорость ветра составила 30 м/с, что больше нормативной скорости ветра для г. Казани, соответствующей II ветровому району ( $w=30 \text{ кг/м}^2$ ,  $V=22,2 \text{ м/с}$ ) на 30%.

В статье рассматриваются последствия прошедшего урагана, проводится анализ повреждений конструкций на примере рекламных конструкций – рекламных щитов. Приводится сравнение данных о разрушениях при зарегистрированной и нормативной скорости ветра для г. Казани.

**A.Z. Mananov** – candidate of technical science, associate professor

**D.M. Khusainov** – candidate of technical science, associate professor

**M.V. Kozlov** – engineer

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## FORCE AND CONSEQUENCES OF THE HURRICANE ON JULY 8, 2007

### ABSTRACT

The most massive movement of air masses took place in Kazan on July 8, 2007. It has inflicted multiple damages and destruction of housing zone buildings, mainly of small sizes (e.g. advertisement constructions, building decoration elements, flagpoles, protecting fences, and low-rise building roofs), and green plantations (single trees and part of the forest belt). The meteorological service registered the wind speed at 30 meters per second, which is 30% higher than the normative wind speed for Kazan, corresponding to the second wind area ( $w= 30 \text{ kg/m}^2$ ,  $V= 22.2 \text{ m/sec}$ ).

The consequences of this hurricane are considered in this article; the structural damages of such advertisement structures as advertisement hoardings (shields) are analyzed. The comparison of the structure collapse data at the actually registered wind speed and that at the normative wind speed in Kazan is given.

8 июля 2007 года на части территории города Казани наблюдалось сильнейшее для здешних мест движение воздушных масс, которое привело к значительным разрушениям. По официальным данным ГУ УМГС Республики Татарстан, средняя скорость ветра в ночь с 8 по 9 июля по городу составила 22-30 м/с, шквалистые усиления ветра на территории аэропорта достигали 30 м/с, а в городской черте скорость ветра была зафиксирована на показателе 28 м/с (пресс-релиз от 9.07.2007 г. Отдела по связям с общественностью и средствами массовой информации аппарата Казанской городской думы). В соответствии с данными ГУ «УМГС Республики Татарстан» 8 июля до 19.00 ветер имел западное направление, а в районе 19.00 сменил направление на юго-западное. Наиболее разрушительные последствия наблюдались в северо-восточной части города, в Ново-Савиновском и

Советском районах. В соответствии с классификацией ветер скоростью 5-8 м/с считается умеренным, выше 14 м/с – сильным; выше 20-25 м/с – штормом, а выше 30-35 м/с – ураганом. Сильный маломасштабный вихрь с приблизительно вертикальной, но часто изогнутой осью называют смерчем. Давление воздуха в середине смерча понижено. Смерч имеет вид темного облачного столба диаметром в несколько десятков метров; он опускается в виде воронки из низкого основания кучево-дождевого облака, навстречу которой с земной поверхности может подниматься другая воронка из брызг и пыли, соединяющаяся с первой. Наиболее узкая часть столба – в середине. Скорость ветра в смерче достигает 50-100 м/с при сильной восходящей составляющей. Вращательное движение в смерче может происходить по часовой и против часовой стрелки. Возникновение смерчей связано с особо



Таблица 1

Нормативное значение ветрового давления	30 кгс/м <sup>2</sup>
Расчетное значение ветрового давления	42 кгс/м <sup>2</sup>
Нормативное значение ветрового давления на высоте до 5 м для типа местности В	15 кгс/м <sup>2</sup>
Расчетное значение ветрового давления на высоте до 5 м для типа местности В	21 кгс/м <sup>2</sup>
Скорость ветра, соответствующая нормативному значению ветрового давления на высоте до 5 м для типа местности В при аэродинамическом коэффициенте 1,2	16,97 м/с
Скорость ветра, соответствующая расчетному значению ветрового давления на высоте до 5 м для типа местности В при аэродинамическом коэффициенте 1,2	20,1 м/с

сильной неустойчивостью стратификации атмосферы в нижних слоях. Над сушей оно характерно для жаркого времени года. Наблюдавшееся явление было по своему уникальным, даже старожилы не помнят таких обширных разрушений, вызванных ветровой нагрузкой.

В связи с этим представляет интерес сопоставление наблюдавшихся скоростей ветра с нормируемыми показателями. В соответствии с [1] для г. Казани установлены следующие нормативные данные по ветровой нагрузке, которые следует использовать при выполнении прочностных расчетов строительных конструкций (таблица 1).

Фактическая скорость ветра может быть оценена также путем анализа вызванных ею разрушений. Многочисленные разрушения во время урагана получили типовые рекламные конструкции. Простота конструктивной формы и однозначный характер разрушения рекламных конструкций позволяет достаточно точно оценить величину разрушающего ветрового давления на щит и соответствующую ей скорость ветра во время урагана.

Рассмотрим наиболее характерные разрушения рекламных конструкций во время урагана с определением величины скорости ветра, необходимой для разрушения данной конструкции (таблицы 2-7).



Рис. 1. Рекламный щит, расположенный по проспекту Ямашева, 95



Таблица 2

Исходные данные (Ямашева, 95)

Площадь поверхности щита	18 м <sup>2</sup>
Ширина фундамента	2,4 м
Длина фундамента	2,4 м
Толщина фундамента	0,4 м
Расстояние от нижней кромки рекламного щита до верхней кромки фундамента	4 м
Общий вес фундамента и рекламного щита	5600 кг
Характер разрушения	опрокидывание
Удерживающий момент	6720 кг×м
Ветровое давление на 1 м <sup>2</sup> , необходимое для опрокидывания	67,87 кг/м <sup>2</sup>
Скорость ветра, вызвавшая опрокидывание	33 м/с



Рис. 2. Рекламный щит, расположенный по проспекту Ямашева, 92

Таблица 3

Исходные данные (Ямашева, 92)

Площадь поверхности щита	18 м <sup>2</sup>
Расстояние от нижней кромки рекламного щита до верхней кромки фундамента	4 м
Сечение стойки	2 швеллера № 16
Требуемое сечение стойки, определяемое при расчёте щита с учётом пульсационной составляющей ветровой нагрузки	2 швеллера № 24
Характер разрушения	Пластическое разрушение стойки в месте заделки в фундамент
Момент сопротивления в направлении действия ветра	139,46 см <sup>3</sup>
Пластический момент сопротивления в направлении действия ветра	149,22 см <sup>3</sup>
Значение предела текучести для стали марки ВСт3пс2 (с обеспеченностью 50%)	3100 кг/см <sup>2</sup>
Изгибающий момент, соответствующий разрушению	4626 кг×м
Ветровое давление на 1 м <sup>2</sup> , необходимое для разрушения	38,9 кг/м <sup>2</sup>
Скорость ветра, вызвавшая разрушение с обеспеченностью 50 %	25 м/с



Рис. 3. Рекламный щит, расположенный по проспекту Ямашева, 94

Таблица 4

**Исходные данные (Ямашева, 94)**

Площадь поверхности щита	18 м <sup>2</sup>
Расстояние от нижней кромки рекламного щита до верхней кромки фундамента	4 м
Сечение стойки	ГСП 160×8
Характер разрушения	Хрупкое разрушение стойки в месте крепления к фундаменту
Момент сопротивления в направлении действия ветра	217,5 см <sup>3</sup>
Сопротивление для стали класса С235, соответствующее временному сопротивлению	3700 кг/см <sup>2</sup>
Изгибающий момент, соответствующий разрушению	8047,5 кг×м
Ветровое давление на 1 м <sup>2</sup> , необходимое для создания разрушения	68 кг/м <sup>2</sup>
Скорость ветра, вызвавшая разрушение щита с фактическим сечением	33 м/с



Рис. 4. Рекламный щит, расположенный по проспекту Ямашева, 97



Таблица 5

Исходные данные (Ямашева, 97)

Площадь поверхности щита	18 м <sup>2</sup>
Расстояние от нижней кромки рекламного щита до верхней кромки фундамента	4 м
Сечение стойки	2 швеллера № 16
Требуемое сечение стойки, определяемое при расчёте щита с учётом пульсационной составляющей ветровой нагрузки	2 швеллера № 24
Характер разрушения	Пластическое разрушение стойки в месте крепления к фундаменту
Момент сопротивления в направлении действия ветра	186,8 см <sup>3</sup>
Пластический момент сопротивления сечения стойки в направлении действия ветра	216,4 см <sup>3</sup>
Значение предела текучести для стали марки ВСт3пс2 с обеспеченностью 50 %	3100 кг/см <sup>2</sup>
Изгибающий момент, соответствующий разрушению	6708,4 кг×м
Ветровое давление на 1 м <sup>2</sup> , необходимое для создания разрушения (с обеспеченностью 50%)	56,5 кг/м <sup>2</sup>
Скорость ветра, вызвавшая разрушение щита с фактическим сечением с обеспеченностью 50 %	30 м/с



Рис. 5. Рекламный щит, расположенный по проспекту Ямашева

Таблица 6

Исходные данные (Ямашева)

Площадь поверхности щита	18 м <sup>2</sup>
Расстояние от нижней кромки рекламного щита до верхней кромки фундамента	4 м
Сечение стойки	2 трубы диаметром 102×4,5
Требуемое сечение стойки, определяемое при расчёте щита с учётом пульсационной составляющей ветровой нагрузки	2 трубы диаметром 219×6
Характер разрушения	Пластическое разрушение стойки в месте крепления к фундаменту
Момент сопротивления в направлении действия ветра	64 см <sup>3</sup>
Пластический момент сопротивления в направлении действия ветра	88 см <sup>3</sup>
Значение предела текучести для стали марки ВСт3пс с обеспеченностью 50 %	3100 кг/см <sup>2</sup>
Изгибающий момент, соответствующий разрушению	2728 кг×м
Ветровое давление на 1 м <sup>2</sup> , необходимое для создания разрушения (с обеспеченностью 50 %)	23 кг/м <sup>2</sup>
Скорость ветра, вызвавшая разрушение щита с фактическим сечением (с обеспеченностью 50 %)	20 м/с



Рис. 6. Рекламный щит, расположенный по проспекту Ямашева, у 4-ой транспортной дамбы

Таблица 7

**Исходные данные (Ямашева, у 4-ой транспортной дамбы)**

Площадь поверхности щита	18 м <sup>2</sup>
Расстояние от нижней кромки рекламного щита до верхней кромки фундамента	4 м
Фактическое сечение стойки	Труба 273×6
Требуемое сечение стойки, определяемое при расчёте щита с учётом пульсационной составляющей ветровой нагрузки	Труба 325×5
Момент сопротивления в направлении действия ветра	328 см <sup>3</sup>
Пластический момент сопротивления сечения в направлении действия ветра	427,7 см <sup>3</sup>
Значение предела текучести для стали марки ВСтЗпс с обеспеченностью 50%	3100 кг/см <sup>2</sup>
Изгибающий момент, соответствующий разрушению	13258 кг×м
Ветровое давление на 1 м <sup>2</sup> , необходимое для создания разрушения (с обеспеченностью 50 %)	111 кг/м <sup>2</sup>
Скорость ветра, вызвавшая разрушение с фактическим сечением (с обеспеченностью 50 %)	42 м/с

В таблице 8 приведены сравнительные данные по нормируемому расчетному значению скорости ветра со скоростями ветра, вызвавшими разрушение типовых рекламных конструкций.

Учёт пульсационной составляющей ветровой нагрузки при проектировании типовых рекламных конструкций приводит к увеличению сечений их опорных стоек, и для рассмотренных выше рекламных

щитов в зависимости от конструктивного решения, сечение опорных стоек могло бы быть одним из следующих: труба 325×5 мм, 2 швеллера № 24, сваренных в коробку, две трубы 2196 мм. При таких сечениях скорость ветра, которая могла бы вызвать их разрушение с обеспеченностью 50 %, находится в интервале от 46 м/с до 49 м/с.



Таблица 8

Наименование объекта	Скорость ветра, соответствующая расчетному значению ветрового давления на высоте до 5 м для типа местности В	Скорость ветра, вызвавшая разрушение (с доверительной вероятностью 50%)
Щит по проспекту Ямашева, 95	20,4 м/с	33 м/с
Щит по проспекту Ямашева, 92	20,4 м/с	25 м/с
Щит по проспекту Ямашева, 94	20,4 м/с	33 м/с
Щит по проспекту Ямашева, 97	20,4 м/с	30 м/с
Щит по проспекту Ямашева	20,4 м/с	20 м/с
Щит по проспекту Ямашева, у моста 4-ой транспортной дамбы	20,4 м/с	42 м/с

**Выводы:**

1. Расчетный анализ разрушений металлических конструкций рекламных щитов, произошедших на территории г. Казани 8 июля 2007 года, показал, что скорость ветра в приземном слое в момент разрушения превышала 40 м/с. В соответствии со СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» для г. Казани скорость ветра, соответствующая расчетному значению ветрового давления на высоте до 5 м для типа местности В, составляет 20,4 м/с. Полученные данные свидетельствуют, что 8 июля 2007 года имело место превышение скорости ветра относительно расчетного значения, рекомендуемого для прочностных расчетов строительных конструкций на территории г. Казани, не менее чем в 2 раза.

2. Учет пульсационной составляющей ветровой нагрузки существенно повышает надежность рекламных конструкций. Анализ последствий прошедшего урагана показывает, что подобные стихийные явления практически не оставляют шансов для выживания рекламных конструкций, спроектированных без учета пульсационного воздействия ветра.

**Литература**

СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия / Госстрой СССР. – М.: ЦИТИП Госстроя СССР, 2003. – 36 с.



УДК 624.012.35.45

**Илшат Т. Мирсаяпов** – кандидат технических наук, доцент

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## **ЗОНЫ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК**

### **АННОТАЦИЯ**

В статье излагается способ определения зон концентрации напряжений в железобетонных конструкциях при многократно повторяющихся циклических нагружениях. Для определения зон концентрации напряжений предлагается до циклического нагружения стабилизировать температурные характеристики конструкций, затем при пассивной тепловой стимуляции объекта исследований измерять температурные поля железобетонных конструкций тепловизионной аппаратурой в процессе циклического нагружения с последующим анализом и обработкой полученных термограмм; при этом зоны концентрации напряжений в железобетонных конструкциях соответствуют аномальным областям термограмм с превышением температуры более 0,3 °С и за счет этого зоны концентрации напряжений четко выделяются на термограммах объекта исследований.

**Ishat T. Mirsayapov** – candidate of technical science, associate professor

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUA)**

## **ZONES OF TENSION CONCOCTIONS AT CYCLIC LOADING IN OPERATIVE RANGE OF CROSS-SECTION FORCES OF FERRO-CONCRETE BEAMS**

### **ABSTRACT**

The way of determination of zones of tension concoctions in ferro-concrete constructions under repeatedly reiterative cyclical loadings is stated. For the determination of zones of tension concoctions is suggested to stabilize the temperature features of the constructions followed by the cyclical loadings, then under the passive heat stimulation of the studying object to measure the temperature fields of ferro-concrete constructions by heatvision equipment during the cyclical loadings process with the following analysis and processing of received thermograms. The zones of tension concoctions in ferro-concrete constructions correspond to the anomalous areas of thermograms, with excess of temperature more than 0,3 °C, consequently, the zones of tension concoctions are clearly indicated at thermograms of the studying object.

При разработке физических моделей усталостного сопротивления конструктивных элементов необходимо иметь представление не только о точной картине напряженно-деформированного состояния элемента, но также и о положениях, формах и размерах зон концентрации напряжений в нем. Традиционный способ измерения деформаций с помощью электротензометрии не позволяет получить достаточно подробную и полную информацию о деформированном состоянии в условиях плоского напряженного состояния, тем более в условиях образования трещин в процессе циклического нагружения. Это связано с тем, что розетки тензорезисторов замеряют средний размер деформаций на довольно значительной базе и по этим измерениям нельзя верно определить направление и размер главных деформаций. Кроме того, в условиях трещинообразования и развития трещин часть датчиков пересекается с ними и выходит из строя. В

такой ситуации определение положения, формы и размеров зон концентрации напряжений экспериментальным путем становится проблематичным. Известный способ измерения деформаций на поверхности конструктивных элементов с помощью оптически чувствительных покрытий, позволяющий получить точную картину напряженно-деформированного состояния элемента и определить также зоны концентрации напряжений, хорошо зарекомендовавший себя при статическом нагружении, не нашел применения в исследованиях напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов при многократно повторяющихся нагружениях. Так как при циклическом нагружении происходят значительные колебания самого образца, из-за больших колебаний испытательной установки, особенно при высоких уровнях и больших амплитудах внешней нагрузки, происходят также колебания и перемещения и

поляризационно-оптической системы. Это отрицательно сказывается на точности и достоверности получаемых результатов.

В связи с этим в Казанском государственном архитектурно-строительном университете, с целью выявления положений, форм и размеров зон концентрации напряжений в зоне совместного действия изгибающих моментов и поперечных сил в балках, автором были проведены усталостные испытания с применением тепловизионного метода контроля, который дает возможность дистанционной регистрации, визуализации и предварительного анализа экспериментальных данных.

При циклическом нагружении в упруго-пластических материалах наряду с упругими деформациями происходит также развитие пластических деформаций. С увеличением количества циклов нагружения происходит непрерывное увеличение и накопление пластических деформаций. Как известно, при циклическом нагружении накопленная энергия пластической (неупругой) деформации в основном может превратиться в тепловую. Площадь петли пластического гистерезиса численно равна необратимой работе деформирования в каждом цикле [1]. Основная часть этой работы переходит в тепло и рассеивается путем теплообмена, а некоторая, относительно малая доля, расходуется на развитие повреждений усталости. При этом, чем выше напряжение, тем больше площадь петли и тем больше энергии переходит в тепло.

В этой связи можно предположить, что при усталостных испытаниях конструктивных элементов циклическое нагружение является тепловой стимуляцией материала в областях усиленного развития неупругих деформаций (например, в местах концентрации напряжений) и это должно привести к некоторому повышению температуры материала конструкций в этих зонах. Можно предположить также, что температурные аномалии возникают только в наиболее напряженных зонах, где активно развиваются пластические деформации. Это распределение температуры нагрева перенапряженных участков на поверхности конструктивных элементов при циклическом нагружении можно попытаться использовать для нахождения зон концентрации напряжений, так как температура в этих зонах должна быть больше, чем в менее напряженных местах, тем самым эти зоны должны выделиться на поверхности элемента.

Очевидно, что параметры динамики температурных полей при циклическом нагружении зависят от уровня максимальной нагрузки цикла, частоты нагружения, пластического ресурса и свойств анизотропии материала конструкции. Поэтому для получения наглядных термограмм в процессе циклического нагружения в качестве материала конструкции целесообразно применять анизотропный

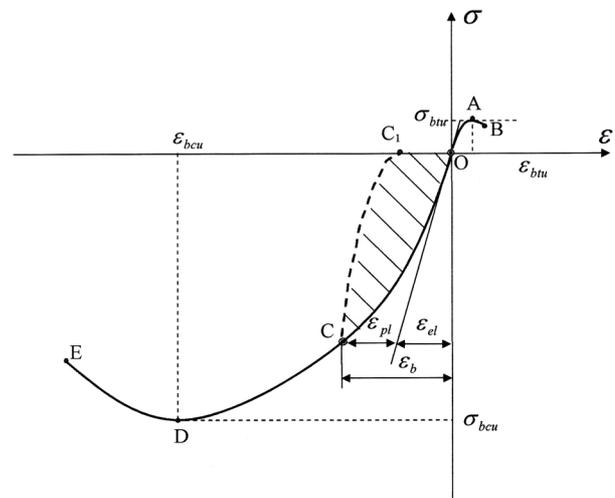


Рис. 1. Диаграмма деформирования бетона при одноосном кратковременном нагружении

материал с достаточным пластическим ресурсом. Для этих целей идеально подходит бетон или чугун. Бетон, например, обладает ярко выраженными упруго-пластическими свойствами даже при невысоких уровнях напряжений. При однократном статическом нагружении зависимость между напряжениями и деформациями в бетоне нелинейная (рис. 1). Начальный или мгновенный модуль упругости

бетона  $E_{b0} = \frac{S_b}{e_{el}}$  соответствует мгновенному

загружению образца до относительно небольших напряжений ( $\approx 0,3S_{bu}$ ), при которых возникают в основном только упругие деформации. Графически  $E_{b0}$  выражается тангенсом угла наклона касательной к кривой зависимости  $S - e$  в точке начала координат. Модуль полных деформаций бетона  $E_b$  соответствует нагружению бетона, когда в нем проявляются как упругие, так и неупругие деформации. При однократном кратковременном нагружении полные деформации бетона можно представить в виде  $e_b = e_{el} + e_{pl}$ , где  $e_{el}$  и  $e_{pl}$  – соответственно упругие и неупругие (пластические) деформации бетона.

Модуль полной деформации  $E_b = \frac{ds_b}{de_b}$  является

величиной переменной и может быть выражен тангенсом угла наклона касательной к кривой зависимости  $S - e$  в любой рассматриваемой точке этой кривой.

При воздействии многократно повторяющейся нагрузки происходит увеличение как упругих, так и неупругих (остаточных) деформаций бетона. Нарастание деформаций бетона носит плавный характер и происходит на всем протяжении



циклического нагружения. Наиболее заметные изменения циклических деформаций происходят примерно до  $2 \cdot 10^5$  циклов. При этом неупругие деформации, из-за виброползучести бетона, увеличиваются значительно интенсивнее, чем упругие. Интенсивность увеличения деформаций зависит от уровня максимальных напряжений цикла и коэффициента асимметрии цикла напряжений. При  $N = 1$ , вследствие развития мгновенных пластических деформаций, при первой загрузке и разгрузке образуется петля гистерезиса, например, при сжатии линия ОСС<sub>1</sub> на рис. 1. Площадь петли гистерезиса численно равна необратимой работе деформирования в каждом цикле. Основная часть этой работы переходит в тепло и рассеивается путем теплообмена. С увеличением количества циклов нагружения происходит постепенная выборка неупругих деформаций и площадь петли гистерезиса постепенно уменьшается, достигая в пределе стабильной величины.

Если  $S_b < R_{b,rep}$ , где  $R_{b,rep}$  – предел выносливости бетона, то деформации, постепенно затухая, достигают предельной величины, а стабильная зависимость между напряжениями и деформациями сохраняется при неограниченно большом числе циклов нагружения. Предел выносливости бетона при коэффициенте асимметрии цикла напряжений  $r = 0$  составляет  $R_{b,rep} \approx (0,5 - 0,55)S_{bu}$ . Если  $S_b > R_{b,rep}$  т.е. действующие в бетоне напряжения оказываются больше предела его выносливости, то в процессе циклического нагружения диаграммы деформаций бетона в координатах “ $S - e$ ” изменяются не только количественно, но и качественно: вначале выпуклая диаграмма превращается в прямолинейную, а затем - в вогнутую (рис. 2). Превращение выпуклой диаграммы (1) в прямолинейную (2) объясняется тем, что в процессе циклического нагружения проявляется

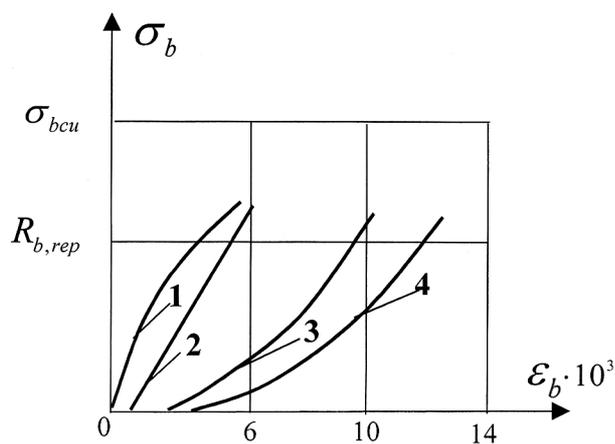


Рис. 2. Диаграммы деформирования бетона при циклическом сжатии, при напряжениях в нём

$S_b > R_{b,rep}$ : 1 –  $N = 1$ ; 2 –  $N = 10^3$ ; 3 –  $N = 10^5$ ; 4 –  $N = 2 \cdot 10^5$ .

большая часть пластических деформаций первого рода и бетон начинает работать упруго. Второе качественное превращение “ $S - e$ ” – трансформация прямолинейной диаграммы (2) в вогнутую (3 и 4) – связано с образованием и развитием микротрещин в бетоне.

Бетон является также ярко выраженным анизотропным материалом: его предельная сжимаемость  $e_{bcu}$  в среднем в 10 раз выше предельной растяжимости  $e_{btu}$  (соответственно на столько же пластический ресурс при сжатии больше, чем при растяжении), а предельные напряжения при сжатии  $S_{bcu}$  в зависимости от марки бетона в 10 и более раз больше предельного напряжения при растяжении  $S_{btu}$ .

Поэтому, при проведении усталостных испытаний с применением тепловизионного контроля в качестве опытных образцов были приняты железобетонные балки прямоугольного сечения размером 120x345x2000 мм, нагруженные двумя симметрично расположенными грузами, размещенными на расстоянии от опоры, равном  $0,96 h_0, 1,5 h_0, 2,5 h_0$ , где  $h_0$  – рабочая высота сечения балок.

Температура, как количественный показатель внутренней энергии тел, является универсальной характеристикой объектов и процессов физического мира, в котором непрерывно происходит генерация, преобразование, передача, накопление и использование энергии в ее различных формах. Анализ температурных полей позволяет получить разнообразную информацию о состоянии объектов и протекании физических процессов [2]. ИК (инфракрасная) термография, как один из методов теплового контроля, дает возможность дистанционной регистрации, визуализации и анализа температурных полей объектов. В настоящее время ИК-диагностика и методы теплового неразрушающего контроля представляют высокотехнологичную область прикладных исследований, которая объединяет достижения в теории теплопередачи, ИК-технологии и компьютерной обработки экспериментальных данных. Суть метода теплового контроля состоит в регистрации температурного поля на поверхности контролируемого изделия тепловизионной аппаратурой и последующем анализе термограмм с использованием ПЭВМ для обработки результатов и принятия решения.

В нашем случае, в силу специфики объекта исследования, а именно – изделие из тяжелого железобетона с высокой теплопроводностью, ожидаемые величины перепада температур, по поверхности которого могут составлять сотые и десятые градуса ( $0,01-0,1$  °C), накладываются определенные требования по выбору тепловизора с высокой температурной чувствительностью. Также необходимо учесть тот факт, что процесс усталостного



испытания – длительный процесс, в течение которого необходимо непрерывно фиксировать возможные механические изменения (деформации, образование трещин и их развитие и т.д.) одновременно с измерением поля температур поверхности. При этом требуется также регистрировать абсолютные значения температур в аномальных зонах на поверхности объекта. С учетом данных требований был выбран тепловизор-радиометр – «компьютерный термограф – ИРТИС-2000», имеющий следующие основные технические характеристики:

- чувствительность к перепаду температур на уровне 30 °С – 0,05 °С
- мгновенное поле зрения – 1,5 мрад.
- погрешность измерения – ±1%
- диапазон измерений – от -40 до 200 °С

Управление работой и предварительная обработка термоизображений проводятся на портативном компьютере NOTEBOOK, входящем в состав тепловизора. Экспериментальные исследования по выявлению зон концентрации напряжений в балках проводились в следующей последовательности. Первоначально балка устанавливалась на испытательный стенд и выдерживалась в лабораторных условиях не менее 24 часов с целью стабилизации ее температурных характеристик. Затем проводилась настройка тепловизионной аппаратуры с целью достижения оптимальных режимов регистрации тепловых полей поверхности балок. Далее начинался цикл усталостных испытаний по заданной программе.

Испытания многократно повторяющейся нагрузкой при различных уровнях циклической нагрузки с коэффициентом асимметрии цикла нагрузки  $r=0,33$  проводились на универсальной испытательной машине УРС-50. Все экспериментальные образцы были испытаны в заведомо жестком режиме с целью получения усталостного разрушения при заданных параметрах циклического нагружения. Температура внутреннего воздуха в помещении в момент испытаний составляла 17,2-17,7 °С. Измерение температурного поля поверхностей балок тепловизионной камерой ИРТИС осуществлялось в пределах первого цикла ( $N=1$ ) нагружения до максимальной нагрузки цикла, а затем через определенное количество циклов нагружения  $N_1, N_2 \dots N_n$  многократно повторяющейся циклической нагрузкой для того, чтобы получить динамику развития зон концентрации напряжений в зоне действия поперечных сил. При этом проводилась синхронная регистрация параметров циклического нагружения и соответствующих тепловизионных изображений на жестком диске NOTEBOOK. Тепловизионные изображения фиксировались как в режиме отдельных кадров, так и в режиме непрерывной съемки. Последнее применялось при приближении момента усталостного разрушения балки.

Проведенные усталостные испытания железобетонных балок на действие поперечных сил

с применением тепловизионного метода контроля с помощью тепловизора-радиометра ИРТИС-2000 подтверждают выдвинутое предположение о том, что в процессе циклического нагружения происходит определенный нагрев конструкции в зонах концентрации напряжений и за счет этого зоны концентрации напряжений четко выделяются на поверхности экспериментальных балок (рис. 3-5). В результате этого установлены положение, форма и размеры зон концентрации напряжений в железобетонных изгибаемых элементах в зоне действия поперечных сил при многократно повторяющихся нагружениях. Как следует из полученных термограмм балок, области концентрации напряжений в зоне действия поперечных сил имеют четко выделенные области с превышением температуры на +0,3 - +3 °С, по сравнению с температурой поверхности менее нагруженных областей (где нет концентрации напряжений). На этих термограммах температуры поверхностей балок после циклического нагружения указаны в °С. При этом в пределах самих зон концентрации напряжений распределение превышения температур имеет неравномерный характер, от +0,3 °С в средних точках зон концентрации напряжений до +3 °С и более вблизи опорных и грузовых пластин. Анализ полученных термограмм позволяет также установить, что положение и форма зон концентрации напряжений в зоне совместного действия поперечных сил и моментов зависят (в частности, для железобетонных изгибаемых элементов) от относительного

расстояния  $\frac{c_0}{h_0}$  между опорой и грузом, где  $c_0$  –

расстояние от оси опоры до оси груза. Очевидно, это связано с тем, что в зоне совместного действия поперечных сил и изгибающих моментов изменение

параметра  $\frac{c_0}{h_0}$  приводит к изменению величин

составляющих плоского напряженного состояния

$S_x, S_y, t_{xy}$  в бетоне и соотношения между ними. В результате меняются механизм работы, механизм и форма усталостного разрушения элемента и расчетная схема.

Как видно из рис. 3, при  $\frac{c_0}{h_0} < 1,2$  особенностью

работы изгибаемых элементов является образование локальных полос напряжений, связанных с точками приложения сосредоточенных внешних усилий, в пределах которых и происходит усталостное разрушение. Поэтому в процессе циклического нагружения, между опорной и грузовой пластинами

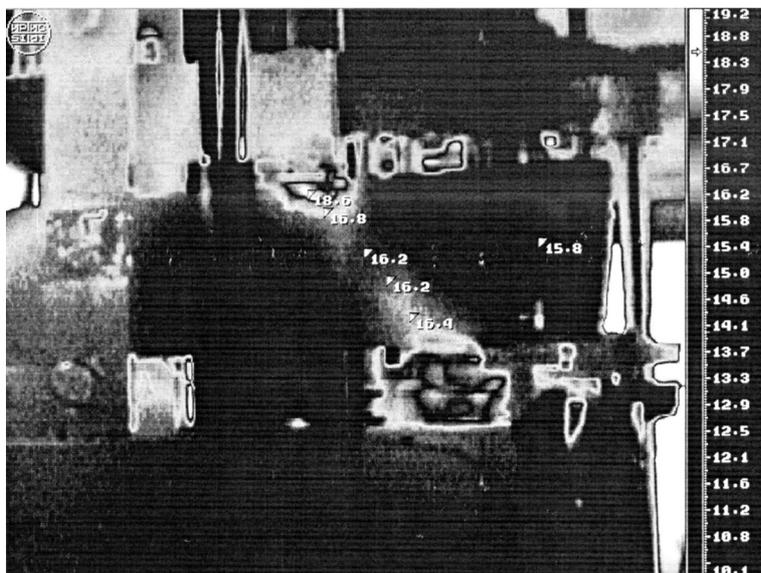


Рис. 3. Термограмма балки после циклического нагружения при  $\frac{c_0}{h_0} < 1,2$

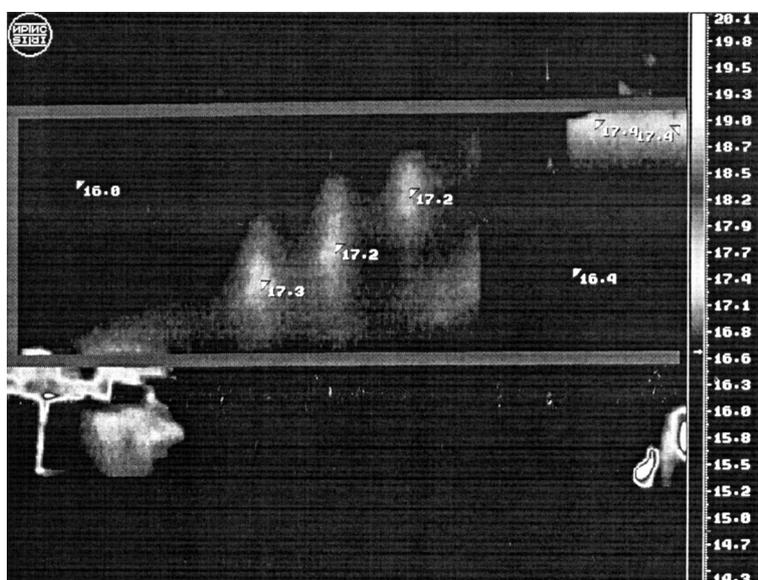


Рис. 4. Термограмма балки после циклического нагружения при  $\frac{c_0}{h_0} > 2,5$

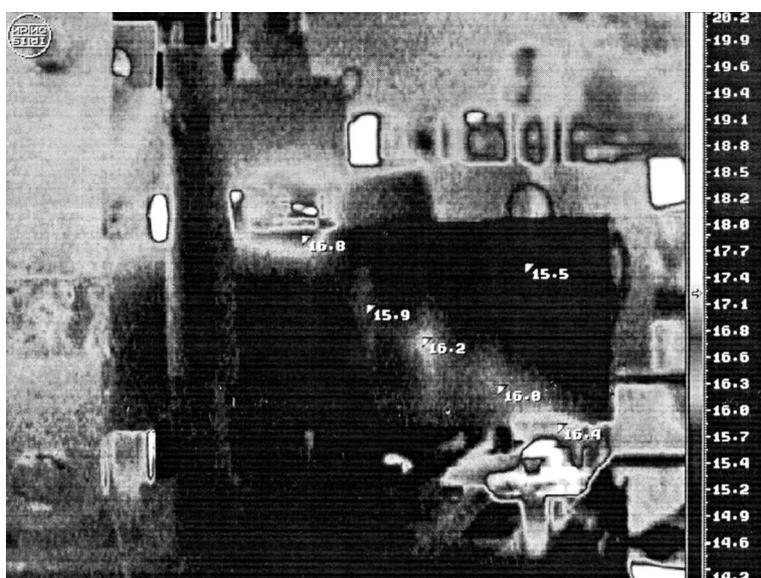


Рис. 5. Термограмма балки после циклического нагружения при  $1,2 < \frac{c_0}{h_0} < 2$



выделяется полоса с более высокой температурой, что является следствием концентрации сжимающих напряжений в пределах этой наклонной локальной полосы, в пределах которой из-за виброползучести бетона происходит усиленное развитие неупругих деформаций. Очевидно, поэтому эта локальная полоса концентрации напряжений между опорой и грузом в процессе циклического нагружения выделилась двумя трещинами вдоль ее границ и впоследствии между ними произошло усталостное раздробление бетона.

При  $\frac{c_0}{h_0} > 2,5$  на термограммах таких элементов

выделяется траектория наибольших главных сжимающих напряжений, вдоль которой и происходит усталостное разрушение изгибаемых элементов с образованием критической наклонной трещины, положение которой связано не с точками приложения действующих на элемент внешних усилий и реакций опор (местное возмущение напряженного состояния ощутимо только вблизи этих точек и они незначительны), а с внутренними силовыми факторами, действующими в рассматриваемых по длине опорной зоны сечениях (моментами и поперечными силами). После образования критической наклонной трещины происходит концентрация напряжений в бетоне сжатой зоны и в стержнях поперечной арматуры в местах пересечения с наклонной трещиной. Поэтому на термограмме

балок при  $\frac{c_0}{h_0} > 2,5$ , полученной после приложения

циклической нагрузки (рис. 4), эти места в поперечной арматуре и область концентрации напряжений в бетоне над критической наклонной трещиной нагреваются и за счет этого выделяются от менее нагруженных областей. При этом следует отметить, что температурные аномалии в поперечной арматуре проявляются даже сквозь толщу защитного слоя бетона.

При  $1,2 < \frac{c_0}{h_0} < 2$  элементы находятся на границе

двух предыдущих расчетных случаев и поэтому в них проявляются особенности как первых, так и вторых. В результате усталостное разрушение происходит с образованием критической наклонной трещины, но в то же время на напряженно-деформированное состояние и характер усталостного разрушения существенное влияние оказывают местные

возмущения (концентрации) напряжений вблизи опорной и особенно грузовой площадок. Поэтому на термограмме таких элементов (рис. 5) температурные аномалии в бетоне возникают в пределах наклонного сжимающего силового потока между точками приложения груза и опорной реакции, а также в поперечной арматуре – в местах пересечения с критической наклонной трещиной.

Итак, циклическое нагружение является тепловой стимуляцией материала в определенных областях, а именно, в областях, где усиленно развиваются неупругие (пластические) деформации, что повышает температуру этих областей материала. Поэтому при циклическом нагружении в местах концентрации напряжений вследствие неупругого деформирования материала конструкции происходит определенный нагрев этих зон. Определение этих температурных аномалий методом тепловизионного контроля позволяет установить зоны концентрации напряжений в конструктивных элементах. Параметры динамики температурных полей при циклическом нагружении зависят от уровня максимальной нагрузки цикла, частоты нагружения, пластического ресурса и свойств анизотропии.

Измерения температурных полей поверхностей балок в режиме отдельных кадров через определенное количество циклов нагружения, а с приближением разрушения – фиксирование термограмм в режиме непрерывной съемки, позволяют получить также и динамику развития зон концентрации напряжений в процессе циклического нагружения при действии поперечных сил. Непрерывная съемка термограмм (съемка термографического фильма) позволила зафиксировать весь процесс усталостного

сопротивления изгибаемых элементов при  $\frac{c_0}{h_0} < 1,2$  с

момента формирования локальной полосы концентрации напряжений до момента усталостного разрушения данного изгибаемого элемента.

### Литература

1. Павлов П.А. Основы инженерных расчетов элементов машин на усталостную и длительную прочность. – Л.: Машиностроение, 1988. – 250 с.
2. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Т. 5: В 2 кн. Кн. 1: Тепловой контроль. // В.П. Вавилов. – М.: Машиностроение, 2004. – 679 с.



УДК 624.138; 624.131.23

**В.Р. Мустакимов** – кандидат технических наук, доцент

**Р.И. Шафигуллин** – бакалавр

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НДС АРМИРОВАННОГО ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПЕСЧАНОГО ГРУНТА, ПРОЯВЛЯЮЩЕГО ПРОСАДОЧНЫЕ СВОЙСТВА В ОБЪЕМНОМ ЛОТКЕ**

### **АННОТАЦИЯ**

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния искусственно созданной в объемном лотке модели грунта, выполненной при помощи отсыпки мелкого песка без уплотнения, способного проявлять просадочные свойства при его увлажнении. Проведен цикл лабораторных исследований деформативности модели песчаного грунта, армированного различными вертикальными элементами в объемном лотке.

**V.R. Mustakimov** – candidate of technical science, associate professor

**R.I. Shafigullin** – bachelor

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## **RESEARCH OF TENSELY-DEFORMED CONDITION REINFORCED WITH VERTICAL ELEMENTS OF THE SANDY GROUND, WHICH DISPLAYS DEPOSIT PROPERTIES IN A VOLUMETRIC TRAY**

### **ABSTRACT**

The results of experimental research of tensely-deformed condition of artificially created ground model in a volumetric tray. The model is designed by providing of fine sand without condensation, capable to show deposit properties during its humidifying. The cycle of laboratory investigations on deformability of the sandy ground model reinforced with various vertical elements in a volumetric tray is carried out.

Напряженно-деформированное состояние грунтового массива, армированного вертикальными элементами, при приложении внешней нагрузки, отличается от НДС грунтового массива без армирования и массива грунта с погруженными в него сваями [1].

Исследованиям армированных оснований посвящены труды: В.И. Крутова, И.К. Попсуенко, С.П. Клепикова, А.И. Маркова, В.Г. Федоровского, Л.М. Тимофеевой, Т. Yamaguchi, Д.К. Джоунса и др.

Вопросы прочности и деформативности грунтов, армированных вертикальными элементами, изучены недостаточно. Отсутствует единая теория и методика расчета грунтов, проявляющих просадочные свойства, армированных вертикальными элементами при природной влажности и после увлажнения. Изучение состояния вопроса позволило обосновать направление дальнейшего развития исследований.

Маломасштабное моделирование процесса просадки грунта, армированного массива в стесненных условиях одометра рассмотрено в [2]. Отбор монолита просадочного грунта с ненарушенной структурой, для проведения штамповых испытаний в объемном лотке

размером 1,0x1,0x1,0 м не представляется возможным и является проблемой многих исследователей. В настоящей работе приводится использованная авторами методика подготовки и проведения лотковых испытаний. Приведены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния искусственно созданной в объемном лотке модели грунта, выполненной при помощи отсыпки мелкого песка без уплотнения, способного проявлять просадочные свойства при его увлажнении.

Авторами проведен цикл лабораторных исследований деформативности модели песчаного грунта, армированного различными по геометрическим параметрам, материалу и жесткости вертикальными элементами-моделями в объемном лотке (рис. 1а). Исследовались качественные и количественные характеристики деформативности рыхлого песка, не армированного и армированного вертикальными элементами. Испытаниям был подвергнут мелкий песок в рыхлом состоянии плотностью  $\rho = 1,41 \text{ г/см}^3$ ; с коэффициентом пористости  $e = 0,86$ ; модулем деформации  $E = 7,0 \text{ МПа}$ ;

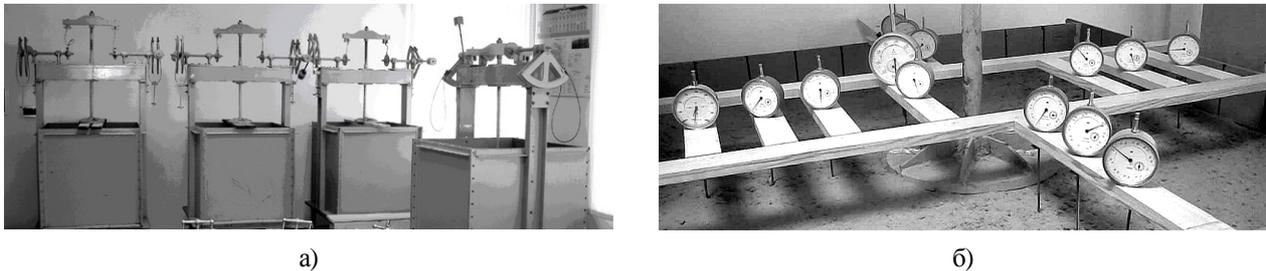


Рис. 1. Объемные лотки размером 1,0x1,0x1,0 м с системой двухрычажных грузозачных устройств (а) и реперная система с размещением приборов ИЧ (б)

степенью влажности  $S_r=0,4$ ; при различном проценте поперечного армирования грунта  $\mu, \%$ ; диаметре  $d_{ар}$  и длине  $l_{ар}$  армозащитных элементов.

При испытаниях были использованы стальные жесткие круглые штампы диаметром  $d_{шт.1}=280\text{ мм}$ , площадью  $A_{шт.1}=615\text{ см}^2$  и  $d_{шт.2}=130\text{ мм}$ , площадью  $A_{шт.2}=132\text{ см}^2$  расположенные по центру лотка (рис. 1б). Нагружение штампов осуществлялось посредством стального штока через раму, при помощи системы двухрычажных грузозачных устройств (рис. 1а). Для измерения вертикальных деформаций осадки  $S$  (до замачивания грунта  $S_r=0,4$ ) и просадки  $S_{ст}$  (после замачивания грунта до полного водонасыщения  $S_r>0,8$ ) использовались поверхностные «МП» и глубинные «МГ» марки. Глубинные и поверхностные марки располагались системно в левой или правой, по отношению к центральной оси симметрии, области объема массива исследуемого грунта с шагом по высоте и в плане, равным 100 мм (рис. 2). Перемещение марок «МП» и «МГ» совместно с массивом исследуемого грунта в лотке фиксировалось при помощи установленных на обрешетку каждой из марок индикаторов часового типа с соответствующим диапазоном измерений. Ожидаемые деформации до 10 мм фиксировались при помощи индикаторов часового типа ИЧ10МН.000ПС по ГОСТ 577-68 с ценой деления 0,01 мм, диапазоном измерения 0-10 мм. Для измерения деформаций грунта вместе маркой более 10мм при испытаниях использовались индикаторы часового типа ИЧ50000ПС по ТУ2-034-611-84 с диапазоном измерения 0-50 мм (рис.3, рис.6).

Статическое закрепление измерительных приборов производилось на реперную систему, выполненную из деревянных брусков сечением 30x50 мм с жестким креплением к стенкам лотка. Реперная конструкция располагалась над рабочей областью объемного лотка. Размещение, крепление и фиксация измерительных приборов производилась к реперной конструкции, в соответствии с рис. 1б.

В качестве армирующих элементов-моделей использовались цементогрунтовые армозащитные элементы сечением 40x40 мм, длиной  $L_{арм}=400\text{ мм}$  и стальные диаметром  $d=6\text{ мм}$  длиной  $L_{арм}=350\text{ мм}$  в пластиковой оболочке, создающей шероховатость по длине (рис. 2).

Программа исследований НДС грунта в объемном лотке включала испытание деформативности армированного грунта в зависимости: от принятой схемы вертикального армирования, включая расположение армозащитных элементов-моделей под контуром штампа (рис. 3) и за его пределами (рис. 4); от схемы передачи давления штампа на вертикально расположенные армозащитные элементы, включая, передачу давления непосредственно на обрешетку сжимаемого армозащитного элемента-модели, изготовленного из цементогрунта, а также через распределительную гравийно-песчаную подушку, армированную слоем нестяжимой геоткани, на нестяжимые (стальные) армозащитные элементы-модели.

Нагружение штампов производилось статической нагрузкой, прикладываемой ступенями по 1,0 кг на каждый из секторных рычагов системы двухрычажного грузозачного устройства. Каждая последующая ступень нагружения прикладывалась

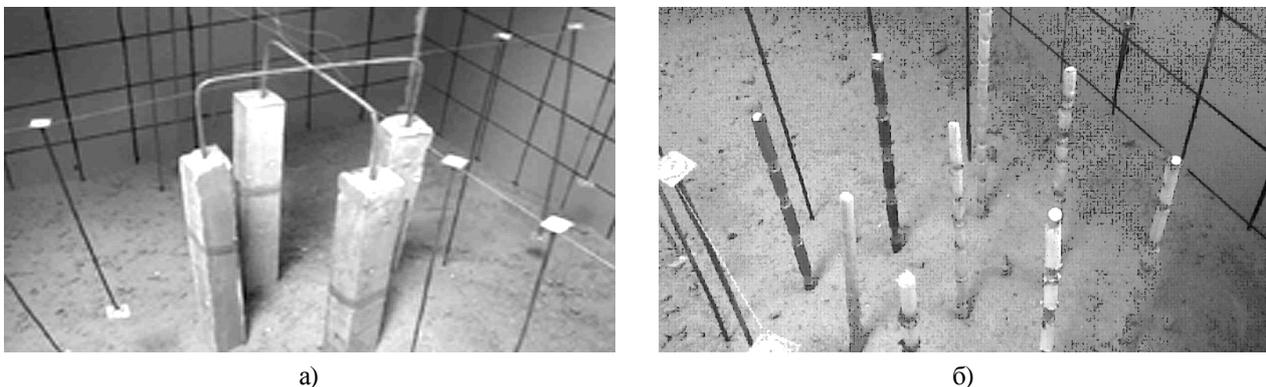


Рис. 2. Полость лотка с расположением армозащитных элементов и «МП», «МГ»: а – армирование только под штампом, б – армирование под штампом и за его контуром

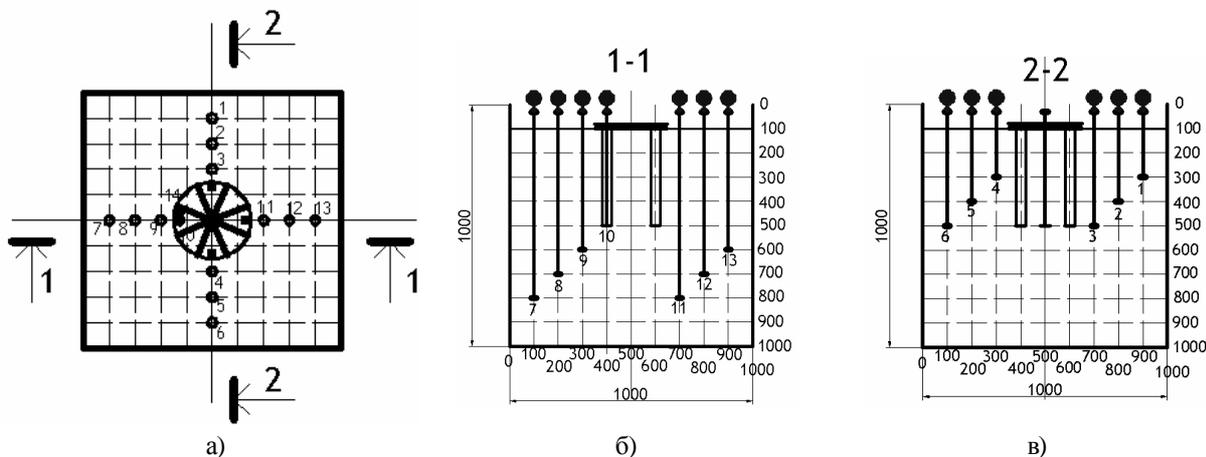


Рис. 3. Схемы к испытанию армированного вертикальными элементами рыхлого песка в лотке, при армировании только под штампом: а – план лотка, б и в – сечения 1-1 и 2-2

после полной стабилизации деформации армированного грунта от предыдущей ступени нагружения. При испытаниях армированного рыхлого песка опытная стабилизация деформации достигалась и фиксировалась в течение первых двух суток. Контактное давление « $P$ » под подошвой штампа площадью  $A_{um,1} = 615 \text{ см}^2$  перед замачиванием составляло  $0,02 \text{ кг/см}^2$ , а под штампом площадью  $A_{um,2} = 132 \text{ см}^2 - P = 0,09 \text{ кг/см}^2$ . Это позволило более достоверно моделировать работу квазипросадочного (якобы просадочного) грунта с проявлением деформации просадки при незначительных давлениях, сопоставимых с начальным просадочным давлением  $P_{st}$ . Графики зависимости изменения осадки-просадки от давления штампа на грунт в условиях объемного лотка приведены на рис. 5. На графиках участки а-б и в-г отображают процесс осадки армированного грунта  $S=f(P)$ , а участок б-в – стесненную просадку армированного массива [1].

При ступени нагружения  $N = 12,50 \text{ кг}$  на жесткие круглые штампы площадью  $A_{um,1} = 615 \text{ см}^2$  и  $A_{um,2} = 132 \text{ см}^2$ ,

производилось замачивание массива армированного грунта, до полного его водонасыщения ( $S_r=1$ ), по схеме сверху-вниз, из локального источника замачивания. Из графиков (рис. 5) видно, что при увлажнении квазипросадочного грунта происходит скачкообразная деформация грунта, аналогичная реальному процессу стесненной деформации просадки, происходящему в просадочных грунтах при их замачивании [1]. Следовательно, искусственно созданная в лабораторных условиях модель грунта из рыхлого мелкозернистого песка, с определенными допущениями, может быть использована в качестве массива при лабораторных исследованиях просадочных грунтов в лотке, с заданной величиной коэффициента относительной просадочности  $\varepsilon_{st}$  и начальным просадочным давлением  $P_{st}$ .

В результате проведенных экспериментов были получены данные о деформации моделируемого массива, армированного вертикальными и горизонтальными элементами квазипросадочного грунта, составлены таблицы значений осадки и

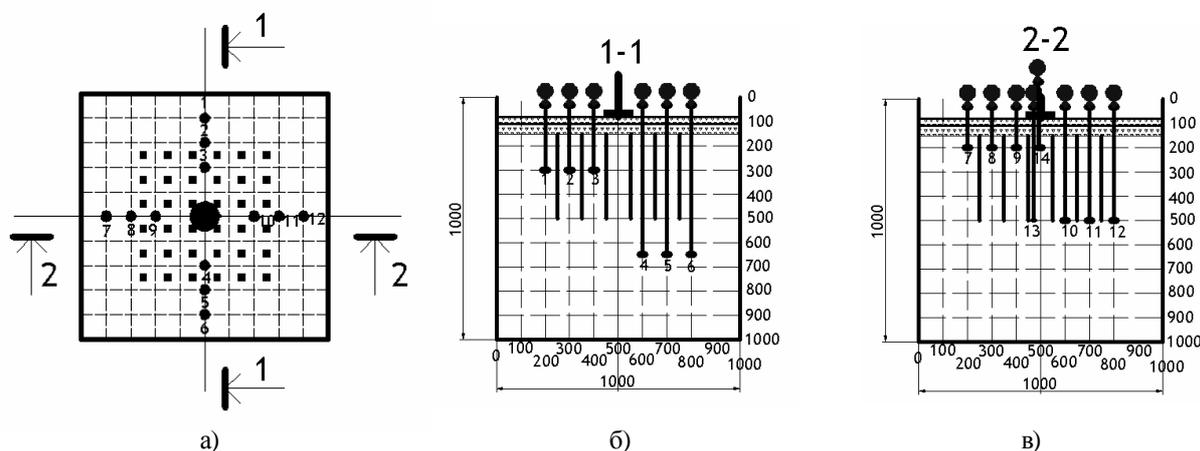


Рис. 4. Схемы к испытанию армированного вертикальными и горизонтальными элементами рыхлого песка в объемном лотке при армировании под штампом и за его контуром: а – план лотка с размещением штампа, глубинных марок, б и в – сечения 1-1 и 2-2

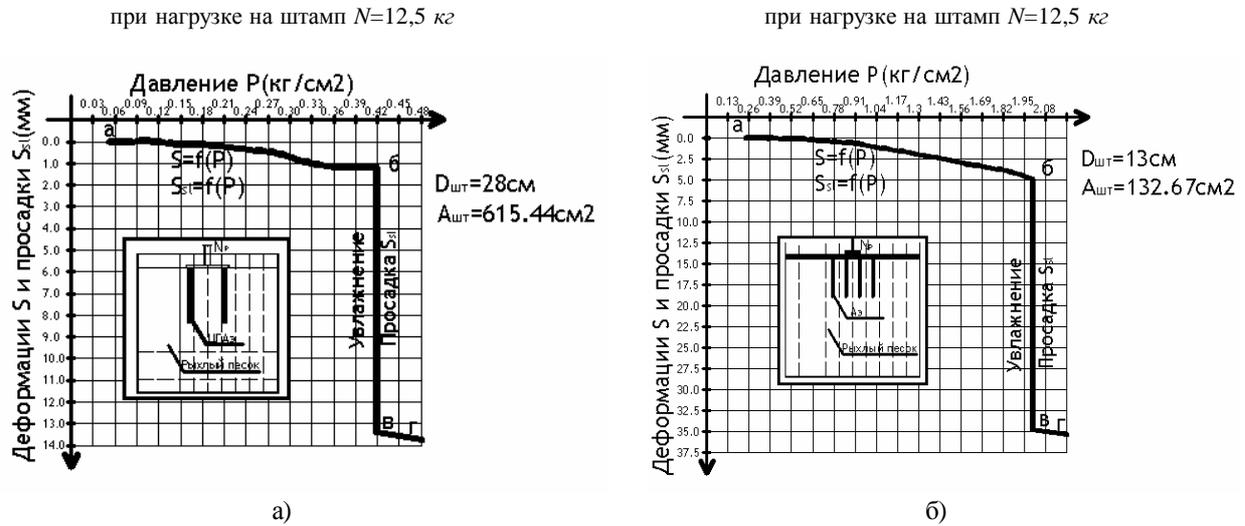


Рис. 5. Зависимости осадки  $S=f(P)$  и просадки  $S_{st}=f(P)$  от давления  $P$ :

а)  $S=f(P)$  и  $S_{st}=f(P)$  при испытании массива рыхлого песчаного грунта, проявляющего просадочные свойства, армированного только под штампом; б) то же - армированного вертикальными и горизонтальными элементами под штампом и за его контуром

просадки, по которым построены изолинии осадки до замачивания (рис. 6) и стесненной просадки после замачивания (рис. 7) армированного массива.

Экспериментально полученные значения вертикальных деформаций осадки и стесненной просадки массива армированного грунта в характерных точках, расположенных с принятым шагом  $100 \times 100 \times 100$  мм в пределах объема лотка  $1000 \times 1000 \times 1000$  мм, позволили построить объемные линии равных нормальных напряжений  $s_z$  [3]. Схемы развития линий равных вертикальных напряжений  $s_z$ , построенных по результатам эксперимента, в массиве рыхлого песчаного грунта, проявляющего просадочные свойства, армированного вертикальными элементами только под штампом, а также армированного вертикальными и горизонтальными элементами под штампом и за его контуром, при нагрузках на штамп

$N = 6,0$  кг (а),  $N = 12,5$  кг и  $S_r = 0,4$  (б) до увлажнения и при  $N = 12,5$  кг после замачивания сверху, до полного водонасыщения  $S_r = 1$  (в), приведены на рис. 8 и 9. Анализ построенных линий равных напряжений позволяет представить пространственную работу модели грунта, армированного вертикальными армоэлементами-моделями.

При вертикальном армировании грунта по схеме «армоэлемент-трения» только под подошвой штампа, без промежуточной подушки, с увеличением нагрузки на штамп происходит деформация осадки-стесненной просадки. По внешнему контуру, на боковой поверхности вертикально расположенных армоэлементов трения, за счет сил трения-сцепления окружающего их массива грунта, вовлекаясь в совместную работу, формируется симметричный пирамидально-конусообразный усеченный массив

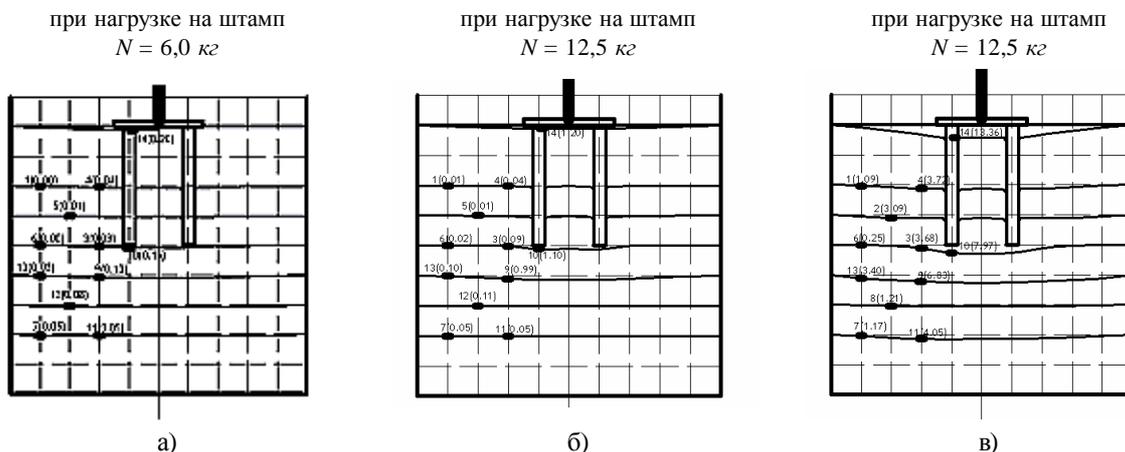


Рис. 6. Изолинии вертикальных деформаций осадки  $S$  поверхностных и глубинных марок № 1-14, до увлажнения грунта массива при нагрузках на штамп  $N=6,0$  кг (а),  $N=12,5$  кг,  $S_r=0,4$  (б) и просадки  $S_{st}$  после замачивания сверху рыхлого массива песчаного грунта, проявляющего просадочные свойства, при  $N=12,5$  кг и степени влажности  $S_r=1$  (в)

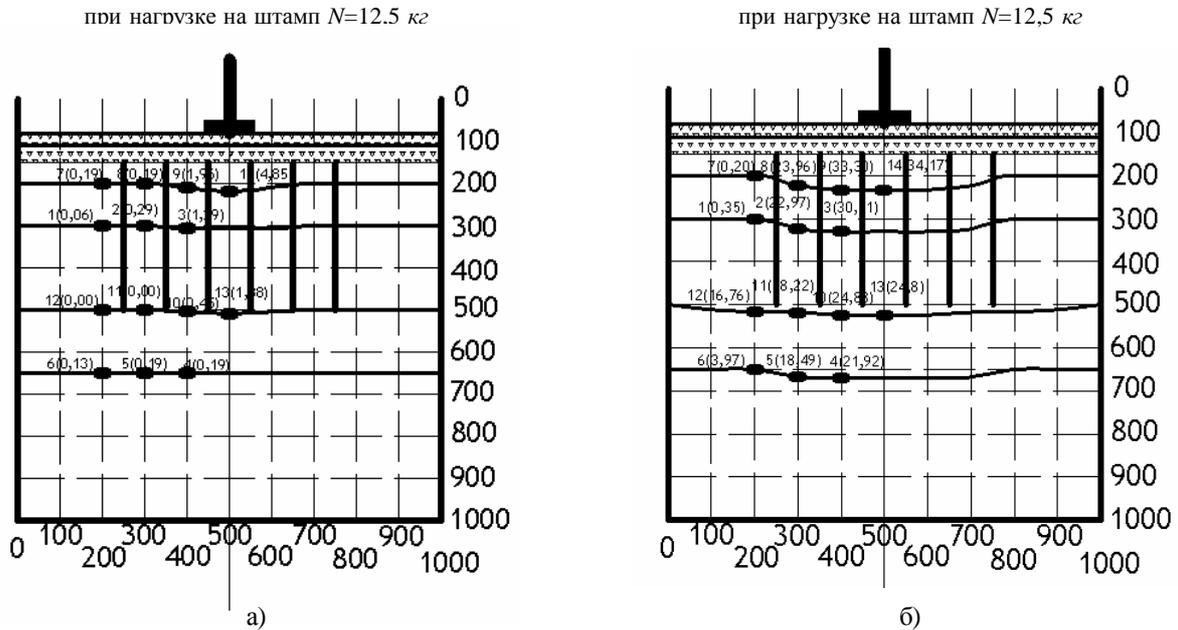


Рис. 7. Изолинии вертикальных деформаций осадки  $S$  поверхностных и глубинных марок № 1-14, до увлажнения грунта массива армированного вертикальными и горизонтальными элементами под штампом и за его контуром, при нагрузке на штамп  $N = 12,5 \text{ кг}$ ,  $S_r = 0,4$  (а) и просадки  $S_d$  после замачивания сверху рыхлого массива песчаного грунта, проявляющего просадочные свойства, при  $N = 12,5 \text{ кг}$  и степени влажности  $S_r = 1$  (б)

(рис. 8). Экспериментально установлено, что геометрическая форма развития линий равных напряжений  $s_z$  в массиве армированного грунта не постоянна, а изменяется в зависимости от уровня нагружения и изменения физико-механических свойств массива грунта в процессе его обжатия, вызванного увлажнением и следующими за этим процессами. В формировании линий равных напряжений, кроме сил трения-сцепления, участвует сопротивление сжатию массива грунта, расположенного ниже армированной по высоте зоны. На начальных стадиях нагружения (при  $N = 6,0 \text{ кг}$  и  $S_r = 0,4$ ) линии равных напряжений имеют переменную по высоте армирования форму,

переходящую от бочкообразного вида сверху, к усеченному конусу в основании армированного массива (рис. 8а). Это можно объяснить сжимаемостью вертикальных моделей армоэлементов, изготовленных из цементно-песчаного раствора. С дальнейшим увеличением нагрузки на штамп (при  $N = 12,5 \text{ кг}$  и  $S_r = 0,4$ ) и завершением сжатия армоэлементов, в совместную работу с моделями армирования включается окружающий массив грунта за счет сил трения-сцепления на боковой поверхности. При этом происходит смыкание двух зон (бочкообразной и конусной) в единую по форме конусно-цилиндрическую (рис. 8б). После увлажнения

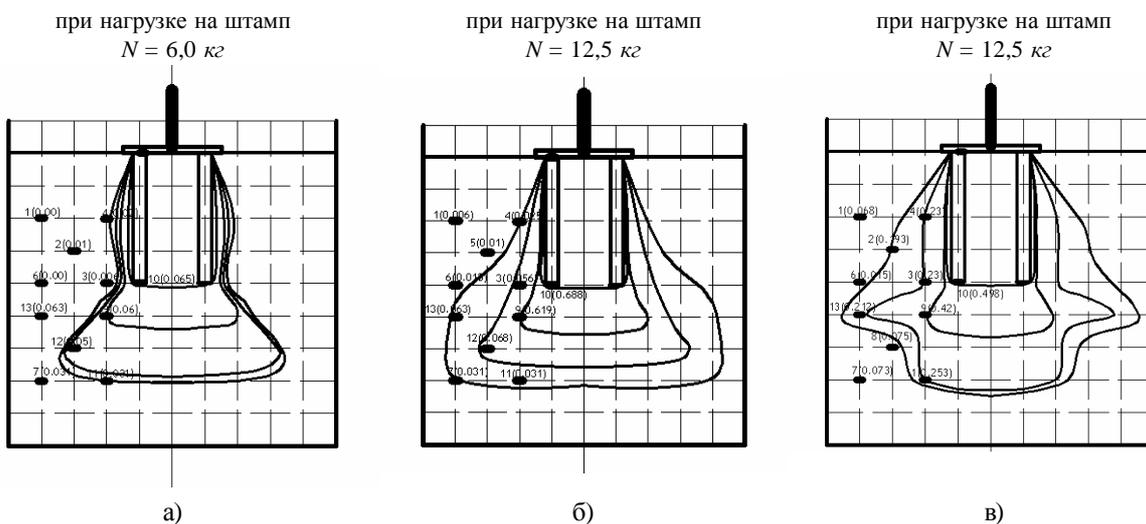


Рис. 8. Схемы развития экспериментальных линий равных напряжений  $s_z$  в массиве песчаного грунта, армированного вертикальными элементами только под штампом: а и б – до увлажнения, в – после замачивания сверху

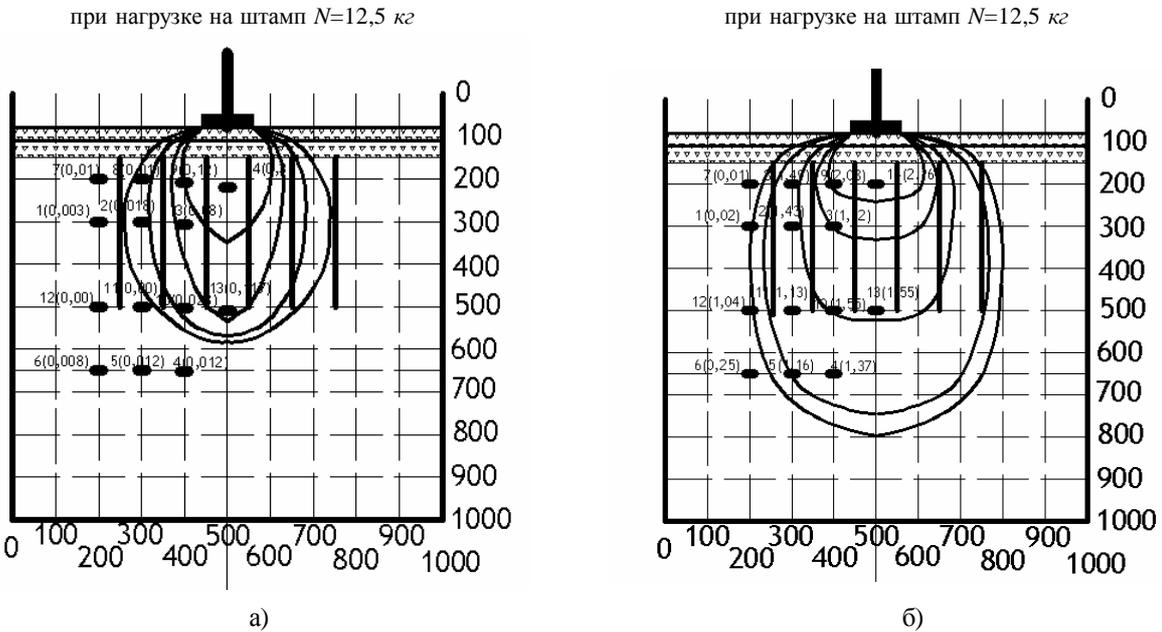


Рис. 9. Схемы развития экспериментальных линий равных напряжений  $S_i$  в массиве рыхлого песчаного грунта, армированного вертикальными и горизонтальными элементами под штампом и за его контуром: а и б – до увлажнения, в – после замачивания

армированного массива грунта ( $N = 12,5 \text{ кг}$  и  $S_r = 1$ ), при всех прочих условиях происходит перераспределение напряжений в массиве армированного грунта. Концентрация напряжений в нижней зоне армированного массива после увлажнения вызывает деформацию просадки  $S_{sl}$  под подошвой армированного массива и стесненную просадку  $S_{sl,ai}$  в пределах зоны армирования. Увеличение деформативности массива грунта после его замачивания приводит к некоторому развитию по глубине зоны распространения напряжений с формированием линий равных напряжений, изображенных на рис. 8в. Это объясняется тем, что замачивание производилось сверху вниз из локального источника, расположенного по оси симметрии штампа. Следовательно, форма линий равных напряжений после увлажнения соответствует закономерности фильтрации и распространения воды замачивания в песчаном грунте и имеет вытянутую по высоте «грушу увлажнения».

Несколько иная картина наблюдается при испытании модели песчаного грунта, армированного вертикальными и горизонтальными элементами под штампом и за его контуром, при маловлажном состоянии песка  $S_r = 0,4$  и после замачивания сверху от локального источника  $S_r = 1$  (рис. 9). Здесь наблюдается эффект перераспределения контактных напряжений от штампа на большую часть вертикальных армоэлементов, расположенных как под штампом, а также и за его контуром за счет имеющейся под подошвой штампа распределительной песчано-гравийной подушки толщиной 50 мм, горизонтально

армированной нерастяжимой геотканью толщиной 0,7 мм. Распределительный эффект вовлечения в совместную работу грунта и вертикальных армоэлементов возрастает в зависимости от уровня и времени включения в работу горизонтально армированной геотканью распределительной подушки.

Вертикальные напряжения  $S_i$  в каждой исследуемой точке массива грунта объемного лотка рассчитывались по формулам (1) и (2) с использованием экспериментально полученных значений деформаций глубинных марок. Исследовались деформации осадки  $S_{a,i}$  при природной влажности насыпного песка, проявляющего просадочные свойства и просадки  $S_{sl,ai}$  при замачивании массива грунта до полного водонасыщения по схеме сверху вниз.

$$S_i = \frac{S_{a,i} \cdot E_{a,i}}{b \cdot h_i}, \quad (1)$$

где  $S_{a,i}$  – экспериментально полученные деформации осадки рыхлого песка, армированного вертикальными элементами, от ступенчато прикладываемой к штампу статической нагрузки в объемном лотке до замачивания;  $E_{a,i}$  – эквивалентный модуль деформации

грунта в основании штампа [1];  $b = \frac{1 - 2m_0^2}{1 - m_0}$  –

коэффициент, характеризующий боковое расширение грунта;  $m_0$  – коэффициент относительной поперечной деформации, принимаемый по опытным данным (для песков  $m_0 = 0,20-0,25$ , глин и суглинков твердых и полутвердых  $m_0 = 0,10-0,15$ , тугопластичных  $m_0 = 0,20-0,25$ ,



пластичных и текучепластичных  $m_0 = 0,30-0,40$ , текучих  $m_0 = 0,45-0,50$ , супеси  $m_0 = 0,15-0,30$ ) [3];  $h_i$  – толщина слоя грунта.

$$s_i = \frac{S_{sl,a_i} \cdot E_{a,i}}{b \cdot h_i}, \quad (2)$$

где  $S_{sl,a_i}$  – экспериментально полученная деформация стесненной просадки массива рыхлого, армированного вертикальными элементами песка, проявляющего просадочные свойства при замачивании, или рассчитываемая по [1].

$$S_{sl,a_i} = \sum_{i=1}^n \frac{(s_{zg} + s_{zp}) \left[ 1 + \frac{d}{1-a_o} t^{1-a_o} \right]}{E_o^I \left( \frac{E_{a3}}{E_o^I} + \frac{1}{m} \right)} \cdot h_i \cdot k_{sl,i}, \quad (3)$$

В результате проведенных экспериментов по исследованию изменения НДС армированного вертикальными элементами песчаного грунта, проявляющего просадочные свойства в объемном лотке, можно сделать следующие выводы:

1. Экспериментально апробировано и установлено, что мелкий песок в рыхлом состоянии, как экспериментальная модель грунта, способен проявлять просадочные свойства при его замачивании, адекватные просадке грунта природного происхождения. Использование песка в рыхлом состоянии позволяет моделировать работу просадочного грунта, при испытании в объемном лотке большого размера.

2. Исследование деформированного состояния модели массива рыхлого песчаного грунта, армированного вертикальными и горизонтальными элементами с использованием системы поверхностных

«МП» и глубинных «МГ» марок, расположенных в массиве грунта по регулярной схеме с расчетным шагом 100 мм в объемном лотке размером 1000x1000x1000 мм, позволяет с достаточной достоверностью определить вертикальные напряжения в любой точке исследуемого массива грунта методом расчета по формулам (1, 2 из [3] и 3 из [1]) на любой ступени нагружения штампа.

3. При комбинированном армировании массива грунта вертикальными и горизонтальными элементами под штампом и за его контуром наблюдается эффект перераспределения контактных напряжений на большую часть вертикальных армоэлементов, за счет имеющейся под подошвой штампа распределительной песчано-гравийной подушки, горизонтально армированной нерастяжимой геотканью. Распределительный эффект вовлечения в совместную работу грунта и вертикальных армоэлементов возрастает в зависимости от уровня и времени включения в работу горизонтально армированной распределительной подушки (рис. 9).

### Литература

1. Мустакимов В.Р. Прочность и деформативность просадочных грунтов оснований, армированных вертикальными армоэлементами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: МГСУ, 2004. – 24 с.
2. Мустакимов В.Р., Шафигуллин Р.И., Иванова Е.В. Экспериментальные исследования стесненной просадки квазипросадочного и сжимаемости рыхлого песчаного грунтов, армированных вертикальными элементами. // Известия КГАСУ, 2007, №1(7). – С. 29-34.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1983. – 177 с.



УДК 624.012.4:624.93

**И.И. Мустафин** – кандидат технических наук, доцент**Р.Ф. Фардиев** – аспирант**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)****ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ОБОЙМЫ  
С УСИЛЯЕМЫМ ВНЕЦЕНТРЕННО-НАГРУЖЕННЫМ ЭЛЕМЕНТОМ****АННОТАЦИЯ**

В статье рассмотрен круг вопросов, касающихся обеспечения совместности работы сборного и монолитного бетонов в случае усиления внецентренно сжатых элементов железобетонной обоймой. Представлено расчетное выражение для определения требуемой толщины усиления из условия обеспечения прочности контактного шва на сдвиг. Рассмотрены основные расчётные выражения для проверки прочности контактного шва в случае использования шпонок и армирования поперечной арматурой. На основании предложенных теоретических предпосылок разработана программа экспериментальных исследований.

**I.I. Mustafin** – candidate of technical sciences, associate professor**R.F. Fardiev** – post-graduate student**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)****PROVIDING OF JOINTNING WORK OF REINFORCED-CONCRETE HOLDER WITH  
STRENGTHENED NON-CENTRIC LOADED ELEMENT****ABSTRACT**

The questions related to maintenance of joint work of modular and monolithic concretes in case of strengthening of non-centric compressed elements of reinforced concrete holder were considered. The settlement expression for definition of required thickness of strengthening at a given condition of maintenance of durability of a contact seam on shear is stated. The basic settlement expressions for the checking of the contact seam durability in case of using shear keys and reinforcing by cross-section reinforcement are considered. Based on stated theoretical preconditions the program of experimental research is developed.

Одним из распространенных вариантов применения сборно-монолитных конструкций является применение его при усилении внецентренно нагруженных колонн при реконструкции гражданских и промышленных зданий, а также при «новом» строительстве в случае ошибок, просчетов, допущенных на стадии проектирования и строительства. При усилении колонн широкое применение на практике нашли железобетонные обоймы.

Необходимым условием работы сборно-монолитных конструкций является обеспечение сцепления сборного и монолитного бетонов, т.е. обеспечение прочности контактного шва между «старым» и «новым» бетонами. Известно, что в контактном шве от действия на усиливаемый элемент изгибающих моментов и продольных сил возникают сдвиговые усилия, которые можно определить из анализа напряженно-деформированной схемы усиленного элемента со случайным эксцентриситетом

(рис.1). Применяя для элементарного слоя обоймы (узел 1, рис.1) закон Гука одновременно для сдвига и сжатия, получим расчётную зависимость для определения максимальных касательных напряжений:

$$t = Gt_{gj} = G \frac{\Delta l}{d} = \frac{kE_{ad}Nl_{ad}}{2(1+n)2A_c E_c d}, \quad (1)$$

где  $d$  – толщина элемента усиления,  $G$  – модуль упругости бетона при сдвиге,  $n$  – коэффициент Пуассона бетона,  $E_{ad}$  – модуль упругости бетона элемента усиления,  $E_c$  – приведенный модуль упругости железобетона усиливаемого элемента,  $k$  – коэффициент, учитывающий распределение касательных напряжений по длине железобетонной обоймы.

Сопrotивление контактного шва действию касательных напряжений будет обеспечено при соблюдении условия:

$$t \leq [t_{\text{н\ddot{a}}}] = R_{sh}, \quad (2)$$

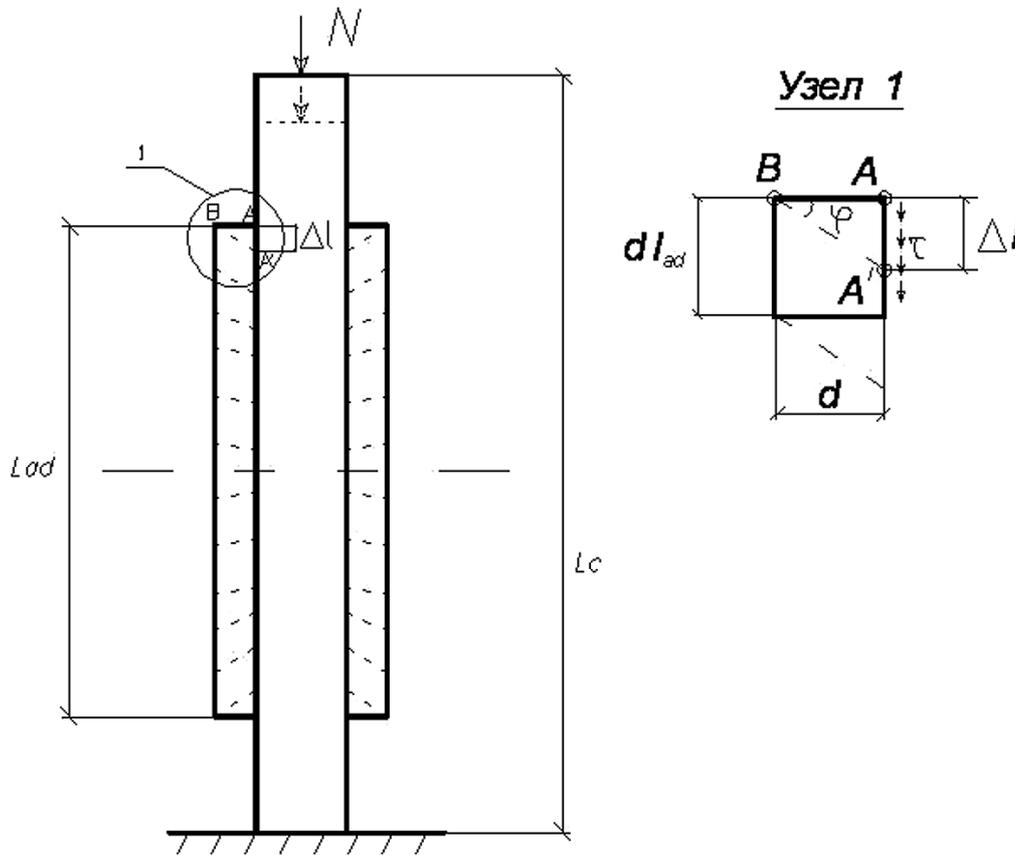


Рис. 1. Расчётная схема для определения касательных напряжений контактного шва

где  $R_{sh}$  – сопротивление шва сдвигу.

Из совместного решения выражений (1) и (2) можно определить требуемую толщину усиления, при которой будет обеспечена прочность контактного шва:

$$d \geq \frac{E_{ad} N l_{ad}}{8k E_c (1-n) A_c R_{sh}}, \quad (3)$$

При соблюдении условия (3) железобетонная обойма будет воспринимать часть продольного усилия. Величина передаваемой нагрузки на обойму, очевидно, будет зависеть от соотношения толщины усиливаемого элемента. Для проверки и корректировки полученного выражения (3), а также для исследования распределения нагрузки между усиливаемым элементом и обоймой толщина обоймы принята в качестве варьируемого параметра в экспериментальных исследованиях. С этой целью планируются испытания 3-х серий образцов (по 3 образца в каждой) с толщиной элемента усиления 30, 40, 50 мм (рис. 2).

Сопротивление шва сдвигу будет обеспечиваться за счет сопротивления сцепления, механического зацепления и обжатия бетона, которое допускается определить по аналогии с изгибаемыми элементами по формуле:

$$R_{sh} = R_{sh,b} = g_{b1} g_{b2} R_{bt} \left( 1 + g_{b4} \frac{S_{bm}}{R_{bt}} \right), \quad (4)$$

где  $g_{b1}$ ,  $g_{b2}$ ,  $g_{b4}$  – коэффициенты, учитывающие соответственно длительное действие нагрузки, влияние поверхности контактного шва на сцепление, влияние состояния поверхности контактного шва при его обжатии  $S_{bm}$  – среднее значение напряжения обжатия контактного шва.

Обжатие контактного шва при усилении внецентренно сжатых элементов происходит благодаря работе поперечной арматуры обоймы, а также усадке бетона обоймы. Величину обжатия контактного шва в данном случае допустимо определить по аналогии с расчётом внецентренно сжатых элементов с косвенным армированием сетками по формуле:

$$S_{bm} = 2j m_{s,ad} R_{s,ad}, \quad (5)$$

здесь  $m_{s,ad}$  – коэффициент поперечного армирования сечения усиленного элемента,  $R_{s,ad}$  – расчётное сопротивление поперечной арматуры обоймы,  $\varphi$  – коэффициент эффективности поперечного армирования. Согласно пособию к СНиП [3] величина коэффициента эффективности поперечного армирования является функцией коэффициента



поперечного армирования, приведённого расчётного сопротивления бетона, расчётного сопротивления поперечной арматуры обоймы:

$$j = f(m_{s,ad}, R_{b,red}, R_{sw,ad}). \quad (6)$$

Вид данной функции для случая усиления обоймой предполагается получить в ходе обработки результатов численных и экспериментальных исследований. Следует также отметить, что обжатие обоймой основного элемента не только оказывает влияние на прочность контактного шва, но и увеличивает расчетное сопротивление сжатию бетона основного элемента, находящегося в условиях всестороннего обжатия. Для исследования влияния поперечного армирования принято решение проведения испытаний 2-х серий образцов с шагом поперечных стержней 50 и 100 мм (рис. 2).

Что касается назначения толщины обоймы, то анализ формулы (3) показал, что расчётная толщина обоймы может оказаться больше, чем требуется для восприятия продольной сжимающей силы. При этом целесообразно уменьшение толщины обоймы, но для обеспечения прочности контактного шва использовать шпонки, либо поперечную арматуру, пересекающую контактный шов. При этом суммарное расчетное сопротивление сдвигу  $R_{sh}$  контактного шва можно принять по формуле:

$$R_{sh} = R_{sh,b} + R_{sh,s} + R_{sh,n}, \quad (7)$$

где  $R_{sh,s}$  – сопротивление шва сдвигу за счет работы на срез поперечной арматуры, пересекающей шов;  $R_{sh,n}$  – сопротивление шва сдвигу за счет работы поперечных шпонок.

Сопротивление контактного шва за счёт работы бетонных шпонок в выражении следует принять равным меньшему из значений сопротивлений соответствующих разрушению бетонной шпонки от среза, смятия и образования наклонных трещин соответственно по формулам:

$$R_{sh} = 2R_{br} A_{sh}, \quad (8)$$

$$R_c = 1,5R_{loc} A_c, \quad (9)$$

$$R_{crc,b} = 0,7R_{loc} A_{crc}, \quad (10)$$

Для получения действительной работы, механизма разрушения шпоночного соединения в данном случае предполагается испытание 2-х серий образцов с длиной шпоночного соединения 50 мм и 90 мм (рис. 2).

В случае невозможности устройства шпонок для обеспечения прочности контактного шва целесообразно использовать нагельный эффект арматуры, пересекающей контактный шов.

Сопротивление контактного шва за счет работы на срез поперечной арматуры, пересекающей контактный шов, можно определить, воспользовавшись формулой, приведенной в пособии по проектированию сборно-

монолитных конструкций [5]:

$$R_{sh,s} = 0,65\sqrt{R_b^2 E_s m_{sw}} \leq 0,7 m_{sw} R_s \quad (11)$$

Однако данное расчётное выражение получено для случая усиления изгибаемого элемента. Возможность применения выражения (11) для случая внецентренного сжатия и определения эффективности применения армирования контактного шва, принято решение провести испытание 2-х серий образцов с арматурой, пересекающей контактный шов (рис. 2).

Другой важной определяющей характеристикой работы усиленной конструкции является эксцентриситет приложения продольной силы. Для оценки напряжённо-деформированного состояния усиленного элемента важным является правильное принятие величины эксцентриситета приложения нагрузки. Если до усиления продольная сжимающая сила была приложена вне пределов ядра сечения (случай больших эксцентриситетов), то после усиления с увеличением поперечного сечения сила может оказаться приложенной в пределах ядра (случай малых эксцентриситетов). Так, согласно исследованиям Теряника В.В. [1] «эффект обоймы» с ростом эксцентриситета приложения нагрузки снижется, следовательно, при определённом его значении обойма будет работать так же, как и одностороннее наращивание сечения. Но остаётся неясным, при каких параметрах целесообразно применить тот или иной способ усиления.

Весьма важным также является наличие или отсутствие предварительного разгрузки конструкции перед её усилением. Для обеспечения включения в работу элемента усиления ранее существовало требование о разгрузке конструкции при усилении, но это часто вызывает затруднения. Поэтому для учёта степени разгрузки конструкции в литературных источниках по усилению конструкций [2, 7] предлагается вводить коэффициент 0,8 к расчётному сопротивлению бетона и арматуры усиления при нагрузке, превышающей 65% от расчётной на момент усиления. Данный коэффициент является весьма приближённым и не может учитывать степень нагруженности элемента, явление ползучести и т.п.

Немаловажным фактором является и способ передачи нагрузки, которая не передаётся непосредственно на элемент усиления без специальных устройств. Бетон и арматура элемента усиления в этом случае не могут в полной мере воспринимать все усилия. Для учёта данного фактора согласно пособию по проектированию каменных конструкций [4] в расчёте для усилия, воспринимаемого обоймой, вводятся коэффициенты: 1 – при наличии передачи нагрузки на опоры сверху и снизу, 0,7 – при передаче нагрузки на опору снизу, 0,35 – при отсутствии передачи нагрузки. Т.е. сечение обоймы может воспринимать лишь 35 % нагрузки при отсутствии

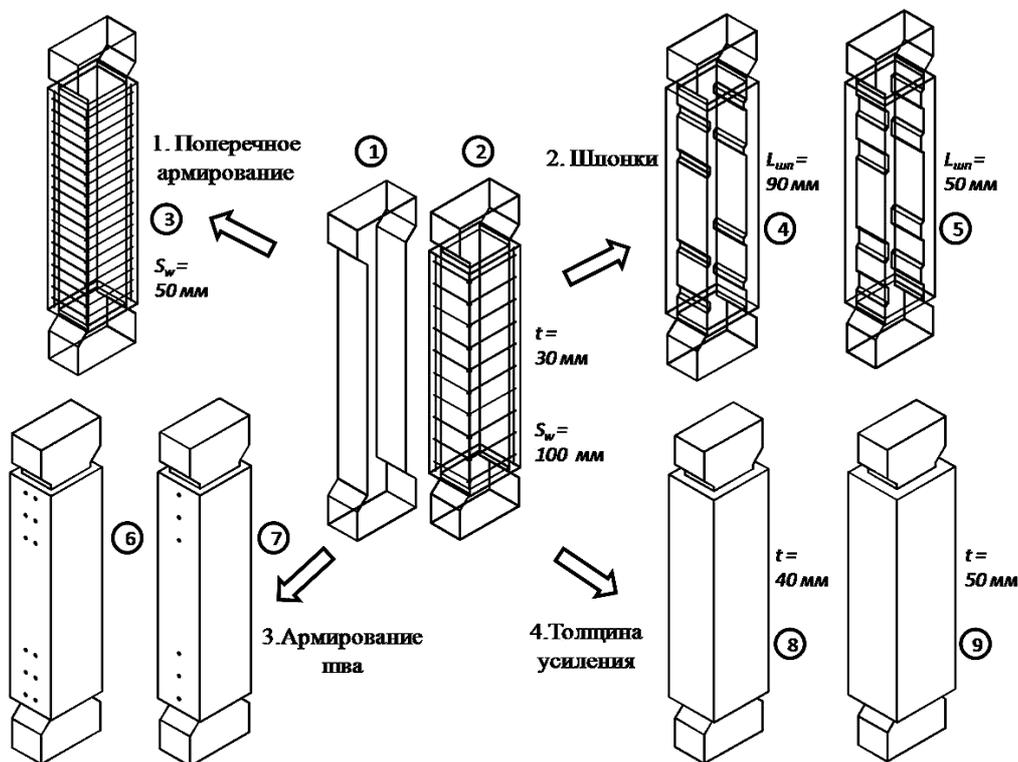


Рис. 2. Программа экспериментальных исследований

передачи нагрузки. Степень включения в работу элемента усиления зависит в той или иной степени от многих факторов: соотношений размеров усиляемого элемента и элемента усиления, соотношений классов бетона, поперечного армирования, прочности контактной зоны и т.п.

Усиление производят, как правило, конструкций со значительным сроком службы, материал которых подвержен всякого рода изменениям (ползучесть, коррозия, микроструктурные изменения, микротрещины и др.) Материал же усиления новый, с совершенно иными прочностными показателями и не имеющий существенных повреждений.

Для изучения перечисленных выше факторов с учётом проведенных численных исследований применяется программа экспериментальных исследований (рис. 2). Предложенная программа экспериментальных исследований охватывает целый круг вопросов, связанных с обеспечением совместной работы «старого» и «нового» бетонов для случая усиления внецентренно сжатых элементов устройством железобетонной обоймы.

Для экспериментальных образцов в качестве материала всех элементов принят бетон класса В15. Основной элемент армируется 4-мя стрежнями продольной арматуры  $\varnothing 10 \text{ мм}$  и поперечной –  $\varnothing 5 \text{ мм}$  с шагом 200 мм. Железобетонные обоймы армируются продольной арматурой  $\varnothing 10 \text{ мм}$ , поперечной –  $\varnothing 5 \text{ мм}$ . Все геометрические параметры образцов приняты с коэффициентом подобия реальным конструкциям,

равным 0,5; длина элементов принята равной 1,5 м, размеры поперечного сечения основного элемента –  $15 \times 20 \text{ см}$ .

### Литература

1. Гроздов В.Т., Теряник В.В. О прочности и деформативности внецентренно сжатых колонн, усиленных обоймами // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1991, № 2. – С. 128-130.
2. Лазовский Д.Н., Пецольд Т.М. Усиление железобетонных конструкций. Пособие П 1-98 к СНиП 2.03.01-84\*. – Минск: ГП «Стройтехнорм». – С. 198.
3. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелых и легких бетонов без предварительного напряжения арматуры (к СНиП 2.03.01-84). – ЦНИИПромзданий, 1984.
4. Пособие по проектированию каменных и армокаменных конструкций (к СНиП II-22-81). – М.: Центральный институт типового проектирования, 1989.
5. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций. Справочное пособие к СНиП 2.03.01-84\*. – М.: Стройиздат, 1991.
6. Пособие по проектированию жилых зданий (к СНиП 2.08.01-89\*). – М., 2000.
7. Рекомендации по проектированию усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений реконструируемых предприятий. Надземные конструкции и сооружения. НИИЖБ. – М.: Стройиздат, 1992. – С. 191.



УДК 624.07.012.45

**С.В. Прохоров** – кандидат технических наук, доцент

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## ОПТИМИЗАЦИЯ АРМАТУРЫ СИЛЬНО НАГРУЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН СО СЛУЧАЙНЫМИ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТАМИ

### АННОТАЦИЯ

Работа посвящена сравнительно мало распространенному виду железобетонных конструкций, воспринимающих большие продольные усилия. Сюда относятся, например, колонны нижних этажей зданий, имеющих этажность 20 и более этажей. В таких колоннах используются продольные стержни из высокопрочных сталей А-IV и выше. Чтобы повысить прочность сжатого бетона, кроме продольных стержней, вводится косвенная арматура в виде часто расположенных сеток или спиралей, создающих эффект обоймы. Параметры косвенного армирования в данной работе выбираются из условия, когда продольные стержни могут достигать величины приведенного сопротивления сжатию, равному численно расчетному сопротивлению рассчитываемого напряжения.

**S.V. Prokhorov** – candidate of technical sciences, associate professor

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## OPTIMIZATION OF ARMATURE POWERFULLY LOADED PILLARS WITH CASUAL ECCENTRICITY

### ABSTRACT

The research is dedicated to relatively not well-spread type of ferro-concrete constructions, perceiving the great longitudinal efforts. Here pertain, for instance, pillars of the ground floors in the buildings with more than 20 floors. Longitudinal pivots in such pillars are made of high-durable steel (A-IV and above). To raise toughness of the compressed concrete except longitudinal pivots the indirect armature consisting of nets or spirals of high density is included. The last ones similar to the cartridge clip. Indirect armored parameters are chosen in relation to condition, when longitudinal pivots can reach the resistance compression values, equal to numerically accounted resistance of calculating voltage.

Колонны такого типа при величине продольной сжимающей силы от расчетной нагрузки свыше 3000 кН целесообразно снабжать смешанной арматурой, состоящей из двух компонентов: 1) продольных стержней из высокопрочной стали (класс не ниже А-IV) и 2) косвенной арматуры в виде часто расположенных сварных сеток или спиралей, создающих эффект обоймы, т.е. обеспечивающих работу бетона в условиях трехосного сжатия.

В данной статье рассматриваются элементы с косвенной арматурой в виде сварных сеток. Сечение колонны принято квадратным, а её гибкость весьма

малой (не более  $\frac{l_0}{i} \leq 20$ ), где  $l_0$  – расчетная длина

элемента,  $i$  – радиус инерции её поперечного сечения.

Для расчета по несущей способности может быть использовано следующее выражение

$$Nj^* = R_{b,red} A_{ef} + R_{sc,red} A_{s,tot} \quad (1)$$

Здесь  $R_{b,red}$  и  $R_{sc,red}$  – приведенные величины расчетных сопротивлений сжатию бетона и сжатой арматуры,  $A_{ef}$  – площадь ядра сечения, заключенного внутри контура сеток,  $A_{s,tot}$  – суммарная площадь сечений продольных стержней,  $j \approx 1$  – коэффициент продольного изгиба колонны, который можно принять равным единице.

Равенства для вычисления  $R_{b,red}$  и  $R_{sc,red}$  при армировании колонн с одинаковыми параметрами стержней двух направлений могут быть представлены в следующем виде:

$$R_{b,red} = R_b + j m_{net} R_{sc,net}, \quad (2)$$

$$R_{sc,red} = R_{sc} \frac{1 + d(x^2 - 1)}{1 + d(x - 1)} \leq R_s, \quad (3)$$



$$d = \frac{8,5E_s y q}{R_s 10^3}, \quad (4)$$

$$x = \frac{R_s}{R_{sc}}, \quad (5)$$

$$j = \frac{1}{0,23 + y}, \quad (6)$$

$$y = \frac{m_{net} R_{s,tot}}{R_b + 10}, \quad (7)$$

$$m_{net} = 2 \frac{n_{net} A_{s,net}}{A_{ef} S}, \quad (8)$$

Размерность  $R_{s,net}$ ,  $R_b$  - в МПа,  $j$  - коэффициент эффективности косвенного армирования,  $m_{net}$  - объемный коэффициент косвенного армирования (при квадратных ячейках сеток),  $S$  - расстояние между сетками по длине колонны.

Значение параметра  $q$  вычисляются по формуле:

$$q = \left[ 0,8 + h \frac{A_{s,tot}}{A_{ef}} \left( 1 - \frac{R_s}{100} \right) \right] \leq 1,6, \quad (9)$$

где  $h = 25$  для арматуры класса А-IV и выше.

Обращаясь к равенству (2), примем  $R_{sc,red} = R_s$  с целью наиболее полного использования прочностных возможностей высокопрочной стали. При этом условии равенство (4) дает  $d = 1$ , что позволяет найти величину  $j$ , а затем соответствующее значение  $m_{net}$

$$m_{net} = \frac{(R_b + 10)}{R_{s,net}} y. \quad (10)$$

Принимая различные значения параметров стержней сварных сеток, формируем массив величин  $S$ . Теперь строим алгоритм оптимизации смешанной арматуры колонн.

Объем продольных стержней на длине  $S$  составит

$$V_s = A_{s,tot} S \quad (11)$$

Объем стержней одной сетки на том же участке

$$V_{net} = m_{net} A_{ef} S \quad (12)$$

Стоимость на условную единицу объема колонн

$$C = C_s V_s + C_{net} V_{net}, \quad (13)$$

где  $C_s$  и  $C_{net}$  - условные удельные стоимости арматуры.

При варьировании величины  $q$  в пределах от 1,0 до 1,6 можно получить массив  $\bar{m} = (m_{net})$  и соответственно массив  $m^*(A_{s,tot})$ , полученный из выражения

$$A_{s,tot} = \frac{N - R_{b,red} A_{ef}}{R_s}. \quad (14)$$

Примечание. Программа для выполнения расчета по заданному алгоритму может принять «телескопический» вид. При отсутствии сетчатой арматуры следует принять  $R_{s,net} = 0$ .

### Литература

1. СНиП 2.03-81\* Бетонные и железобетонные конструкции. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. - 85 с.



УДК 624.04.014.27

Л.С. Сабитов – аспирант

Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНЫХ ТРУБ РАЗНОГО ДИАМЕТРА

### АННОТАЦИЯ

Рассматриваются новые узлы соединения труб разного диаметра, обеспечивающие соединение элементов в опорах контактных линий, рекламных конструкциях и т.д. Конструкция узлов предусматривает установку трубы в трубу с различными вариантами их фиксации, а именно за счёт сварки, заделки бетоном и болтовых креплений.

L.S. Sabitov – post-graduate student

Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)

## DESIGN AND RESEARCH OF CONNECTIONS OF STEEL PIPES OF DIFFERENT DIAMETERS

### ABSTRACT

The new connection joints of pipes of different diameters are considered; they provide the connection of elements in contact line poles, advertisement structures, etc. The design of connection joint suggests the pipe-into-pipe installation with several versions of the pipe fixation, that is: by welding, embedment into concrete, and using the bolt fixture.

В конструкциях опор контактных сетей электротранспорта, рекламных конструкций и других видов опор возникает необходимость соединения отдельных звеньев труб разного диаметра [1]. Наиболее распространённые способы соединения труб разного диаметра приведены на рис. 1. Соединения звеньев труб разного диаметра (рис. 1 а) решено при помощи торцевой фасонки без заделки концов труб друг в друга.

Следующее соединение (рис. 1 б) включает концы труб, вставленных друг в друга, а их соединение выполняется на сварке за счёт фасонки, врезанных в прорези трубы большего диаметра.

Применяются соединения (рис. 1 в), в которых концы труб, вставленных друг в друга, фиксируются прокладками и торцевой заглушкой.

Технико-экономический анализ приведённых выше решений узловых соединений показал недостаточную их эффективность как по расходу стали, трудоёмкости их выполнения, так и надёжности эксплуатации.

Первый способ представляет соединение по типу «труба в трубе» [2], взаимное соединение труб происходит через щелевые прорези на сварке (рис. 2 а). На трубу меньшего диаметра привариваются пластинки необходимой толщины (разница диаметров стыкуемых труб). При помощи данного способа рекомендуется соединять трубы, у которых разница

соседних калибров небольшая  $\frac{d_1}{d_2} = 0.9 - 0.95$ , так как

при большой разнице диаметров труб увеличивается трудоёмкость работ при выполнении окончательного закрепления концов труб.

При расчёте предлагаемого соединения существенным оказался вопрос величины заделки трубы меньшего диаметра  $d$  в трубу большего диаметра  $D$ . Численные исследования напряжённо-

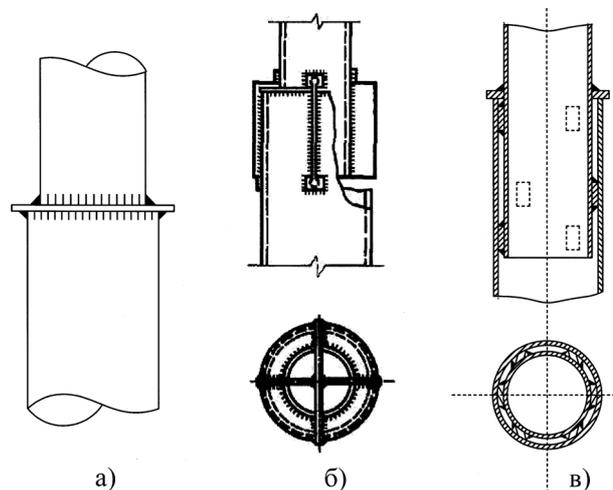


Рис.1. Виды соединений труб разных диаметров:  
а) встык при помощи торцевой фасонки, б) труба в трубе при помощи крестовых врезных фасонки, в) соединение через промежуточные пластинки



деформированного состояния проводились для опоры высотой  $H=12$  м, которая состоит из двух звеньев: нижнего  $h_1=6$  м и верхнего  $h_2=6$  м, при этом нижнее звено выполнено из трубы  $273 \times 5$  мм, верхнее – из трубы  $219 \times 5$  мм. Опора моделировалась изотропным пластинчатым конечным элементом на вычислительном комплексе «Лира» в геометрически нелинейной постановке. При этом основными исследуемыми параметрами явились напряжения в конечных элементах, моделирующих сварные швы в зависимости от глубины заделки  $h$ . В результате исследований получены графики изменения внутренних усилий в сварных швах в зависимости от глубины заделки (рис. 3).

Из графиков видно, что, начиная от 40-45 см, усилия  $N, Q, M$  в двух - узловых КЭ стержнях практически не изменяются.

Исследуя рассматриваемый узел соединения труб для различных диаметров, установлено, что оптимальная глубина заделки трубы меньшего диаметра в трубу большего диаметра составляет  $2d_1$ , при которой усилия остаются неизменными. В нашем случае для диаметра 21,9 см глубина заделки 43,8 см.

Данный способ соединения был реализован при строительстве опор для светосигнального оборудования и рекламных конструкций в г. Казани.

Второй способ соединения труб разных диаметров (рис.2 б) направлен на снижение трудоёмкости сварочных работ и повышение прочности узла, что особенно важно при применении тонкостенных труб

и соотношении диаметров  $\frac{d_1}{d_2} = 0,4 - 0,6$ , где  $d_1$  –

диаметр трубы меньшего диаметра,  $d_2$  – диаметр трубы большего диаметра [3]. Конструкция узла соединения заключается в том, что внутренняя кольцевая полость нахлёста заполняется расширяющимся бетоном. В качестве заполнителя можно использовать, например, гипсоглиноземистый расширяющийся цемент [4], который является разновидностью глиноземистого цемента и представляет собой смесь тонкоизмельченных глиноземистых доменных шлаков и гипсового камня в процентном соотношении 70:30. Цемент выпускается по ГОСТ 11052-74. Бетоны и растворы, приготовленные на гипсоглиноземистом расширяющемся цементе, обладают водонепроницаемостью при избыточном давлении воды 10 атм. (1,0 МПа). Через образцы из раствора цемента с нормальным песком в пропорции 1:2 по массе, испытанным в течение 24-х часов, не должно быть фильтрации воды.

После набора бетона проектной прочности узловое соединение труб способно воспринимать значительные горизонтальные усилия, например, от ветра или подвешенных проводов.

Третий способ соединения представляет собой сборно-разборное соединение труб разного диаметра (рис. 4). Этот способ направлен на обеспечение

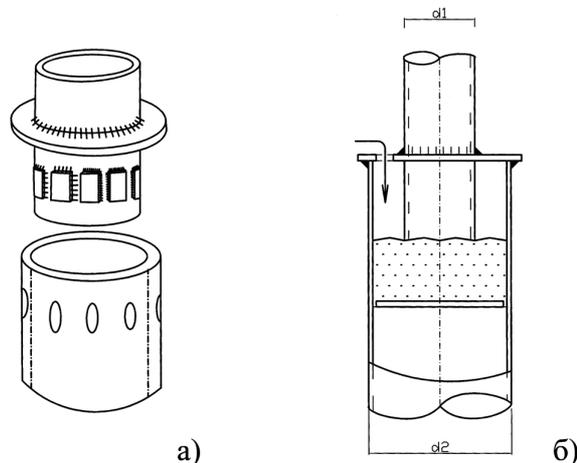


Рис. 2. Способы соединений труб разного диаметра

сборно-разборности узлового соединения при обеспечении высокой прочности на действие изгибающего момента.

Сборка предлагаемого узла соединения труб выполняется в следующей последовательности. К концу трубы меньшего диаметра 1 на некотором расстоянии от торца на сварке прикрепляется заглушка 3. В заглушке предусмотрено  $4 \div 8$  отверстий, расположенных по дуге окружности. На конце трубы большего диаметра 2 с внутренней стороны прикрепляются болты 4. Их крепление может быть выполнено при помощи сварки, а концы болтов с резьбовой частью выступают за пределы трубы. На конце трубы меньшего диаметра 1 в пределах длины от её торца до заглушки 3 устанавливают вертикальные рёбра в количестве  $4 \div 8$  штук. Подготовленные вышеуказанным способом концы труб вставляются друг в друга, при этом болты 4 входят в соосные отверстия в заглушке 3 и затягиваются гайками 5.

Эффективность применения предлагаемых узловых решений показывают результаты экспериментальных исследований. Испытания производились на прессе УММ-200 поэтапным нагружением до полного разрушения. Образцы испытывались на изгиб.

При испытании существующих соединений посредством торцевой фасонки была получена разрушающая нагрузка, равная 36500 кг, и разрушение произошло по металлу шва. Общая конструкция образцов для испытания, включающая два отрезка трубы разного диаметра: нижнее звено тр.  $325 \times 9$ ; верхнее звено тр.  $219 \times 9$ , длина звеньев равна 800 мм.

Для первого и третьего предлагаемого соединения разрушающая нагрузка была в 1,3–1,5 раза больше (47450 кг для первого и 54740 кг для третьего) по сравнению с разрушающей нагрузкой для существующих соединений при тех же сечениях и размерах испытываемых образцов. Разрушение произошло в трубе меньшего диаметра.

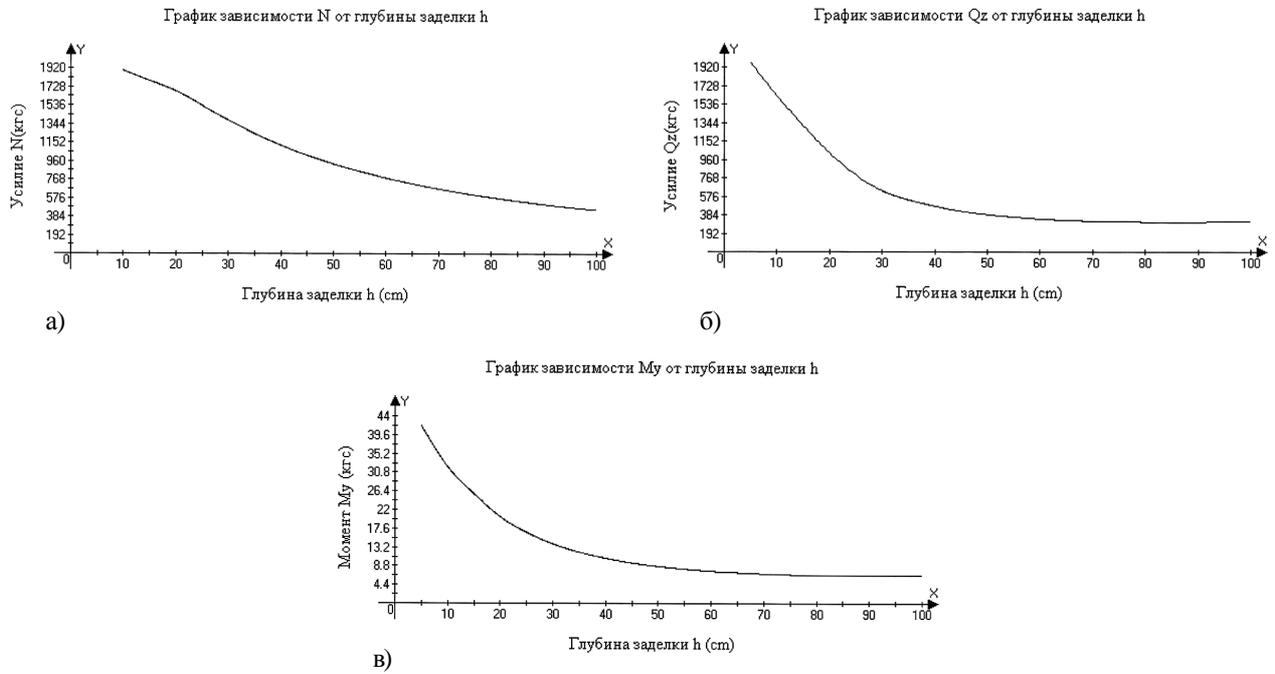


Рис. 3. Влияние глубины заделки на внутренние усилия:  
а) График зависимости  $N$  от глубины заделки  $h$ , б) График зависимости  $Q_z$  от глубины заделки  $h$ ,  
в) График зависимости  $M_u$  от глубины заделки  $h$

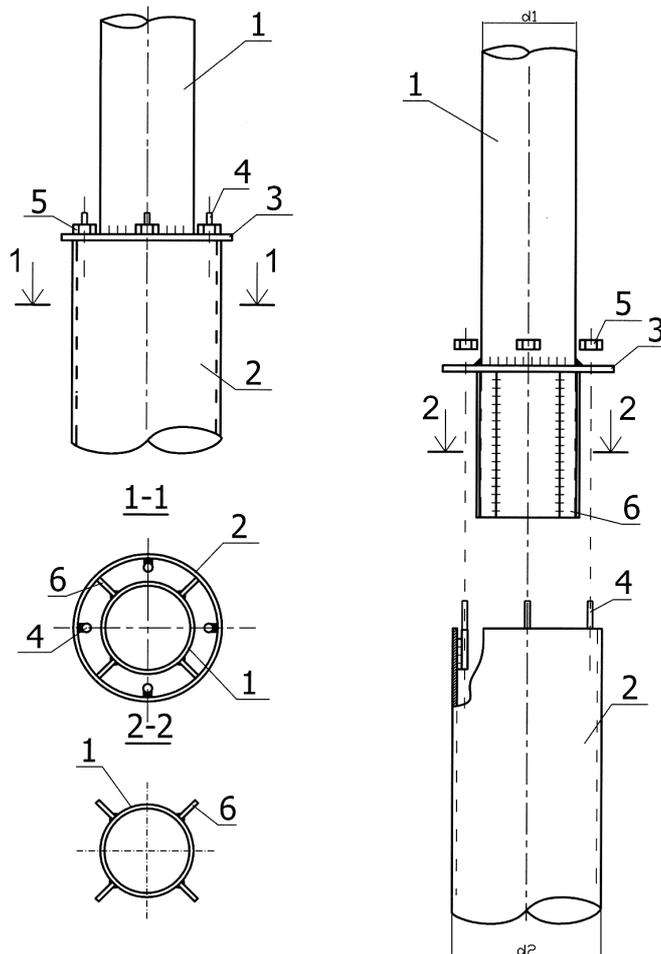


Рис. 4. Сборно-разборное соединение труб разного диаметра



А для второго предлагаемого соединения разрушающая нагрузка оказалась в 1,56 раз больше, т.е. 57200 кг. Разрушение произошло аналогично первому и третьему узлу – потерей устойчивости стенки меньшей трубы.

Анализ результатов испытания показал хорошую их сходимость с результатами теоретических расчётов, выполненных по ПК «Лири», ANSYS, а также и по предлагаемой инженерной методике.

### Литература

1. Сабитов Л.С., Кузнецов И.Л. Исследование соединений труб разного диаметра // Материалы 5-ой международ. научн.-техн. конф. «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». – Пенза, 2006. – С. 123-125.
2. Патент РФ №2288399 от 07.04.2005, МПК F16L 13/00 и E 04 B 1/58, БИ №33 от 27.11.2006. «Узел соединения труб». И.Л. Кузнецов, А.В. Исаев, Л.С. Сабитов.
3. Сабитов Л.С. Новый способ соединения труб разных диаметров // 59-ая респ. научн. конф.: Сб. научн. тр. аспирантов и докторантов КГАСУ. – Казань, 2007. – С. 68-72.
4. ГОСТ 11052-74. Цемент гипсглиноземистый расширяющийся.



УДК 539.3

**Н.М. Якупов** – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией нелинейной механики оболочек Института механики и машиностроения Казанского научного центра Российской академии наук

**В.Н. Куприянов** – доктор технических наук, профессор, ректор КазГАСУ

**С.Н. Якупов** – магистр

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

**Институт механики и машиностроения Казанского научного центра Российской академии наук (ИММ КазНЦ РАН)**

## К ИССЛЕДОВАНИЮ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК И ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР

### АННОТАЦИЯ

Изложен подход к исследованию механических характеристик тонких композиций, имеющих неоднородную структуру, дефекты и повреждения. Полимерные материалы чувствительны к воздействию различных факторов. Рассмотрены вопросы изменения механических характеристик полимерных пленок с белыми и черными подложками под действием солнечного излучения. При этом учитывается эффект влияния толщины снежного покрова над пленкой. Для исследования используется экспериментально-теоретический метод. Проведен анализ результатов и сделаны выводы.

**N.M. Yakupov** – ddoctor of technical sciences, head of Nonlinear Mechanical Engineers of Shells Laboratory of Institute Mechanical Engineers and Machine Building (Kazan Scientific Centre of Russia Academy of Sciences)

**V.N. Kuprijanov** – doctor the technical sciences, professor, rector KSUAE

**S.N. Yakupov** – candidate on Master degree

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

**Institute of Mechanical Engineers and Machine Building of Kazan Scientific Centre of Russia Academy of Sciences (IMM KSC RAS)**

## TO RESEARCH OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF FILMS AND FILM STRUCTURES

### ABSTRACT

The approach of research of mechanical characteristics of the thin compositions having non-uniform structure, defects and damages is stated. Polymeric materials are sensitive to influence of various factors. Changes in mechanical characteristics of polymeric films with white and black substrates under sunlight radiation are considered. The influence of snow cover thickness above the film is taken into account. In this research the experimental and theoretical method is used. Analysis of the results is made and conclusions are drawn.

**О роли пленок и подходах к исследованию их механических характеристик.** Если в классификации этапов развития элементов конструкций XX век был веком тонкостенных конструкций, то XXI век станет, несомненно, веком пленок и мембран [1-3]. В настоящее время получают широкое распространение тонкие пленки и их композиции, обладающие высокими механическими характеристиками. Уникальными характеристиками обладают наноструктуры, нанопленки. По данным, приведенным в работе [4], сопротивление материала упругой деформации (модуль Юнга) для углеродных нанотрубок составляет:

1,02 ТПа (Робертсон), 1,07 ТПа (Якобсон), 1,5 ТПа (Оверни). Для справки: модуль Юнга стали – 0,2 ТПа. Наноструктуры выдерживают большие деформации растяжения (до 40%), не проявляя признаков разрыва. Бездефектные углеродные трубки на два порядка прочнее стали и приблизительно в четыре раза легче ее.

В зависимости от структуры материала, от взаимного расположения и сочетания различных элементов композиций механические свойства могут существенно меняться. Сложная структура материала пленок возникает при их износе под воздействием окружающей среды, излучения, напыления и т.д.



Сложная структура материала бывает запланированной для получения необходимых функциональных качеств материала. В качестве примера пленок со сложной структурой можно отметить, в частности: пленки со сквозными и несквозными распределенными отверстиями; пленки с дефектами в виде различных трещин, царапин, возникающими либо в процессе их производства, либо в процессе эксплуатации; пленки с различными инородными включениями и порами; многослойные и армированные пленочные композиции с индивидуальными свойствами слоев и волокон, включая пленки с укладкой элементов композиций по сложному закону.

Трудно, а порой и невозможно, даже описать сложную структуру материала и сложные формы дефектов, не говоря уже об определении их действительных физико-механических свойств. При исследовании механических характеристик пленок традиционным стандартным способом одноосного растяжения образцов получается большой разброс результатов испытаний, это, в частности, отмечается и в работе [5]. Невозможно исследовать стандартным одноосным способом пленочные структуры, имеющие пространственно-неоднородную структуру, дефекты и повреждения. Работы, посвященные изучению пленок со сложной структурой и с различными дефектами, в двумерной постановке встречаются редко. Можно выделить два подхода оценки прочности тонких композиций:

- подход раздельного исследования свойств и взаимодействие составных частей неоднородной структуры (подход сложен и малоэффективен);

- подход определения интегральных характеристик всего пакета композиции, как «материал – конструкция».

**Экспериментально-теоретический метод.**

Проблема определения механических характеристик пленок и пленочных композиций неоднородной структуры весьма актуальна. Эффективным подходом исследования таких объектов является подход, основанный на синтезе эксперимента и теории [6 - 12].

На экспериментальном этапе на установке ДМ-1 (рис.1) круглый образец (рис.2) без подложки или с подложкой (при наличии сквозных дефектов) зажимается по контуру и нагружается поверхностным давлением. При этом производится мониторинг формы купола, то есть определяется прогиб в заданных точках:

$$w(r, q) = f(p).$$

В случае равномерного распределения неоднородностей достаточно производить замеры прогиба в вершине купола:

$$H_{(r=0)} = f(p).$$

Разработанная экспериментальная установка ДМ-1 внедрена в научно-исследовательскую практику ИММ КазНЦ РАН.

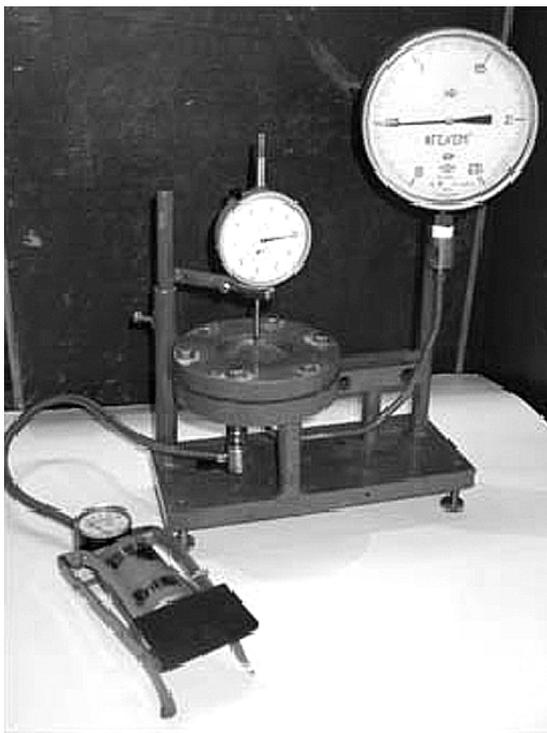


Рис. 1. Экспериментальная установка ДМ-1

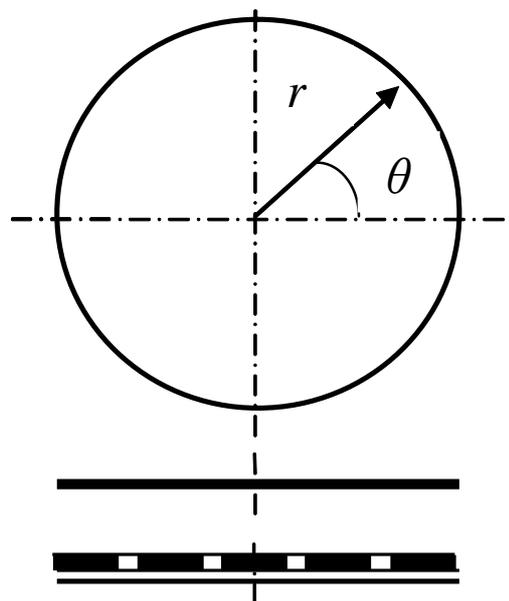


Рис. 2. Круглый образец без и с подложкой



Значения коэффициентов  $N$  для прогибов

Согласующий коэффициент	Коэффициент Пуассона $n$ материала			
	0,25	0,3	0,4	0,5
$N$	0,31148	0,30367	0,29016	0,27905

На этапе теоретической обработки экспериментальных результатов используются, в частности, соотношения для гибких упругих мембран, гибких упругих мембран при больших изменениях кривизны, гибких мембран при пластических деформациях.

Для упругих материалов в случае равномерного распределения неоднородностей механические характеристики вычисляют и оценивают по значениям модуля упругости, например, по формуле [13]:

$$E = \frac{NpD^4(1-n^2)}{16H^3h}$$

где  $E$  – модуль упругости материала тонкой пленки или нанопленки;  $N$  – согласующий коэффициент;  $p$  – равномерно распределенное давление;  $D$  – диаметр рабочей части образца;  $n$  – коэффициент Пуассона материала;  $h$  – первоначальная толщина пленки;  $H$  – высота подъема купола (прогиб в центре образца). При этом коэффициент  $N$  выбирают в пределах от 0,28 до 0,32 в зависимости от величины коэффициента Пуассона  $n$  материала пленки. Конкретные значения коэффициента  $N$  в зависимости от коэффициента  $n$  приведены в таблице 1 (для промежуточных значений  $n$  величины коэффициента  $N$  получают путем интерполяции).

Для пластичных материалов в случае равномерного распределения неоднородностей механические характеристики оценивают по условному модулю  $E_{усл}$  упругости, например, по формуле, полученной на основе нелинейной теории тонких оболочек при больших перемещениях и деформациях и соотношений теории пластичности [6, 10]:

$$E_{усл} = Ake_i^{k-1}, \quad A = \frac{3^{k+1}pD}{2^{k+4}Jh_0}$$

где  $E_{усл}$  – условный модуль упругости материала пленки;  $A$  – параметр, свойственный для конкретного материала;  $k$  – коэффициент, характерный для данного материала ( $0 \leq k \leq 1$ );  $e_i$  – интенсивность деформаций;  $J$  – вспомогательный параметр, зависящий от деформаций в материале, высоты подъема купола мембраны  $H$  и коэффициента  $k$ ;  $h_0$  – исходная толщина образца.

При испытании пленок, имеющих сквозные дефекты или несплошную структуру, применяют подложку (рис. 2) из сплошной бездефектной пленки, имеющей более высокую деформационную способность по сравнению с испытуемым материалом. При этом модуль упругости материала пленки с дефектами определяется по формуле:

$$E_m = \frac{E_g(h_m + h_n) - E_n h_n}{h_m}$$

где  $E_m$ ,  $E_n$ ,  $E_g$  – модули упругости или условные модули упругости (величины, характеризующие механические свойства) материала образца, подложки и пакета в целом, соответственно;  $h_m$ ,  $h_n$  – толщины материала образца и подложки.

**Примеры исследования.** На базе экспериментально-теоретического подхода проведен цикл исследований по изучению изменения механических характеристик полимерных пленок. Исследовано влияние цвета подложки на свойства пленок под действием солнечного излучения в летнее и зимнее время, влияние толщины снежного покрова над пленкой на механические свойства материала и другие. Рассмотрены полимерные пленки толщиной 30 мкм с белыми и черными подложками с высотой снежного покрова в исходный момент, равный 2 и 4 см.

Ниже приведены результаты исследования влияния солнечного излучения в ранневесенний период на механические характеристики полимерных пленок с подложками снизу и снежным покровом сверху. Образцы выдерживались на открытом воздухе в период с 4 марта по 21 марта 2008 года. Особенностью рассматриваемого периода является то, что снежный покров днем частично таял, а ночью образовавшаяся вода превращалась в лед. Кроме того, регулярно шел мокрый снег и дождь. Данные о погодном режиме в рассматриваемый период приведены в таблице 2.

На рис. 3-4 приведены зависимости «прогиб  $H$  – давление  $p$ » в вершине купола образцов, соответственно с белой и черной подложкой, подверженных солнечному излучению в течение 9 дней. Из этих рисунков видно, что образцы с черной подложкой чувствительны на толщину снежного покрова, то есть с уменьшением толщины снежного покрова прогибы при одинаковых давлениях



Таблица 2

Погодные данные

Дата, март 2008 года	Средняя температура, °С		Осадки	Влажность, %
	ночью	днем		
4	0	+1	Мокрый снег	85
5	-3	-1	Мокрый снег	85
6	-2	-3	Снег, слабая метель	85
7	-6	-1	Мокрый снег	65
8	-2	+2	Мокрый снег, дождь	75
9	-8	-3	Снег	85
10	-10	-2	Солнечно, ясно	80
11	-11	-3	Солнечно, ясно	90
12	-11	-1	Солнечно, ясно	93
13	-5	+1	Мокрый снег, дождь	85
14	-4	+2	Без осадков	94
15	0	+3	Без осадков	90
16	-2	+1	Солнечно, ясно	95
17	0	+1	Мокрый снег	90
18	0	+3	Мокрый снег	88
19	-2	+4	Солнечно, ясно	93
20	+1	+3	Мокрый снег, дождь	96
21	-3	+2	Мокрый снег	90

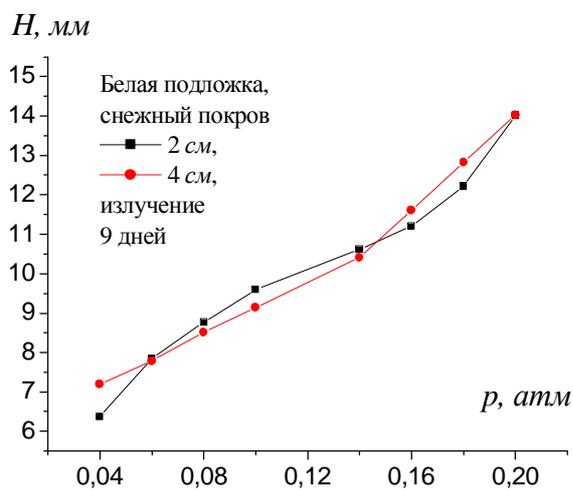


Рис. 3

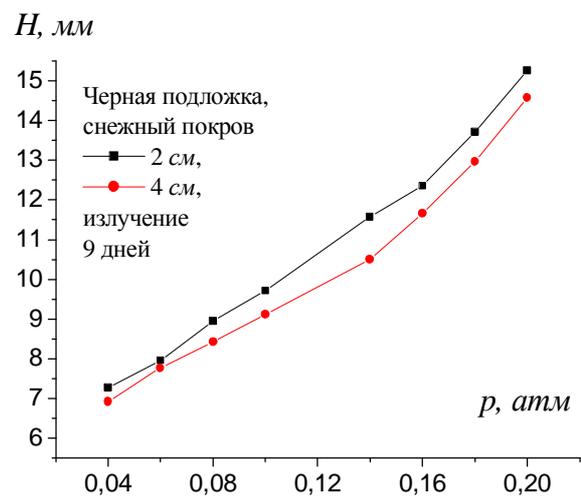


Рис. 4

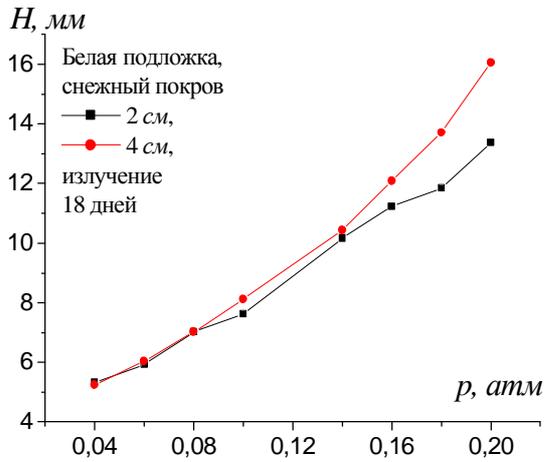


Рис. 5

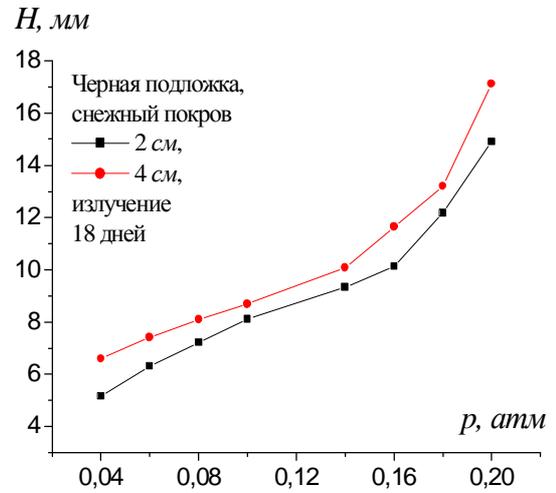


Рис. 6

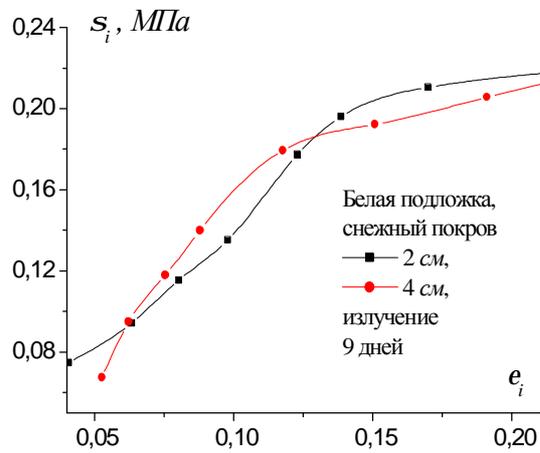


Рис. 7

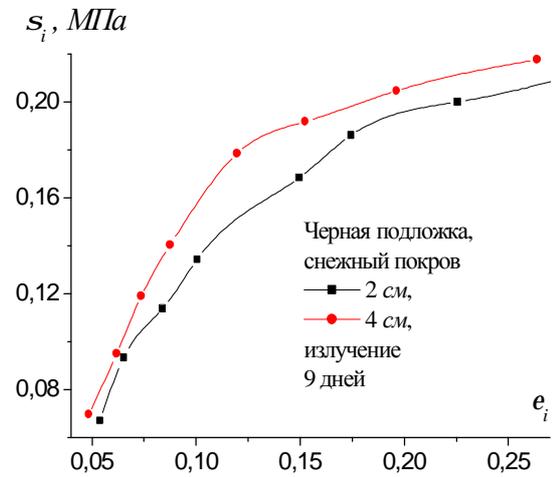


Рис. 8

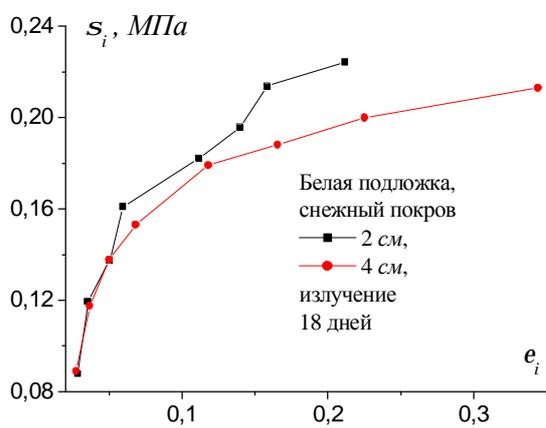


Рис. 9

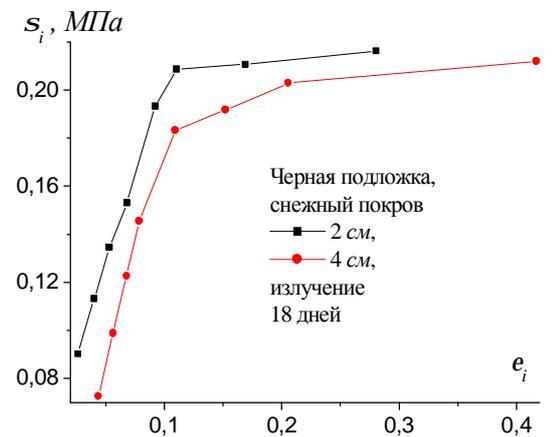


Рис. 10



возрастают. Другими словами снежный покров для пленок с черными подложками является относительно эффективной защитой от солнечного излучения.

На рис. 5-6 приведены зависимости «прогиб  $H$  – давление  $p$ » в вершине купола образцов, соответственно с белой и черной подкладкой, подверженных солнечному излучению в течение 18 дней. Из этих рисунков видно, что образцы с черной подложкой также чувствительны на толщину снежного покрова. Однако эффект получается обратным по сравнению с 9 днями облучения: с увеличением толщины снежного покрова прогибы при одинаковых давлениях возрастают. Этот эффект, возможно, можно объяснить образованием слоя льда в ночное время – чем дольше по времени образец испытывается, тем толще слой льда образуется над образцом.

В целом можно отметить, что белая подложка способствует относительной стабильности механических характеристик испытываемых пленок от воздействия солнечного облучения.

Зависимость «интенсивность напряжений  $S_i$  – интенсивность деформаций  $e_i$ » для образцов с белой и черной подложками, подверженных солнечному излучению в течение 9 дней, приведены на рис. 7-8. Соответствующие кривые для образцов, подверженных солнечному излучению в течение 18 дней, представлены на рис. 9-10. Из рис. 7-8 видно, что образцы с черной подложкой, подверженные солнечному излучению в течение 9 дней, с увеличением толщины снежного покрова выдерживают более высокие напряжения. Однако, как видно из рис. 9-10, с увеличением времени воздействия излучению до 18 дней эффект получается обратным по сравнению с 9 днями облучения – образцы с меньшей толщиной снежного покрова выдерживают более высокие напряжения. Этот эффект, как и ранее отмечалось, можно объяснить образованием слоя льда в ночное время.

#### Выводы:

1. На изменения механических характеристик от солнечного излучения оказывают влияние: толщина снежного покрова над пленкой, цвет подложки под пленкой, а также изменение температуры окружающей среды.

2. При этом пленка с белой подложкой менее чувствительна на толщину снежного покрова.

3. Появление между пленкой и снежным покровом водного слоя и слоя льда изменяют механические характеристики пленки при воздействии солнечного излучения.

4. Экспериментально-теоретический метод позволяет улавливать тонкие процессы, происходящие в материале.

#### Заключение

1. Разрабатываемый экспериментально-теоретический метод может стать незаменимым

инструментом при исследовании механических характеристик различных тонких и очень тонких пленок и композиций, имеющих неоднородную структуру и различные дефекты.

2. Разрабатываемый экспериментально-теоретический метод в двумерной постановке необходимо стандартизовать взамен одноосного испытания полосок образцов.

3. Разработка в составе комплексной разработки включена в Отчет РАН за 2006 год [14], а также награждена Серебряной медалью и Дипломом на 35-ом Международном Салоне «Женева-2007» [15].

*Работа выполняется в рамках программы фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН “Развитие механики многомасштабного (от нано- к макромасштабам) деформирования и разрушения как основы проектирования новых материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками” (координатор – академик РАН Н.Ф. Морозов).*

#### Литература

1. Якупов Н.М., Галимов Ш.К., Хисматуллин Н.И. От каменных глыб к тонкостенным конструкциям. – Казань: Изд-во SOS, 2001. – 96 с.
2. Якупов Н.М. Строительные конструкции: этапы и перспективы развития. Учебное пособие. / Под ред. проф. Сучкова В.Н. – Казань: КГАСУ, ИММ КазНЦ РАН, 2006. – 154 с.
3. Якупов Н.М., Якупов С.Н. Методы расчета пленочных элементов конструкций: Учебное пособие. / Под ред. проф. Сучкова В.Н. – Казань: КГАСУ, 2007. – 117 с.
4. Гольдштейн Р.В., Ченцов А.В. Дискретно-континуальная модель деформирования нанотрубок. ИПМ РАН. Препринт №739. – М., 2003. – 67 с.
5. Куприянов В.Н. Пленочно-тканевые материалы для строительных конструкций. – Казань: КИСИ, 1989. – 94 с.
6. Якупов Н.М., Галимов Н.К., Леонтьев А.А. Экспериментально-теоретический метод исследования прочности полимерных пленок // Механика композиционных материалов и конструкций, 2000, Т. 6, № 2. – С. 238-243.
7. Якупов С.Н., Нуруллин Р.Г., Шафигуллин Р.И., Якупов Н.М. Устройство для испытания пленочных композиций и некоторые результаты исследования пленок с дефектами // Тр. XXI Межд. конф. по теории оболочек и пластин. – Саратов: Изд-во Сарат. гос.техн.ун-та, 2005. – С. 249-251.
8. Якупов Н.М., Галявиев Ш.Ш., Нурғалиев А.Р., Якупов С.Н. Состояние конструкций градилен и предотвращение их разрушения. // Проблемы энергетики, 2006, № 7-8. – С. 36-42.
9. Нурғалиев А.Р., Нуруллин Р.Г., Якупов Н.М., Якупов С.Н. Предотвращение разрушения



- строительных конструкций крупногабаритной градирни СК-1200 // IX Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. Аннотации докладов. – Н. Новгород: Изд-во Нижегородского гос. ун-та, 2006. – С. 160-161.
10. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Галимов Н.К., Галявиев Ш.Ш. Способ определения прочностных свойств пленочных материалов: Патент № 2184361 РФ на изобретение.
  11. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Способ определения прочностных свойств тонкослойных материалов. Патент № 2310184 РФ на изобретение.
  12. Якупов Н.М., Нуруллин Р.Г., Нургалиев А.Р., Якупов С.Н. Способ испытаний образцов металлических мембран под напряжением и устройство для его осуществления: Патент № 2296976 РФ на изобретение.
  13. Галимов Н.К., Нуруллин Р.Г., Леонтьев А.А. Об упругом равновесии защемленных круглых мембран под действием равномерного давления // Актуальные проблемы механики сплошной среды. ИММ КазНЦ РАН. – Казань: Изд-во КГУ, 2004. – С. 129-139.
  14. Отчет о деятельности Российской академии наук в 2006 году. Основные результаты в области естественных, технических, гуманитарных и общественных наук. Механика. – М.: Наука, 2007. – С. 62.
  15. Jakupov Nuch et alea – RUSSIE Determination des caracteristiques mecaniques des membranes et des films defectueux et leur utilisation // 35 SALON INTERNATIONAL DES INVENTIONS, DES TECHNIQUES ET PRODUITS NOUVEAUX DE GENEVE, 2007. – P. 99, 101.



УДК 691.328:620.193

**В.С. Изотов** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии, организации и механизации строительства

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА С ДОБАВКОЙ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД

### АННОТАЦИЯ

Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований особенностей формирования структуры и свойств механо-химически активированных смешанных вяжущих, содержащих цеолитсодержащие породы.

**V.S. Izotov** – doctor of technical sciences, professor, head of the Pulpit of the Technology, Organization and Mechanization in Construction department

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUA)**

## SPECIFIC ISSUES OF STRUCTURE AND PROPERTIES FORMATION IN CASE OF PORTLANDCEMENT WITH ZEOLITE ADDITIVES

### ABSTRACT

The results of theoretical and experimental investigation of specific issues of structure and properties formation in case of portlandcement with zeolite additives are presented.

Анализ работ [1-3], посвященных проблемам получения бетона заданной прочности и долговечности, показывает, что одним из наиболее перспективных способов повышения свойств различных видов бетона является введение в его состава активных минеральных добавок (АМД), влияющих в процессе гидратации клинкера на формирование структуры и свойств цементного камня.

В качестве таких добавок экономически целесообразно использовать техногенные алюмосиликатные продукты, типичными представителями которых являются золы ТЭЦ, а также природные алюмосиликатные материалы местного значения. Среди них особый интерес представляют цеолитсодержащие породы (ЦСП), крупные месторождения которых в последнее время открыты в Среднем Поволжье. Особенности состава и структуры ЦСП, их хорошая размалываемость, значительные объемы сырьевых ресурсов служат предпосылкой для изучения их использования в технологии производства смешанных вяжущих и бетонов на их основе. ЦСП Среднего Поволжья мало изучены. Их минеральный и химический состав существенно отличается от составов других месторождений [4].

С целью обеспечения возможности расширения использования в производстве бетонных изделий и железобетонных конструкций смешанных вяжущих на основе природных АМД нами выполнен комплекс исследований, заключающийся в установлении взаимосвязи химического и минерального составов, физико-химических свойств исходных алюмосиликатных

продуктов и активизации их за счет диспергации в присутствии химических добавок, со свойствами смешанного вяжущего.

Результаты исследований основных свойств и гидравлической активности АМД природного происхождения, выполненных с использованием современных химических и физико-химических методов (ДТА, ИКС, РФА, электронная микроскопия), показали, что основные характеристики и свойства АМД-ЦСП Татарско-Шатрашанского, Городищенского (Республика Татарстан), Ульяновского и Орловского месторождений зависят не только от химического состава, но и от их структуры, минерального состава и дисперсности. По химическому составу данные виды ЦСП близки между собой и относятся к кислым АМД, обладающим пуццолановой активностью, которая зависит от их состава, дисперсности, температуры гидратации, наличия и вида активатора.

Эти породы представляют собой полиминеральный материал с малой твердостью – 3-4 по шкале Мооса, значительной пористостью 50,14-52,39% по воде и 63,9-74,5% водостойкостью при кипячении. Минеральный состав породы: по данным РКФА, представлен опал-кристаллитом от 24 до 30%, клиноптилолитом от 14 до 28%, кальцитом от 18 до 23%; монтмориллонитовым компонентом от 24 до 26% [4,5].

Серия специальных экспериментов, заключающихся в физико-химической модификации ЦСП, показала, что с повышением активного кремнезема и клиноптилолита в материале увеличивается количество связанного оксида кальция. Интенсивность связывания



СаО ЦСП, по нашим данным [4-8], обусловлена высокой адсорбционной активностью клиноптилолита и монтмориллонита, химической активностью опал-кristобалита и кальцита.

Оптимизация составов и изучение основных свойств смешанных вяжущих, полученных как раздельным помолом портландцементных клинкеров, АМД, гипса, так и в результате домола товарных портландцементов совместно с АМД, гипсом и химическими добавками, производились с применением трех- и четырехфакторных планов второго порядка на гиперкубе, близких к Д-оптимальному варианту с тремя точками в центре планов, позволяющих получить математические зависимости изменения основных свойств вяжущего (нормальная плотность-НГ, активности при пропаривании, активности при нормальном твердении и др.) от содержания АМД (10-50%), дисперсности (300-500 м<sup>2</sup>/кг), условий твердения (пропаривание при 60, 80, 90 и 100°C), содержания гипса (2-7%), сульфата натрия (0,5-2,0) и пластифицирующих добавок ЛСТ и С-3 (0,1 - 1%).

Анализ функциональных зависимостей основных свойств, полученных по результатам оптимизации состава вяжущего, показал, что НГ возрастает с увеличением их дисперсности и доли АМД в составе вяжущего. Водопотребность вяжущего, кроме того, имеет тенденцию к росту с увеличением суммарного содержания наиболее адсорбционно-активных компонентов породы (глинистых, клиноптилолита и опал-кristобалита).

Изменение водопотребности смешанного вяжущего приводит к изменению и реологических характеристик.

При увеличении дозировок ЦСП в вяжущем сокращается время начала и конца схватывания цементного теста. Это обусловлено тем, что составляющие компоненты АМД интенсивно связывают образующийся в процессе твердения Са(ОН)<sub>2</sub>, способствуя образованию низкоосновных гидросиликатов и гидроалюминатов кальция высокой степени дисперсности. Данный факт подтверждают результаты ДТА, РФА и пластометрические исследования.

Прочность смешанного вяжущего зависит от количества АМД, способа изготовления вяжущего, условий твердения, тонкости помола, наличия и вида химических добавок. Смешанное вяжущее, полученное путем совместного домола портландцемента, гипса и изучаемых видов АМД, обладает высокой активностью при пропаривании. При естественном твердении скорость набора прочности у данного вида вяжущего ниже, чем у портландцемента [6, 7].

Математические модели формирования прочности смешанного вяжущего при пропаривании в зависимости от дозировки АМД выражаются полиномом третьей степени типа:

$$\text{при } 100^\circ\text{C: } R_{\text{сж}} = 0,0007x^3 - 0,0529x^2 + 1,2476x + 26,029 \quad (1)$$

При пропаривании вяжущего при более низких температурах математическая модель формирования прочности вяжущего в зависимости от дозировки в нем АМД выражается логарифмической функцией типа:

$$\text{при } 80^\circ\text{C: } R_{\text{сж}} = -8E^{-0,5x^3} - 0,005x^2 + 0,5083x + 22,9 \quad (2)$$

$$\text{при } 60^\circ\text{C: } R_{\text{сж}} = -8E^{-0,5x^3} + 0,0093x^2 - 0,3631x + 19,957 \quad (3)$$

Результаты полученных экспериментальных данных свидетельствуют, что температура пропаривания играет существенную роль в формировании прочности цементного камня на данном виде вяжущего.

Активность вяжущего при пропаривании зависит и от его дисперсности. При этом, как это следует из анализа математических моделей формирования прочности, роль дисперсности вяжущего проявляется более существенно, чем дозировка АМД. Увеличение активности вяжущего с ростом его дисперсности обусловлено оптимальной организацией частиц и повышением их поверхностной активности. В процессе совместного домола портландцемента и АМД, особенно в присутствии ПАВ, в результате их различной твердости обеспечивается более высокая дисперсность частиц АМД, чем портландцемента. Одновременно повышается активность поверхности, как частиц цемента, так и АМД. В результате электростатического взаимодействия частиц наблюдается оптимальная организация их в пространстве, при которой каждое зерно цемента окружено со всех сторон значительно меньшими по размеру зёрнами АМД.

Математические модели формирования прочности вяжущего при пропаривании, в зависимости от его дисперсности при содержании АМД от 10 до 20%, выражаются логарифмической функцией типа:

$$\text{при АМД}=10\%: R_{\text{сж}} = 13,981\text{Ln}(x) + 26,83 \quad (4)$$

$$\text{при АМД}=20\%: R_{\text{сж}} = 16,389\text{Ln}(x) + 18,898 \quad (5)$$

Введение в состав смешанного вяжущего добавок, таких как: гипс, хлорид кальция, сульфат натрия, сульфат алюминия, ЛСТ, С-3, ГФ-215 и др. – наиболее предпочтительно при помолу. Исследования показали, что в зависимости от вида активатора, его дозировки и минерального состава АМД, прочность на сжатие цементно-песчаного раствора в этом случае увеличивается на 40-50% по сравнению с составом без активатора.

Оптимальное содержание добавок ПАВ ионогенного типа (ЛСТ и С-3), при котором наблюдается максимальный прирост прочности, зависит от дозировки АМД. Применение ЛСТ позволяет снизить водопотребность на 12-18%, а добавки С-3 – на 22-27% в зависимости от дозировки АМД.

Особенности процессов гидратации активированного смешанного вяжущего и структурообразования цементного камня, которые исследовались методами химического анализа, рН-метрии, седиментации,



контракции, калориметрии, ДТА, РФА, ИКС и электронной микроскопии. Наличие в составе смешанного вяжущего кислотных АМД, какими являются ЦСП, оказывает влияние на ход и кинетику гидратации портландцементного клинкера. При этом количество АМД по-разному влияет на образование продуктов гидролиза и гидратации клинкерных минералов в среде с пониженной щелочностью. В начальные сроки твердения смешанное вяжущее, содержащее АМД в количестве до 20 %, показывает более интенсивную контракцию, чем портландцемент, как при естественном твердении, так и при пропаривании. Увеличение доли АМД в составе вяжущего до 30 % и более приводит к уменьшению его контракции, что связано с эффектом разбавления. О скорости гидратации можно судить также и по кинетике тепловыделения вяжущего. Достижение температурного максимума на кривых гидратации смешанного вяжущего с содержанием АМД до 20 % свидетельствует об интенсификации процесса гидратации в начальный период твердения.

Изучение процессов гидратационного структурообразования смешанного вяжущего и выяснение роли АМД в этом процессе на основе современных физико-химических методов исследований позволили установить следующее.

Гидравлическая активность данных видов АМД проявляется с момента затворения вяжущего водой. ЦСП, содержащие в своем составе активный кремнезем и глинозем, становятся дополнительными источниками образования гидроалюминатов и гидросульфалюминатов кальция, образующихся в результате химической реакции с гидроксидом кальция в присутствии оптимальной дозировки гипса и формируют кристаллизационные структуры твердения, которые способствуют созданию структурной прочности в первые сроки взаимодействия вяжущего с водой. Гидравлическая активность АМД зависит не только от минерального состава, но и от степени дисперсности, температуры гидратации и содержания в системе сульфат-ионов. Повышенный объем гидратных новообразований, образующихся как за счет химического взаимодействия алюмосиликатных фаз АМД с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и гипсом, так и за счет повышения степени гидратации клинкерной части вяжущего, способствует повышению плотности микроструктуры цементного камня и его прочности.

Конечные продукты твердения смешанного вяжущего существенно отличаются от продуктов твердения портландцемента. Принципиальным отличием, как это свидетельствует из данных ДТА, РФА и электронной микроскопии, является пониженное содержание свободного  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , высокоосновного гидросиликата кальция  $\text{C}_2\text{SH}_2$  и высокоосновного гидроалюмината  $\text{C}_3\text{AH}_6$  и наличие низкоосновных форм гидросиликатов и гидроалюминатов, а также стабильное существование в твердеющей структуре гидросульфалюминатов кальция, что положительно отражается на сульфатостойкости вяжущего и бетонов на его основе.

### Литература

1. Батраков В.Г., Каприелов С.С., Шейнфельд А.Ф. Эффективность применения ультрадисперсных отходов ферросплавного производства // Бетон и железобетон, 1989, № 8. – С. 24, 25.
2. Дворкин Л. И., Шамбан И. Б. Проектирование состава тяжелого бетона с использованием золы Бурштынской ТЭС // Бетон и железобетон, 1990, № 5. – С. 40.
3. Гальперина Т.Я., Вертопряхова Л.А., Соловьева И.А. Применение цеолитизированных пород Шивиртуйского месторождения в производстве цемента // Цемент, 1992, № 4. – С. 79.
4. Буров А.И., Тюрин А.Н., Якимов А.В., Ишкаев Т.Х., Изотов В.С. и др. Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение. – Казань: Изд-во «ФЭН» АН РТ, 2001. – 176 с.
5. Изотов В.С. Особенности формирования прочности бетона с повышенными дозировками золы и гипса. // Строительные материалы, 1998, № 2. – С. 16.
6. Изотов В.С., Морозова Н.Н. Смешанное вяжущее для бетонов, твердеющих при пропаривании. // Строительные материалы, 1998, № 12. – С. 19-20.
7. Изотов В.С., Кириленко О.Б. Оптимизация состава смешанного вяжущего и особенности процессов его твердения. // Цемент и его применение, 2001, № 6. – С. 25-26.
8. Герасимов В.В., Кириленко О.Б., Изотов В.С. Бетоны на смешанном вяжущем для теплофикационного строительства. // Известия вузов. Строительство, 2004, № 1. – С. 24-27.



УДК 691.327:666.974.2

**А.С. Пушенко** – аспирант

**Ростовский государственный строительный университет (РГСУ)**

## **К ВОПРОСУ О ПРОЧНОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОЖАРА**

### **АННОТАЦИЯ**

Проведены исследования прочностных характеристик высокопрочного бетона различных модификаций в условиях пожара. Представлены результаты исследований, определена несущая способность железобетонной колонны после воздействия высоких температур пожара.

**A.S. Pushenko** – post-graduate student

**Rostov State University of Civil Engineering (RSUCE)**

## **ON DURABILITY OF HIGH-STRENGTH CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE COLUMNS UNDER THE INFLUENCE OF FIRE**

### **ABSTRACT**

Durability characteristics of different high-strength concrete modifications under the influence of fire is investigated. The results of the investigation, the determined stability of reinforced concrete columns under the influence of high temperatures of fire are presented.

На сегодняшний день существуют международные и национальные стандарты по пожарной безопасности, устанавливающие качественные и количественные методы оценки горючести и пожарной опасности веществ и материалов. Однако это не позволяет, по-видимому, эффективно бороться с пожарами, количество и ущерб от которых нарастает во всем мире. Отечественные [1, 2] и зарубежные [3] исследования последних лет убедительно доказывают зависимость количества пожаров и потерь от них от численности и «удельной энерговооруженности» населения, удвоение которых каждые 13 лет – объективный факт [3].

Наибольшую опасность представляют пожары в зданиях повышенной этажности. Несмотря на то, что к таким зданиям предъявляются особые требования при строительстве и эксплуатации [4, 5], анализ данных по пожарам показывает, к сожалению, достаточно частую невозможность обеспечения безопасности находящихся в них людей. Наибольшую опасность при пожаре, помимо отравления продуктами горения, представляет обрушение несущих конструкций стен и перекрытий, выполненных из бетона и железобетона. Обрушение таких конструкций происходит зачастую вследствие взрывообразного разрушения высокопрочного бетона при пожаре. Такое явление наиболее опасно для несущих конструкций, особенно с небольшим поперечным сечением, воспринимающих большие нагрузки. Их преждевременное разрушение может привести не только к резкому снижению прочности и огнестойкости конструкции, но и вызвать опасность для жизни и здоровья людей.

Причины такого разрушения бетона при нагреве связаны с его влажностным состоянием, составом и структурой, а также напряженно-деформированным состоянием, вызванным давлением пара в замкнутых порах бетона при высокой скорости нагрева [6, 7].

Исследование поведения высокопрочного бетона при пожаре и после температурного воздействия показало, что изменение структуры бетона путем добавления в его состав некоторых компонентов способствует изменению свойств бетона [8]. Например, из рис. 1 видно, что скорость остывания бетона практически не зависит от его начального состава. Зависимость скорости прохождения ультразвука от температуры высокопрочного бетона в процессе остывания представлена на рис. 2, 3.

В табл. 1 и 2 представлены данные по изменению прочностных характеристик высокопрочного бетона в результате воздействия высоких температур при пожаре.

Зависимости относительной деформации до и после воздействия температуры от приложенной нагрузки показаны на рис. 4.

Выявлено, что наиболее стойким к воздействию температуры пожара является высокопрочный бетон класса В80 с добавлением полимерных волокон и бетон с добавлением кристаллогидратов  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , который сохраняет свои прочностные характеристики более продолжительное время, а его деформативные характеристики практически идентичны исходным.

По результатам исследований аналитическим методом была выведена формула (1) по определению

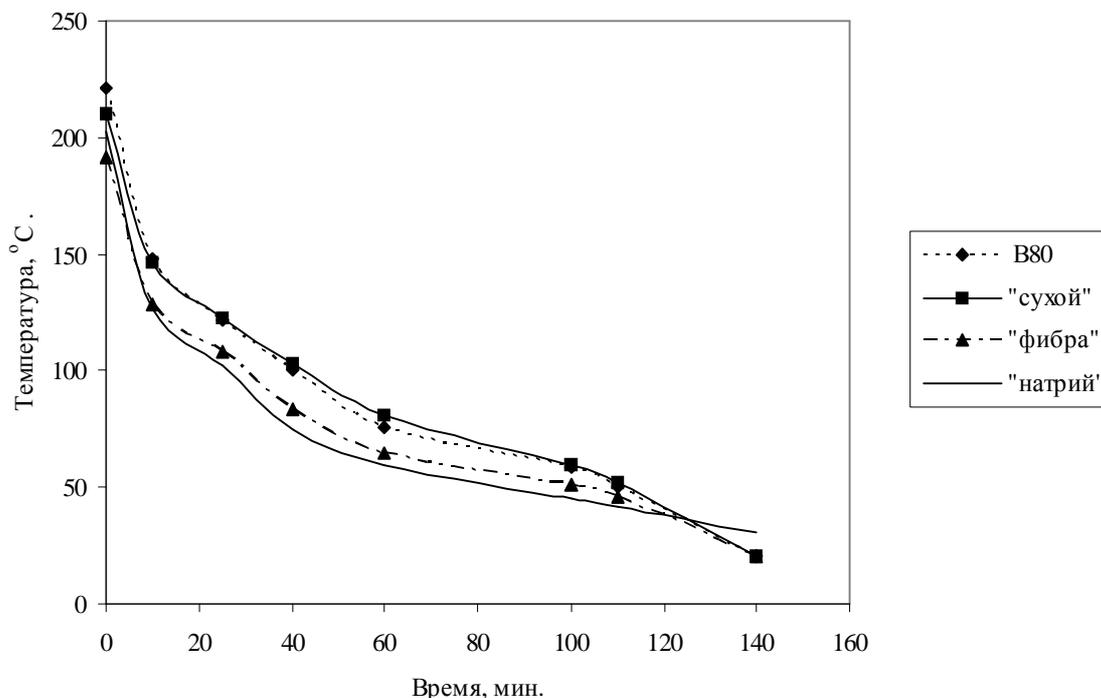


Рис. 1. Динамика скорости остывания для различных составов высокопрочного бетона класса В80:

В80 – бетон класса В80 без добавок; «сухой» – бетон класса В80, предварительно высушенный до постоянной массы и защищенный от последующего попадания влаги в его структуру; «фибра» – бетон класса В80 с добавлением полимерных волокон; «натрий» – бетон класса В80 с добавлением кристаллогидратов  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Замеры температуры образцов производились после их извлечения из огневой камеры. Время первого замера – через 30 минут после прекращения воздействия температуры

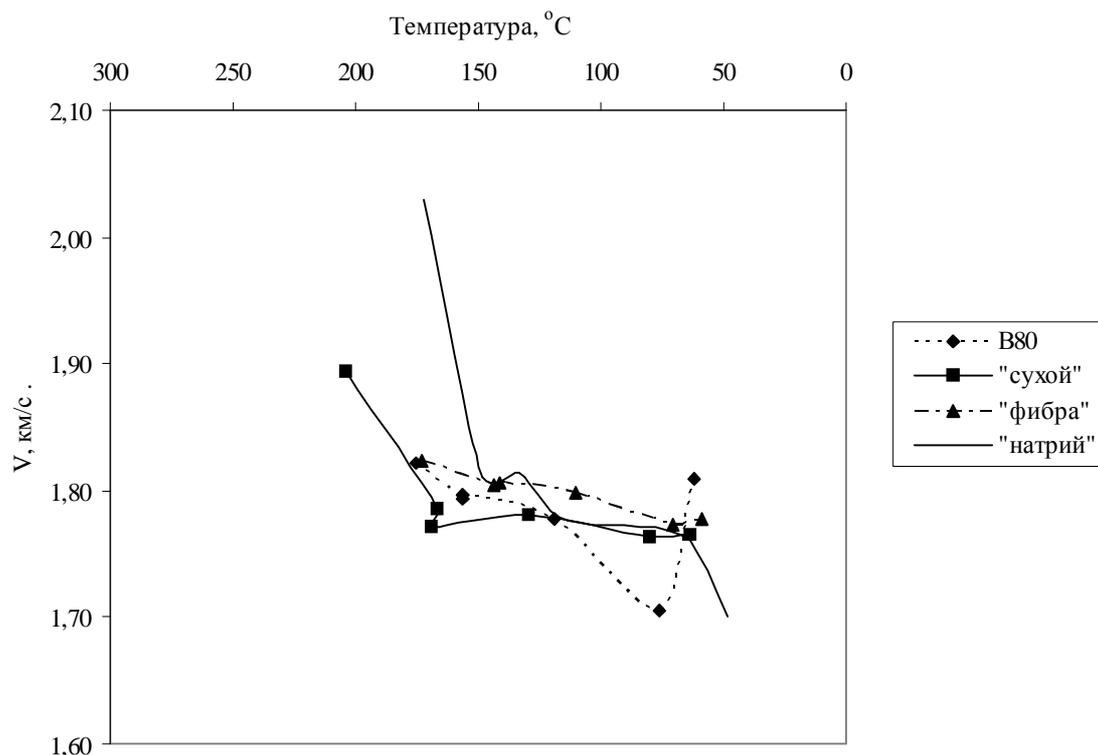


Рис. 2. Зависимость скорости прохождения ультразвука при поверхностном прозвучивании от температуры высокопрочного бетона класса В80 в процессе остывания после огневого воздействия в течение 1-го часа

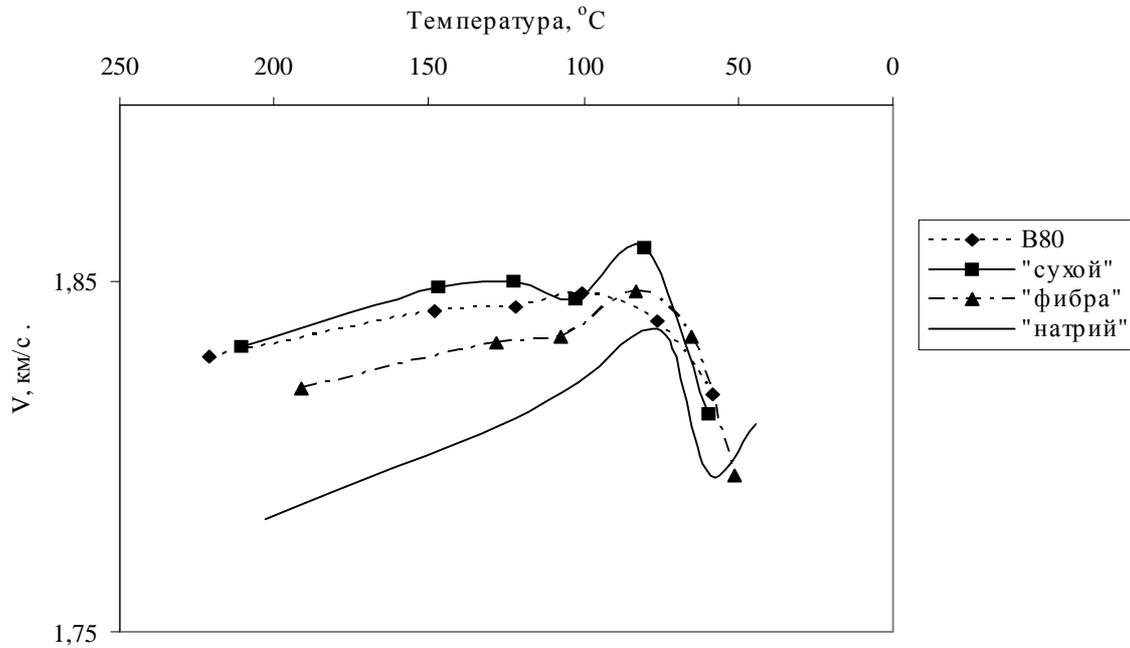


Рис. 3. Зависимость скорости прохождения ультразвука при поверхностном прозвучивании от температуры высокопрочного бетона класса В80 в процессе остывания после огневого воздействия в течение 3-х часов

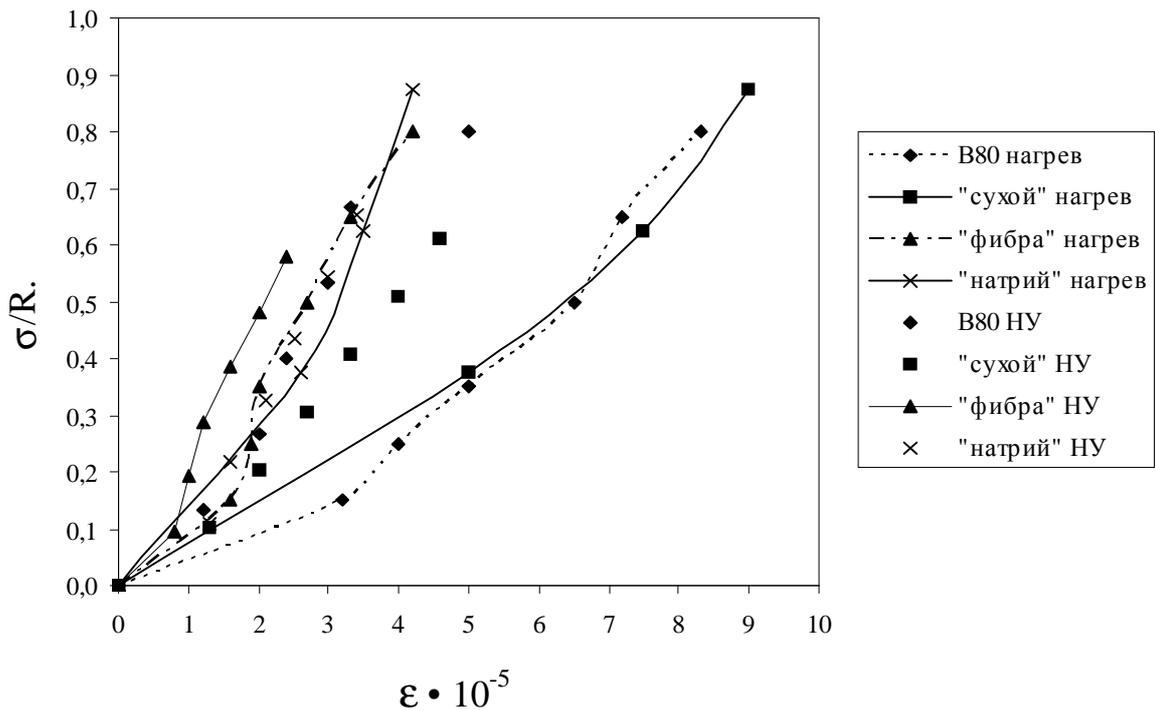


Рис. 4.  $\sigma - \epsilon$  диаграмма для различных составов высокопрочного бетона до и после температурного воздействия: В80 – соответственно бетон класса В80, «сухой» – бетон класса В80, предварительно высушенный до постоянной массы и защищенный от последующего попадания влаги в его структуру, «фибра» – бетон класса В80 с добавлением полимерных волокон, «натрий» – бетон класса В80 с добавлением кристаллогидратов  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , НУ – данные при нормальных условиях до воздействия температуры, нагрев – данные после воздействия температуры в течение 1-го часа



Таблица 1

**Результаты воздействия высоких температур при пожаре на основные характеристики высокопрочного бетона\***

Время воздействия температуры	Предел прочности при сжатии, %		Предел прочности при растяжении, %		Модуль упругости, %	
	При нагреве	После полного остывания	При нагреве	После полного остывания	При нагреве	После полного остывания
60 мин.	20-22	28-30	18-20	22-24	18-20	23-25
120 мин.	14-16	20-22	10-12	14-16	10-12	14-16
180 мин.	8-10	12-15	-	-	-	10-12

\* В таблице указаны остаточные показатели бетона.

Таблица 2

**Данные по прочности при сжатии высокопрочного бетона класса В80 до и после воздействия высоких температур пожара**

Высокопрочный бетон	Прочность, МПа		
	До воздействия пожара	После воздействия пожара в течение 1-го часа	После воздействия пожара в течение 3-х часов
В80*	94,9	32,2	11,5
«сухой»	87,0	39,9	12
«фибра»	92,5	23,2	8,7
«Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> »	72,6	20,0	6,2

\* В80 – высокопрочный бетон класса В80, «сухой» – высокопрочный бетон класса В80 предварительно высушенный до постоянного веса, «фибра» – высокопрочный бетон класса В80 с добавлением полимерных волокон, «Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>» – высокопрочный бетон класса В80 с добавлением кристаллогидратов «Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>».

Таблица 3

**Расчетная несущая способность железобетонной колонны из высокопрочного бетона**

Класс бетона	Армирование, %		Расчетная несущая способность, мН		
			Поперечное сечение, мм		
			400x400	600x600	800x800
В80	1,5	2	13,76	30,8	55,04
		3	14,08	31,68	56,32
		4	14,72	33,12	58,88
		4	15,36	34,56	61,44
В100	1,5	2	16,96	38	67,84
		3	17,28	38,88	69,12
		4	17,92	40,32	71,68
		4	18,56	41,76	74,24
В120	1,5	2	20,16	45,2	80,64
		3	20,48	46,08	81,92
		4	21,12	47,52	84,48
		4	21,76	48,96	87,04



Сравнительная характеристика несущей способности железобетонных колонн из высокопрочного бетона

	Армирование, %	Время воздействия температуры и прочность бетона							
		Начальная несущая способность, мН	мН	%	мН	%	мН	%	
			1 час		2 часа		3 часа		
Класс бетона	В80	Сечение, 400x400 мм							
		1,5	13,76	9,70	70,47	8,64	62,77	8,16	59,29
		2	14,08	9,99	70,96	8,93	63,44	8,45	60,03
		3	14,72	10,63	72,23	9,57	65,03	9,09	61,77
		4	15,36	11,27	73,38	10,21	66,49	9,73	63,36
		Сечение, 600x600 мм							
		1,5	30,8	24,32	78,98	22,59	73,34	21,81	70,81
		2	31,68	25,20	79,53	23,46	74,05	22,68	71,59
		3	33,12	26,64	80,42	24,90	75,18	24,12	72,83
		4	34,56	28,08	81,24	26,34	76,22	25,56	73,96
		Сечение, 800x800 мм							
		1,5	55,04	46,16	83,86	43,75	79,48	42,67	77,52
	2	56,32	47,44	84,23	45,03	79,95	43,95	78,03	
	3	58,88	50,00	84,92	47,59	80,82	46,51	78,99	
	4	61,44	52,56	85,54	50,15	81,62	49,07	79,86	
	В100	Сечение, 400x400 мм							
		1,5	16,96	11,88	70,02	10,55	62,21	9,95	58,67
		2	17,28	12,17	70,43	10,85	62,76	10,25	59,29
		3	17,92	12,81	71,48	11,49	64,09	10,89	60,75
		4	18,56	12,13	65,33	12,13	65,33	11,53	62,10
Сечение, 600x600 мм									
1,5		38	29,90	78,69	27,74	72,99	26,76	70,42	
2		38,88	30,77	79,15	28,61	73,57	27,63	71,06	
3		40,32	32,21	79,90	30,05	74,52	29,07	72,10	
4		41,76	31,49	75,40	31,49	75,40	30,51	73,06	
Сечение, 800x800 мм									
1,5		67,84	56,74	83,63	53,73	79,19	52,37	77,20	
2	69,12	58,02	83,94	55,01	79,58	53,65	77,62		
3	71,68	60,58	84,51	57,57	80,31	56,21	78,42		
4	74,24	60,13	80,99	60,13	80,99	58,77	79,17		
В120	Сечение, 400x400 мм								
				%		%	%		
	1,5	20,16	14,05	69,71	12,46	61,83	11,74	58,26	
	2	20,48	14,35	70,06	12,76	62,30	12,04	58,79	
	3	21,12	14,99	70,96	13,40	63,44	12,68	60,03	
	4	21,76	15,63	71,82	14,04	64,52	13,32	61,21	
	Сечение, 600x600 мм								
	1,5	45,2	35,48	78,50	32,88	72,74	31,71	70,15	
	2	46,08	36,35	78,89	33,75	73,24	32,58	70,70	
	3	47,52	37,79	79,53	35,19	74,05	34,02	71,59	
	4	48,96	39,23	80,13	36,63	74,82	35,46	72,43	
	Сечение, 800x800 мм								
1,5	80,64	67,32	83,48	63,70	79,00	62,08	76,99		
2	81,92	68,60	83,74	64,98	79,32	63,36	77,34		
3	84,48	71,16	84,23	67,54	79,95	65,92	78,03		



прочности высокопрочного бетона по время воздействия пожара:

$$R_T = R_0 e^{(a \cdot T_T + b \cdot T_T^2 + c \cdot T_T^3)}, \quad (1)$$

где:  $R_0$  – прочность бетона при 20 °С, МПа;  
 $T_T$  – относительная температура пожара,

$$T_T = \frac{T - T_0}{1000};$$

$T$  – температура пожара;

$T_0$  – начальная температура;

$a, b, c$  – эмпирические коэффициенты:  $a = 0,261$ ;  
 $b = -3,392$ ;  $c = 0,651$ .

Несмотря на модификацию бетона и его прочностные характеристики, результирующим показателем является поведение несущих железобетонных конструкций при воздействии высоких температур пожара. Была произведена сравнительная оценка несущей способности несущей конструкции на примере железобетонной колонны.

Несущая способность железобетонной колонны определялась как:

$$N_u = R_b \cdot A_b + R_{sc} \cdot A_s \quad (2)$$

где:  $R_b$  – прочность бетона на сжатие;  $A_b$  – площадь поперечного сечения колонны;  $R_{sc}$  – прочность арматурной стали ( $R_{sc} = 400$  МПа);  $A_s$  – площадь поперечного сечения арматуры в колонне.

Формулу (2) можно переписать в виде:

$$N_u = R_{b(сеп)} \cdot A_{b(сеп)} + R_{b1} \cdot A_{b1} + \dots + R_{b(n-1)} \cdot A_{b(n-1)} + R_{bn} \cdot A_{bn} + R_{sc} \cdot A_s, \quad (3)$$

где  $R_{b(сеп)}$  – прочность сердечника железобетонной колонны на сжатие;  $A_{b(сеп)}$  – площадь поперечного сечения сердечника колонны;  $n$  – количество слоев, на которые разбивается защитный слой бетона.

Рассматривалось воздействие высоких температур пожара на железобетонную колонну из высокопрочного бетона классов В80, В100, В120 с арматурой класса А400 и диаметром 28 мм, 40 мм и 55 мм соответственно при размерах поперечного сечения 400х400 мм, 600х600 мм и 800х800 мм. Процент армирования варьировался и принимался равным 1,5%, 2%, 3%, 4%.

В табл. 3 представлена расчетная несущая способность железобетонной колонны из высокопрочного бетона в зависимости от класса бетона, процента армирования и площади поперечного сечения.

Из табл. 4 видно, что даже самый неблагоприятный вариант воздействия пожара в течение трех часов на

железобетонную колонну из высокопрочного бетона класса В80 сечением 400х400 мм с армированием 1,5% и диаметром арматурной стали 28 мм сохраняет ее несущую способность на уровне 59,29% от расчетной. Несущая способность колонн сечением 600х600 мм составляет порядка 70-80% от расчетной (в зависимости от времени воздействия температуры). В случае максимального из рассматриваемых поперечных сечений – 800х800 мм остаточная несущая способность колонны превышает 75% расчетной.

Таким образом, во всех рассматриваемых случаях, кроме воздействия пожара на железобетонную колонну из высокопрочного бетона класса В80 в течение 3 часов, остаточная несущая способность колонны превышает 70%, а зачастую и 75% от расчетной. Такой остаточной несущей способности достаточно для выполнения ею основных функций как в процессе пожара, так и при дальнейшей эксплуатации. Естественно, эти параметры будут выполнены при условии защиты высокопрочного бетона от взрывообразного разрушения при пожаре, и, следовательно, арматуры от нагрева до критической температуры.

### Литература

1. Городон Г.Ю., Вайнштейн Л.И. Энерготравматизм и его предупреждение. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.
2. Harchenko I. Fires and habitability of the person. – Fire Safety Bulletin (Ukr.), 2000, №2(4). – р. 25-30.
3. Гаврилей В.М. Системный анализ формирования и тенденций изменения уровня пожарной безопасности объектов народного хозяйства. / В сб. науч. тр.: «Организационно-управленческие проблемы пожарной охраны». – М.: ВНИИПО, 1986. – С. 9-25.
4. СНиП 21-01-97\*. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М., 2003. – 16 с.
5. МГСН 4.19-05. Многофункциональные высотные здания и комплексы.
6. Ильин Н.А. Последствия огневого воздействия на железобетонные конструкции. – М.: Стройиздат, 1979. – 128 с., ил.
7. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с., ил.
8. Пушенко А.С., Азаров В.Н. Оценка влияния высоких температур пожара на свойства высокопрочного бетона. // Вестник ВолГАСУ, серия «Строительство и архитектура», 2007, выпуск 7 (26). – С. 143-147.



УДК 671.175 – 405.8

**И.А. Старовойтова** – аспирант

**Л.А. Абдрахманова** – доктор технических наук, профессор

**В.Г. Хозин** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов, изделий и конструкций

**О.Е. Родионова\*** – доктор физико-математических наук, профессор

**А.Л. Померанцев\*** – доктор физико-математических наук, профессор

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

**\*Институт химической физики РАН, г. Москва**

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ ГИБРИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ НА ОСНОВЕ ПОЛИИЗОЦИАНАТОВ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СИЛИКАТОВ НАТРИЯ

### АННОТАЦИЯ

Настоящая работа направлена на оптимизацию гибридного связующего, состоящего из водного раствора силиката натрия и полиизоцианата. Оптимизация выполнена относительно двенадцати характеристик связующих. Моделирование представляло собой двухступенчатую процедуру. Сначала к блоку X был применён МГК для сокращения входных параметров. Затем был использован метод регрессии на главные компоненты. Сокращение входных переменных позволило выбрать оптимальные составы связующих, которые соответствуют предъявленным при оптимизации требованиям.

**I.A. Starovoitova** – post-graduate student

**L.A. Abdrachmanova** – doctor of technical sciences, professor

**V.G. Khozin** – doctor of technical sciences, professor, head of the department of Technologies of the Building Materials, Product and Designs

**O.Y. Rodionova\*** – doctor of physical and mathematical sciences, professor

**A.L. Pomerantsev\*** – doctor of physical and mathematical sciences, professor

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

**\*Institute of Chemical Physics RAS, Moscow**

## OPTIMIZATION OF HYBRID BINDERS ON THE BASIS OF POLYISOCYANATES AND WATER SOLUTIONS OF SODIUM SILICATES

### ABSTRACT

The present research is dedicated to optimization of hybrid binder formulation that consists of a water solution of sodium silicate and polyisocyanate. The optimization is performed regarding to twelve characteristics of binders. Calibration modeling is done as a two-step procedure. At first, principal component analysis is applied to the X- block for variables reduction. Then nonlinear Principal Component Regression approach is used. The input variables reduction enabled us to choose the optimal binder formulations those meet the predefined quality requirements.

### *Введение*

В настоящее время полимерные композиционные материалы применяются во многих отраслях промышленности, в том числе и в строительстве (теплоизоляционные и гидроизоляционные материалы, стекло- и базальтопластики, отделочные материалы и т.д.). Главными недостатками полимерных композиционных материалов являются низкая тепло- и термостойкость, склонность к термодеструкции и атмосферному старению. Эти недостатки обусловлены применением в композиционных материалах органических связующих, а также растворителей, которые вводятся в

состав для улучшения перерабатываемости.

В полимерных композиционных материалах наибольшие возможности позитивного изменения свойств заложены в модификации самих связующих. Особый интерес представляют органо-неорганические гибридные материалы.

Работ по синтезу гибридных материалов на основе органически модифицированных силикатов и гидрофильных или гидрофобных олигомеров достаточно много [1-5]. Как правило, такой синтез всегда протекает в присутствии растворителей.

Синтез гибридных материалов с использованием



силикатов, изначально не модифицированных органическими соединениями, в литературе представлен в значительно меньшем объеме. Получен [6] органо-неорганический композиционный материал на основе уретанового олигомера и водного раствора силиката натрия. Однако данный материал обладает значительной водной сорбцией и представляет практический интерес при использовании в качестве гидрогеля в системах поставки препарата. Исследованы [9] гибридные смолы, состоящие из эпоксидной смолы, полиизоцианата, жидкого стекла (ЖС) и эмульгатора. В системах используется ЖС с низким силикатным модулем ( $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 2.0 \pm 0.05$ ), что может привести к низкой водостойкости композиций. Кроме того, в композициях используется токсичный хлорсодержащий эмульгатор – *tris*-(1-chloro-2-propyl)phosphate.

В Институте химии высокомолекулярных соединений Академии наук Украины были получены и исследованы органосиликатные композиции на основе ЖС и полиизоцианатов [10, 11]. Введение в композиции пластификаторов и катализаторов позволило повысить прочность образцов при сжатии до 30-50 МПа [12]. Недостатками полученных материалов является длительное время отверждения: расходование NCO-групп и рост прочности продолжается в течение 30 суток. Кроме того, степень конверсии NCO-групп составляет 65-80%.

Нами были получены гибридные органо-неорганические связующие, обладающие после отверждения достаточно высокими прочностными характеристиками (80-100 МПа), водостойкостью и теплостойкостью до 270-280°C [13]. Одним компонентом в исследуемых связующих является полиизоцианат, а другим – жидкое стекло или полисиликат натрия. При отверждении связующих протекает несколько химических реакций, в результате которых отверждённые композиции содержат полимочевины, триизоцианураты, полиуретаны, поликремниевую кислоту, соду, амины и непрореагировавший полиизоцианат. Соотношение этих продуктов оказывает влияние на свойства отверждённых связующих. Было выявлено, что при комнатной температуре отверждение композиций протекает в течение длительного времени (около 30 суток). Методом ИК-спектроскопии установлено, что расходование изоцианатных групп протекает в течение 20-30 сут. Доля непрореагировавших изоцианатных групп после отверждения составляет порядка 20-30%. Длительность отверждения технологически затрудняет применение композиций в качестве связующих для композиционных материалов. Для интенсификации процесса отверждения нами была предложена ступенчатая тепловая обработка связующих: при температуре 80-85°C – в течение 1-1,5ч; подъём температуры до 100°C с выдержкой при максимальной температуре от 2 до 7 часов (в зависимости от состава). Доля непрореагировавших NCO-групп после тепловой

обработки составляла 1-10% [13].

Отличительной особенностью полученных гибридных связующих является отсутствие в составе растворителей, что повышает экологичность и снижает пожароопасность производства композиционных материалов с применением этих связующих. Возможность применения полученных связующих в полимерных композиционных материалах подтверждена опытной проверкой [14]. На разработанных составах гибридных связующих получены модифицированный пенополиуретан и базальтопластиковая арматура. Оба этих материала по термо- и теплостойкости превосходят аналоги.

Свойства полимерных композиционных материалов во многом определяются свойствами матрицы – связующего. От типа связующего зависят не только прочностные свойства, но и теплостойкость, водостойкость, электроизоляционные и другие характеристики. В то же время связующее должно обладать технологичностью при переработке и малой объёмной усадкой при отверждении, низкой токсичностью и невысокой стоимостью [15].

В связи с этим оптимизация состава связующего для композиционного материала, обладающего заданным комплексом эксплуатационных характеристик, играет первостепенную роль.

Целью данного этапа работы является оптимизация состава гибридного органо-неорганического связующего для получения на его основе полимерных композиционных материалов.

## **1. Экспериментальная часть. Объекты и методы исследований**

### **1.1. Объекты исследования**

Полиизоцианат (ПИЦ)  $\text{R}(\text{NCO})_2$  – гетероциклическое ароматическое соединение, содержащее две концевые изоцианатные группы с высокой степенью ненасыщенности.

ПИЦ представляет собой вязкую жидкость тёмно-коричневого цвета с молекулярной массой около 1000 и плотностью 1,25 г/см<sup>3</sup>. Содержание реакционноспособных NCO-групп 31-32%.

Жидкие стёкла и полисиликаты натрия – это водные растворы силикатов и полисиликатов натрия, различающиеся соотношением оксидов кремния и натрия (силикатным модулем) и плотностью. Мольное отношение  $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$  – одна из основных характеристик раствора силиката.

### **1.2. Методика приготовления образцов**

Связующие получали смешением ПИЦ и неорганического компонента при соотношении реакционноспособных групп NCO:ОН от 1:1 до 1:3 на лабораторной мешалке в течение 2-3 мин.

Отверждение связующих после предварительной выдержки при нормальных условиях осуществлялось путём ступенчатого нагрева до 100° с выдержкой при



максимальной температуре от 2 до 7 часов (в зависимости от состава).

### 1.3. Методы анализа многомерных данных, использованные для оптимизации состава связующего

Оптимизация состава гибридных связующих была проведена в две стадии:

1 стадия – применение метода главных компонент для анализа исходных данных и последующего сокращения числа входных параметров  $X$ ;

2 стадия – использование нелинейной регрессии на главные компоненты для построения многомерной модели и в дальнейшем прогнозирования.

Метод главных компонент (МГК) является наиболее популярным способом сжатия или сокращения количества исходных данных. Идея этого метода состоит в том, чтобы представить исходные данные, используя новые скрытые переменные. При этом должны выполняться два условия. Во-первых, число новых переменных должно быть существенно меньше, чем число исходных переменных, и, во-вторых, потери от такого сжатия данных должны быть сопоставимы с шумом в данных.

Сжатие данных позволяет представить полезную информацию в более компактном виде, удобном для визуализации и интерпретации.

Метод регрессии на главные компоненты (РГК) представляет собой многомерную калибровку. Основной задачей калибровки является исследование двух наборов данных  $X$  и  $Y$  (входных и выходных переменных). Первым этапом многомерного моделирования является стадия калибровки, которая позволяет получить многомерную модель для  $(X, Y)$ , представляющую собой регрессионную зависимость. Для построения многомерной регрессионной модели используются исходные данные: матрица  $X$  (в преобразованном с помощью МГК-анализа виде) и соответствующие значения  $Y$ . На втором этапе построенная модель используется для предсказания новых значений  $Y$  по новым измерениям  $X$ , то есть для прогноза  $Y$  по известным  $X$ .

## 2. Обсуждение результатов

В качестве входных параметров  $X$  для моделирования мы использовали пять переменных: силикатный модуль раствора силиката натрия ( $x_1$ ), его плотность ( $x_2$ ), содержание воды в растворе ( $x_3$ ), содержание ПИЦ ( $x_4$ ) и содержание неорганического компонента ( $x_5$ ). Диапазон изменения входных параметров для 27 исследуемых составов связующих представлен в таблице 1.

В качестве выходных параметров  $Y$  определялись следующие характеристики связующих: технологические – время тепловой обработки ( $y_1$ ), вязкость ( $y_2$ ), время жизнеспособности ( $y_3$ ), краевой угол смачивания ( $y_4$ ); физические и химические – твёрдость ( $y_5$ ), прочность при сжатии ( $y_6$ ), модуль упругости ( $y_7$ ), теплостойкость ( $y_8$ ),

водостойкость ( $y_9$ ) и конверсия NCO-групп ( $y_{10}$ ). Характеристики отверждённых связующих представлены в таблице 2.

Свойства связующих изменяются в достаточно широком диапазоне (табл.2) в зависимости от значения входных параметров: например, теплостойкость изменяется в диапазоне 190–280°C, прочность при сжатии составляет 40–100 МПа, твёрдость – 160–275 кг/см<sup>2</sup>.

Предварительная подготовка включала в себя усреднение данных и последующую стандартизацию с целью их преобразования в форму, наиболее удобную для анализа.

Взаимосвязь исходных характеристик водного раствора силиката натрия отображена на рис. 1а.

С увеличением силикатного модуля от 2,8 до 4,5 практически линейно увеличивается содержание воды в растворе – с 55 до 75%. В то же время с ростом силикатного модуля плотность раствора силиката снижается с 1,48 г/см<sup>3</sup> до 1,12 г/см<sup>3</sup>. Очевидно, что между всеми характеристиками водного раствора силиката натрия существует взаимосвязь.

На первом этапе обработки экспериментальных данных был применён метод главных компонент для понижения размерности исходных данных.

В результате входные переменные – матрица  $X$  – размерности  $27 \times 5$  была заменена матрицей  $T$  с размерностью  $27 \times 2$  согласно известной формуле [16]:

$$X = TP + E,$$

где  $T$  – матрица счетов;

$P$  – матрица нагрузок;

$E$  – матрица остатков.

Две выбранные главные компоненты описывали 99% изменений в данных.

МГК позволил выявить внутреннюю структуру данных и визуально представить все исходные данные  $X$  в новой системе координат – системе главных компонент ( $ГК$ ). График счетов (рис. 1б) показывает взаимоотношение образцов в новом пространстве  $ГК$ .

При применении линейной регрессии и проекции на латентные структуры наблюдается значительное отклонение измеренных характеристик связующих от предсказанных (рис. 2б). При использовании этих методов прослеживается нелинейная зависимость (рис. 2а) между независимыми переменными матрицы  $T$  и откликами  $Y$ . Поэтому на втором этапе был использован метод нелинейной регрессии на главные компоненты (нелинейная РГК). Для этого из столбцов матрицы  $T$  была составлена новая матрица переменных  $Z$ , содержащая как  $t_1$  и  $t_2$ , так и их произведение  $t_1 t_2$  и квадраты  $t_1^2$  и  $t_2^2$ . Сначала была построена многомерная модель для  $(Z, Y)$ , представляющая собой регрессионную зависимость. Для всех свойств связующих ( $y_1, y_2, \dots, y_3-y_{10}$ ) были построены регрессионные уравнения вида:

$$y = b_0 + b_{01} t_1 + b_{02} t_2 + b_{12} t_1 t_2 + b_{11} t_1^2 + b_{22} t_2^2,$$

где  $b_0, b_{01}, \dots, b_{22}$  – коэффициенты регрессионного уравнения.



Таблица 1

№ состава	Переменные X				
	Характеристики неорганического компонента			Содержание компонентов	
	Силикатный модуль (SiO <sub>2</sub> /Na <sub>2</sub> O)	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Содержание воды, %	ПИЦ, %	Раствор силиката Na, %
1	2,80	1,48	56,80	80,00	20,00
2	2,80	1,48	56,80	75,00	25,00
3	2,80	1,48	56,80	70,00	30,00
4	2,80	1,48	56,80	65,00	35,00
5	2,80	1,48	56,80	60,00	40,00
6	2,80	1,48	56,80	55,00	45,00
7	3,10	1,40	57,90	80,00	20,00
8	3,10	1,40	57,90	75,00	25,00
9	3,10	1,40	57,90	70,00	30,00
10	3,10	1,40	57,90	65,00	35,00
11	3,10	1,40	57,90	60,00	40,00
12	3,50	1,34	61,40	80,00	20,00
13	3,50	1,34	61,40	75,00	25,00
14	3,50	1,34	61,40	70,00	30,00
15	3,50	1,34	61,40	67,50	32,50
16	3,70	1,31	65,49	80,00	20,00
17	3,70	1,31	65,49	75,00	25,00
18	3,70	1,31	65,49	72,50	27,50
19	3,70	1,31	65,49	70,00	30,00
20	4,00	1,23	71,00	85,00	15,00
21	4,00	1,23	71,00	82,50	17,50
22	4,00	1,23	71,00	80,00	20,00
23	4,00	1,23	71,00	75,00	25,00
24	4,50	1,21	73,50	85,00	15,00
25	4,50	1,21	73,50	82,50	17,50
26	4,50	1,21	73,50	80,00	20,00
27	4,50	1,21	73,50	77,50	22,50

Все свойства были представлены в виде двумерных диаграмм и трёхмерных поверхностей. В качестве примера на рис. 3-7 представлено изменение конверсии NCO-групп, теплостойкости, прочности при сжатии, модуля упругости и вязкости исследованных составов связующих. Определённая цветовая интенсивность соответствует определённому диапазону исследуемого свойства. Так, на рис.3 изменение цвета контура от светло-серого до тёмно-серого соответствует изменению степени конверсии NCO-групп от 80-85% до 95-100%.

Совместный анализ направления изменения всего комплекса свойств гибридных связующих позволил выбрать состав связующего, обладающий необходимыми характеристиками.

С целью оптимизации состава связующего построенная модель была использована для предсказания значений Y по новым значениям X.

При оптимизации к связующим были предъявлены следующие требования (расположены в порядке значимости):

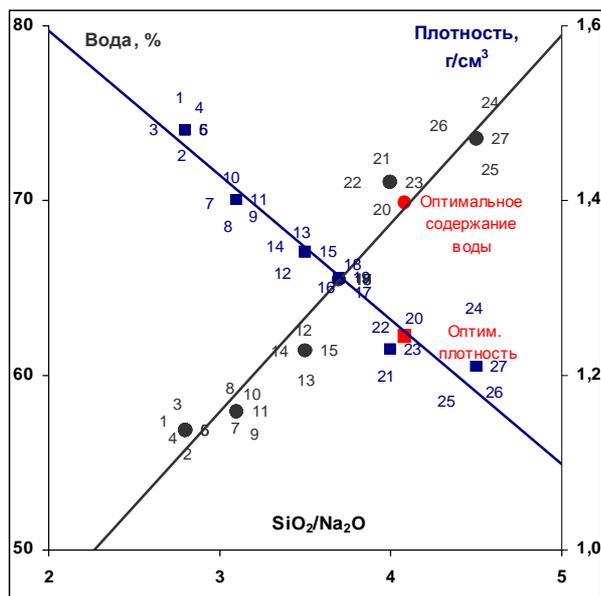
- 1) Теплостойкость связующих должна быть максимальна;
- 2) Прочность при сжатии должна быть не менее 80 МПа;
- 3) Конверсия NCO-групп более 90%;
- 4) Вязкость не более 130 сек.

В результате совместного анализа полученных данных (с учётом предъявленных требований) было предсказано пять оптимальных составов связующих.

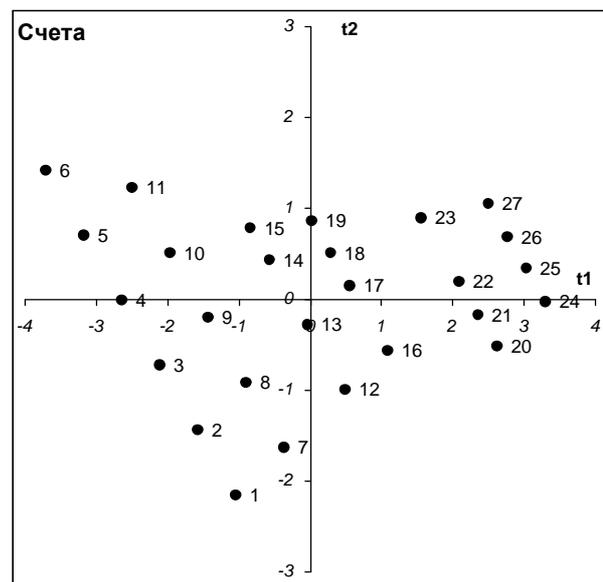


Таблица 2

№	Твёрдость, кг/см <sup>2</sup>	Прочность / модуль упругости при сжатии, МПа	Теплостойкость по Вика, °С	Изменение массы при кипячении в воде в течение 3 ч, %	Конверсия NCO-групп, %
1	222,7	70,3/-	241,7	0,43	94,3
2	233,3	90,3/355,0	240,0	0,33	-
3	274,3	94,7/540,7	224,3	0,27	96,5
4	160,3	90,0/-	215,3	0,12	-
5	219,7	84,0/-	207,3	0,06	98,8
6	218,7	78,7/428,3	189,7	0,09	-
7	161,07	76,7/-	270,3	0,68	98,0
8	215,3	83,3/1326,7	263,7	0,41	-
9	279,7	80,3/1293,3	260,0	0,44	99,3
10	209,7	75,3/676,7	241,7	0,51	-
11	250,3	74,3/503,3	235,0	0,48	98,8
12	219,7	77,7/910,0	261,7	0,74	92,2
13	235,0	96,7/926,7	259,7	0,67	93,7
14	244,3	91,7/708,3	241,7	0,50	96,77
15	207,3	75,3/438,3	234,8	0,45	-
16	214,7	105,3/730,0	267,7	0,78	98,2
17	210,7	101,3/701,7	258,70	0,67	94,9
18	200,7	96,3/633,3	250,3	0,48	-
19	184,7	80,3/476,7	244,0	0,81	93,5
20	187,3	92,0/578,3	279,7	1,58	88,8
21	200,3	72,0/520,0	276,7	1,53	88,0
22	187,7	76,0/451,7	272,0	1,01	-
23	179,7	51,0/285,0	254,7	1,66	85,8
24	220,3	86,3/611,7	265,3	1,59	88,7
25	215,7	80,0/493,3	259,7	1,53	-
26	209,7	60,3/363,3	253,7	1,48	83,0
27	239,7	41,7/-	247,0	1,26	-



а)



б)

Рис.1. а) Взаимосвязь плотности, содержания воды и силикатного модуля водного раствора силиката натрия; б) График счетов

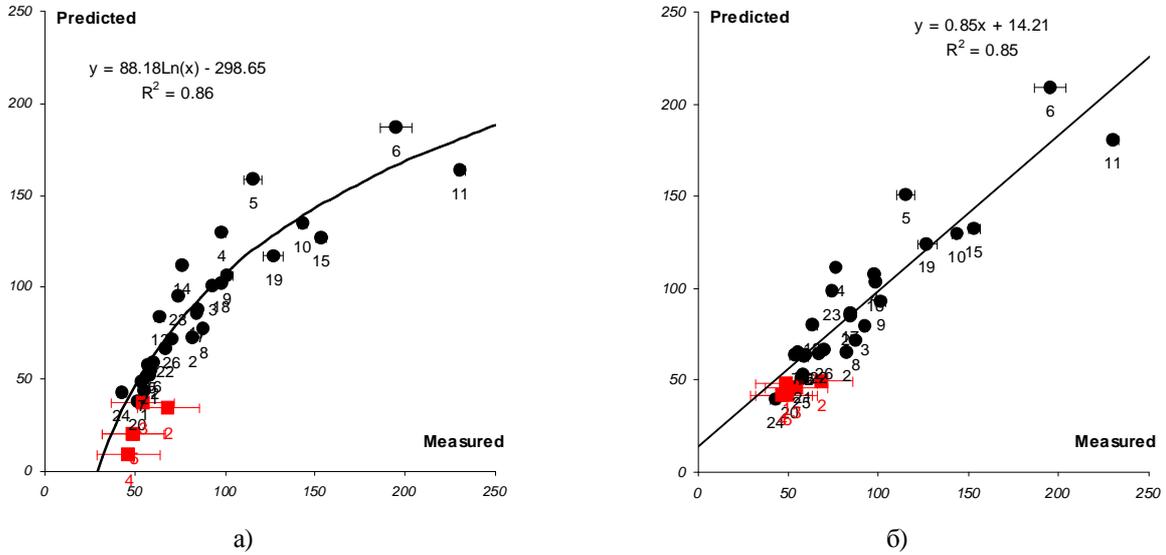


Рис.2. а) Вид нелинейной зависимости измеренных характеристик (measured) от предсказанных (predicted); б) Зависимость измеренных характеристик (measured) от предсказанных (predicted) при использовании линейной ПКГ

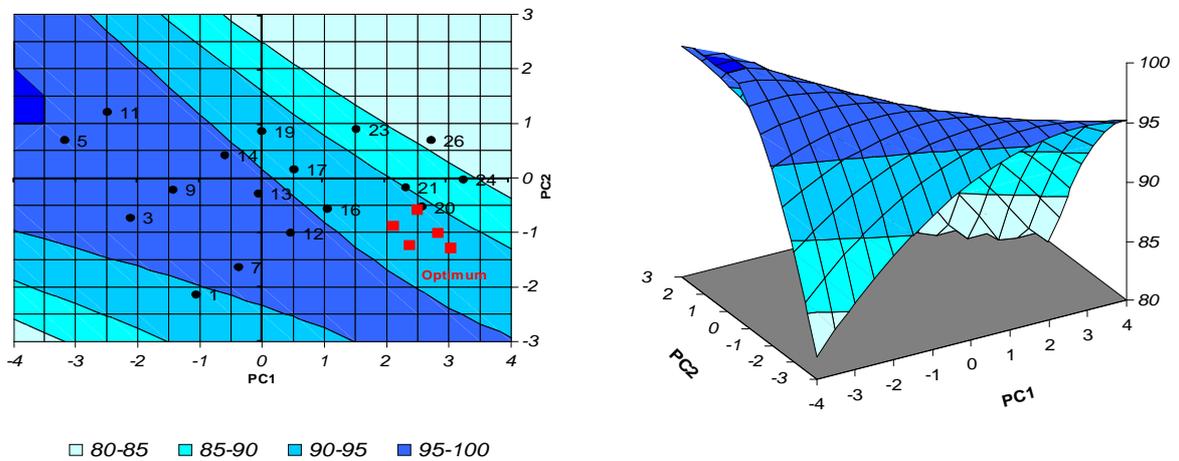


Рис.3. Изменение степени конверсии NCO-групп в зависимости от состава в виде контуров различной цветовой интенсивности (двумерная диаграмма) и трёхмерной поверхности

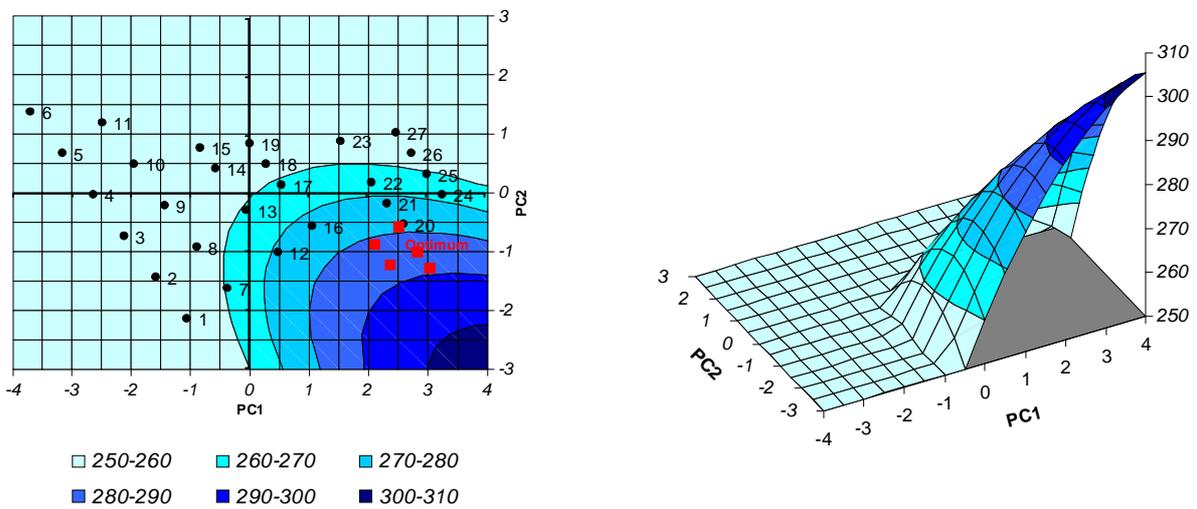


Рис.4. Изменение теплостойкости связующих в зависимости от состава

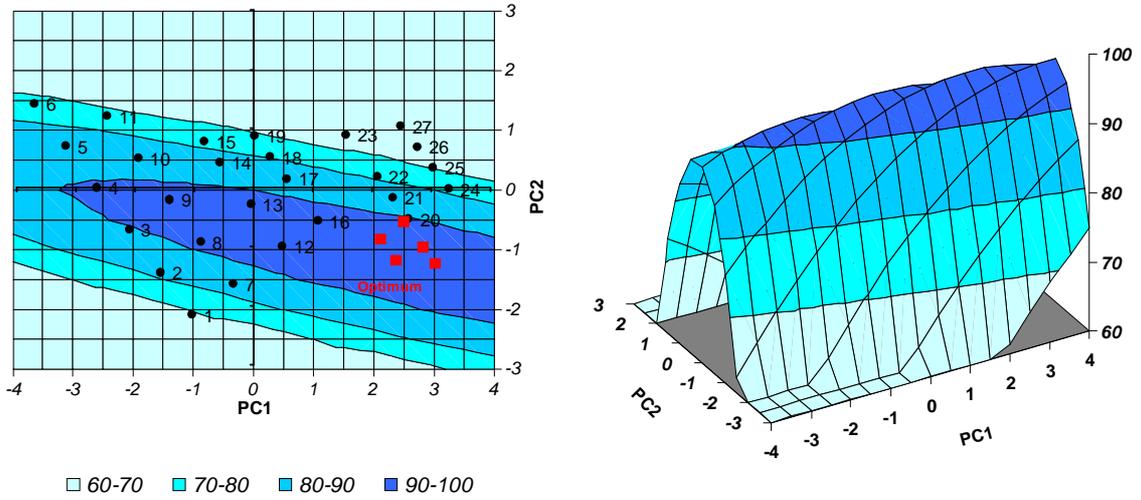


Рис.5. Прочность при сжатии различных составов связующих

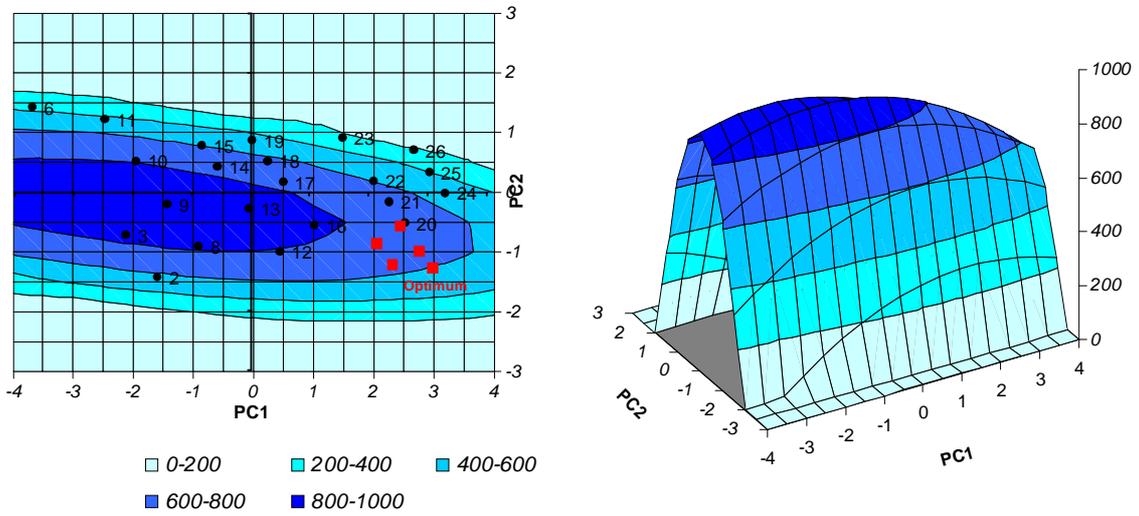


Рис.6. Модуль упругости при сжатии для различных составов связующих

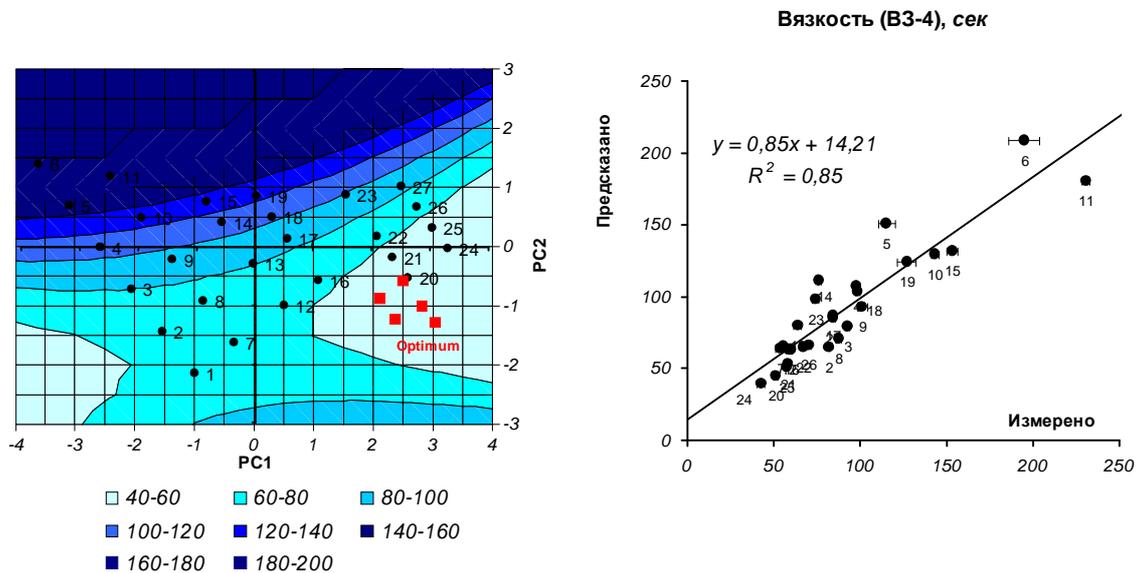


Рис.7. Вязкость различных составов связующих, зависимость предсказанных значений от измеренных



Таблица 3

Свойство	Требование, предъявленное к блоку Y	Образец 1		Образец 5	
		Предсказанное значение	Измеренное значение	Предсказанное значение	Измеренное значение
Теплостойкость по Вика, °С	Y - max (Y>250)	286.8±8.3	287.5±6.4	285.1±8.3	282.3±6.4
Прочность при сжатии, МПа	Y>80	95.1±10.4	83.3±3.7	94.6±10.4	92.0±3.7
Конверсия NCO-групп, %	Y>90	93.5±2.0	94.3±1.8	91.8±2.0	93.5±1.8
Вязкость по ВЗ-4, сек	Y<130	48.0±9.0	49.0±1.4	41.6±9.0	49.3±1.4

Предсказанные характеристики на графиках свойств изображены в виде темно-серых квадратов. Эти составы были использованы в качестве тестового набора при проверке модели.

С помощью экспериментальной проверки из пяти предложенных моделью составов связующих были выбраны два (1 и 5), обладающие наилучшими характеристиками.

Предсказанные и измеренные значения параметров оптимизации, а также относительные ошибки этих измерений для образцов 1 и 5 приведены в таблице 3. Из представленных данных следует, что образцы удовлетворяют предъявленные к ним требования при оптимизации, а их теплостойкость на 10-15° превышает теплостойкость ранее исследованных составов связующих.

Отклонение измеренных характеристик от предсказанных находится в допустимых пределах (квадрат линейного коэффициента корреляции -  $R^2$  - для теплостойкости составляет 0,88, для вязкости - 0,85, для конверсии NCO-групп - 0,85 и т.д.), что дополнительно подтверждает работоспособность построенной модели.

### Выводы

Таким образом, в результате оптимизации составов гибридных связующих на основе ПИЦ и водных растворов силикатов и полисиликатов натрия с привлечением методов МГК-анализа и нелинейной РГК, удалось повысить теплостойкость связующих и снизить их вязкость при сохранении высоких прочностных показателей и степени конверсии NCO-групп более 90%.

В дальнейшем, именно эти составы связующих будут использованы при изготовлении композиционных материалов.

### Литература

1. Chujo H., Saegusa T. Organic polymer hybrids with silica gel formed by means of sol-gel method // *Adv. Polym. Sci.*, V.100, 1992. – P. 11-29.
2. Иванчев С.С., Меш А.М., Reichelt N., Хайкин С.Я., Hesse A., Мякин С.В. Получение нанокомпозитов гидролизом алкоксисиланов в матрице полипропилена // *Высокомолекуляр. соед. А*, Т.44, 2002, №6. – С. 996-1001.
3. Wang S., Ahmad Z., Mark J.E. Polyimide-silica hybrid materials modified by incorporation of organically substituted alkoxy silane // *Chem. Mater.*, V.6, 1994. – P. 943-946.
4. Ahmad Z., Mark J.E. Polyimide-ceramic hybrid composites by the sol-gel route // *Chem. Mater.*, V.13, 2001. – P. 3320-3330.
5. Chen S., Sui J., Chen L. Positional assembly of hybrid polyurethane nanocomposites via incorporation of inorganic building blocks into organic polymer // *Colloid. Polym. Sci.*, V.283, 2004. – P. 66-73.
6. Mamunya Ye.P., Shtompel V.I., Lebedev E.V., Pissis P. Structure and water sorption of polyurethane nanocomposites based on organic and inorganic components. // *European Polymer Journal*, Volume 40, Issue 10, 2004. – P. 2323-2331.
7. Grishchuk S., Castella N., Karger-Kocsis J. / Hybrid resins from polyisocyanate – vinyl ester – water glass system: Structure and properties. // *European Polymer*



- Journal, Volume 43, Issue 4, 2007. – P. 2323-2331.
10. Веселовский Р.А., Ищенко С.С., Новикова Т.И., Файнерман А.А. Изучение взаимодействия в системе 2,4-толуилендиизоцианат – жидкое стекло методом ИК-спектроскопии // Композиционные материалы, 1987, №33. – С. 56-61.
  11. Ищенко С.С., Придатко А.Б., Новикова Т.И., Лебедев Е.В. Взаимодействие изоцианатов с водными растворами силикатов щелочных металлов // Высокомолек.соед., Серия А, том 38, 1996, № 5. – С. 786-791.
  12. Павлов В.И., Ищенко С.С., Федорченко Е.И. Прочностные свойства некоторых органосиликатных полимерных композиций. // Пластические массы, № 6, 1996. – С. 36-38.
  13. Старовойтова И.А. Исследование структуры связующих на основе полиизоцианатов и водных растворов силикатов натрия // Известия КазГАСУ, 2007, №2. – С. 89-94.
  14. Абдрахманова Л.А., Старовойтова И.А., Хозин В.Г. Перспективы использования органоминеральных связующих в строительных материалах. // Строительные материалы, 2007, №9. – С. 2-4.
  15. Швецов Г.А., Алимova Д.У., Барышникова М.Д. Технология переработки пластических масс. – М.: Химия, 1988. – 512 с.
  16. Ким Эсбенсен. Анализ многомерных данных. Избранные главы. // Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета, 2003. – 157 с.



УДК 691.33

**М.И. Халиуллин** – кандидат технических наук, доцент

**А.Р. Гайфуллин** – студент

**Ю.В. Сабанина\*** – главный технолог

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

**\*ООО «Казанский завод сухих строительных смесей»**

## **СОВРЕМЕННЫЕ КЛЕЕВЫЕ СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЛЕКСА МЕСТНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ И ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК ДЛЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОЙ ОТДЕЛКИ**

### **АННОТАЦИЯ**

Установлены математические зависимости, характеризующие влияние совместно вводимых модифицирующих добавок: минерального наполнителя – керамзитовой пыли и химической водоудерживающей добавки – высокомолекулярного полиэтиленоксида РЕО-S на основные физико-технические свойства растворов на основе клеевых сухих строительных смесей. Разработаны составы клеевых сухих строительных смесей с применением комплекса местных минеральных и химических добавок Республики Татарстан, отвечающие современным нормативным требованиям.

**M.I. Khaliullin** – candidate of technical sciences, associate professor

**A.R. Gaifullin** – student

**J.V. Sabanina\*** – chief-technologist

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

**\*Kazan Factory of Dry Mixes Mortars**

## **MODERN ADHESIVE DRY-MORTAR MIXES WITH APPLICATION OF A COMPLEX OF LOCAL MINERAL AND CHEMICAL ADDITIVES FOR HIGH QUALITY TRIMMING**

### **ABSTRACT**

The mathematical dependences describing influence of the jointly entered modifying additives are established: i) mineral filler – expanded clay dust – and ii) chemical water – retaining agent-soluble in a water of polymer РЕО-S – on the main physical-technical properties of solutions on a basis of adhesives dry-mortar mixes. The structures of adhesives dry-mortar mixes with application of a complex of the local mineral and chemical additives are developed. The additives are local, i.e. located at Republic of Tatarstan that correspond to the modern normative requirements.

В связи с ростом темпов жилищного строительства остро встает проблема его обеспечения современными строительными материалами. Для успешного решения этой проблемы, например, при производстве сухих строительных смесей (ССС), необходимо расширение использования местного минерального сырья и модифицирующих химических добавок, позволяющих направленно регулировать свойства материалов.

Целью настоящей работы явилась разработка составов экономичных клеевых цементных СССР с применением комплекса многофункциональных местных минеральных компонентов и химических добавок Республики Татарстан, отвечающих современным требованиям для высококачественной отделки.

В настоящее время на территории России отсутствует единый стандарт, регламентирующий требования к показателям физико-технических свойств СССР. Требования, предъявляемые к растворным смесям и растворам в ГОСТ 28013-98\*, СП 82-101-98, СНиП 3.04.01-87, не охватывают всех особенностей свойств СССР различного назначения, появившихся в нашей стране за последнее десятилетие. Контроль качества на передовых отечественных предприятиях по производству СССР ведется на основании ТУ, разрабатываемых с учетом существующих европейских норм, например, EN 12004 для клеевых СССР и растворов, а также показателей физико-технических свойств современных отечественных и зарубежных аналогов.

В настоящей работе в качестве нормативных



**Требования к показателям физико-технических свойств клеевых ССС по ТУ 5745-001-57228332-2006**

Наименование показателей	Показатели свойств
Марка по прочности при сжатии в возрасте 28 сут., не менее	M100
Подвижность, см	
Водоудерживающая способность, не менее, %	97
Предельное открытое время, не менее, мин.	15
Допустимое время корректировки, не менее, мин.	10
Контактная площадь, не менее, %	65
Адгезия к основанию, не менее, МПа	0,7
Влажность сухой строительной смеси, не более, %	0,5
Марка по морозостойкости, не менее	F50

требований к показателям физико-технических свойств разрабатываемых клеевых ССС приняты основные показатели ТУ 5745-001-57228332-2006 ООО «Казанский завод сухих строительных смесей», отвечающие вышеперечисленным положениям (таблица 1).

В качестве вяжущего для проведения работы использовался портландцемент М500Д0 производства ОАО «Новороссийского цементного завода» по ГОСТ 10178-85.

В качестве исходных в работе использовались кварцевые пески Аракчинского карьера (г. Казань) и песок карьера ОАО «Комбинат нерудных материалов» (г. Казань). Заданный зерновой состав песка получали на базе предварительно рассеянных стандартных фракций исходного песка. Содержание пылевидных и глинистых примесей обоих песков находится в пределах допустимых значений по ГОСТ 8736-93.

При производстве керамзитового гравия серьезную проблему представляет утилизация керамзитовой пыли, которая собирается в системах пылеочистки – пылесадительных камерах, циклонах, фильтрах. На крупных керамзитовых заводах ежедневно может образовываться до 7-8 т керамзитовой пыли. В дальнейшем этот отход возвращают в производство, добавляя к сырой глине, но чаще вывозят в отвалы.

Исследованиями, проведенными ЗАО «НИИКерамзит» и Самарским государственным архитектурно-строительным университетом [3], установлено, что введение в состав пенобетонной смеси керамзитовой пыли, которая выполняет роль микронаполнителя и заполнителя, позволяет

значительно снизить усадку пенобетонных изделий, их плотность и теплопроводность.

Благодаря высокой активности связывания извести, тонкодисперсную или домолотую керамзитовую пыль можно использовать в качестве активной минеральной добавки к извести и цементу.

В качестве минерального наполнителя в работе использовалась молотая керамзитовая пыль – отход производства керамзита ООО «Камэнергостройпром» (г. Нижнекамск). Активность связывания извести керамзитовой пылью составляет 115 мг/г, что указывает на высокое содержание аморфного, химически активного кремнезема. Насыпная плотность керамзитовой пыли 850 кг/м<sup>3</sup>. Зерновой состав исходной керамзитовой пыли представлен в таблице 2.

В работах [1, 2] показана эффективность применения некоторых водорастворимых полимеров отечественного производства, например, высокомолекулярного полиэтиленоксида (ПОЭ) с молекулярной массой 1,52x10<sup>6</sup> в качестве водоудерживающих добавок, при замене дорогостоящих импортных водоудерживающих добавок на основе метилцеллюлозы.

В нашей работе исследовано влияние на свойства клеевых ССС добавки полиэтиленоксида РЕО-S с молекулярной массой 4x10<sup>6</sup> производства ОАО «Казаньоргсинтез» по ТУ 6-05-231-341-88 в качестве водоудерживающей добавки.

На первом этапе работы исследовано влияние добавки молотой до различной удельной поверхности керамзитовой пыли на физико-механические свойства

Таблица 2

**Зерновой состав исходной керамзитовой пыли**

Содержание частиц (%) по фракциям		
5-1,25 мм	1,25-0,14 мм	< 0,14 мм
5-10	55-60	30-35



растворных смесей и растворов для получения клеевых ССС.

Испытания ССС, растворных смесей и растворов на их основе осуществлялось по ГОСТ 5802-86, ТУ 5745-001-57228332-2006. Подвижность клеевых растворных смесей составляла 8-9 см по глубине погружения конуса СтройЦНИИЛа.

Определение времени корректировки, адгезии растворов проводилось на измерителе адгезии ПСО-5-МГ4 производства ПО «Стройприбор» (г. Челябинск).

Основные показатели физико-технических свойств клеевых растворных смесей и растворов на основе рассмотренных ССС при различной удельной поверхности и количестве добавки керамзитовой пыли приведены в таблицах 3-5.

Анализ представленных результатов исследований показывает, что при введении в состав клеевых ССС керамзитовой пыли с удельной поверхностью 150 м<sup>2</sup>/кг в количестве до 5%, с соответствующей заменой портландцемента без снижения показателей основных физико-технических свойств ССС относительно контрольного состава. При удельной поверхности керамзитовой пыли 300 и 500 м<sup>2</sup>/кг введение ее в количествах, соответственно, 5 и 3%, позволяет повысить прочность при сжатии растворов на 15 и 8%, а при введении в количествах, соответственно, 10 и 5% с соответствующей заменой портландцемента не снижает показатели основных физико-технических свойств ССС относительно контрольного состава. При дальнейшем увеличении количества вводимой добавки керамзитовой пыли свыше 5-10% происходит повышение водопотребности ССС и падение показателей основных физико-технических свойств ниже нормативных. Наилучшими показателями свойств отличаются составы с добавкой керамзитовой пыли при удельной поверхности 300 м<sup>2</sup>/кг в количестве 5-10%.

На следующем этапе работы с применением методов математического планирования эксперимента исследовано совместное влияние модифицирующих добавок: минерального наполнителя - керамзитовой пыли при удельной поверхности 300 м<sup>2</sup>/кг и химической водоудерживающей добавки – полиэтиленоксида РЕО-S производства ОАО «Казаньоргсинтез» на основные физико-механические свойства растворных смесей и растворов для получения оптимальных составов клеевых ССС.

Оптимизация многокомпонентного состава клеевых ССС осуществлялась с применением метода ротatableльного композиционного центрального планирования эксперимента (РКЦП) с обработкой полученных результатов на ЭВМ.

В качестве переменных факторов приняты процентные содержания по массе модифицирующих добавок:

$x_1$  – минерального наполнителя керамзитовой пыли при удельной поверхности 300 м<sup>2</sup>/кг;

$x_2$  – химической водоудерживающей добавки полиэтиленоксида РЕО-S.

В качестве параметров оптимизации приняты:

$y_1$  – адгезия к основанию растворов на основе клеевых ССС, МПа;

$y_2$  – предел прочности при сжатии растворов на основе клеевых ССС, МПа.

По результатам реализации плана эксперимента получены математические модели функций  $y_1$  и  $y_2$ , устанавливающие зависимость состава с основными свойствами (адгезией к основанию и прочностью).

$$y_1 = -0,27511 + 0,951066x_1 + 0,07632x_2 - 0,00841x_1x_2 - 0,20127x_1^2 - 0,00753x_2^2 \quad (1)$$

$$y_2 = 9,553308 + 3,328868x_1 + 0,253804x_2 + 0,0841x_1x_2 - 1,21745x_1^2 - 0,0541x_2^2 \quad (2)$$

Полученные модели, по критерию Фишера, соответствуют табличным значениям, т.е. адекватно описывают результаты эксперимента.

Анализ уравнений регрессии и построенных с их использованием зависимостей, представленных на рисунках 1 и 2, показывают следующее.

Существует область оптимальных значений количеств добавок минерального наполнителя – керамзитовой пыли и водоудерживающей добавки полиэтиленоксида РЕО-S при их совместном введении, при которых достигаются максимальные значения показателей адгезии к основанию и прочности при сжатии растворов на основе клеевых ССС.

Основное влияние на изменение показателей адгезии растворов к основанию оказывает водоудерживающая добавка полиэтиленоксида РЕО-S. Увеличение ее количества до 1,8-2,1% по массе в составе клеевой ССС вызывает увеличение адгезии вследствие увеличения водоудерживающей способности. Повышение содержания добавки полиэтиленоксида РЕО-S сверх оптимальных значений вызывает постепенное увеличение водопотребности растворных смесей, снижение прочностных показателей (когезии) растворов и снижение показателей адгезии.

Увеличение количества добавки до оптимальных значений 1,5-6% по массе повышает показатели прочности при сжатии растворов и несколько повышает показатели адгезии к основанию, что может объясняться структурообразующей функцией наполнителя в сочетании с высокой гидравлической активностью молотой керамзитовой пыли [4, 5].

Повышение содержания добавки молотой керамзитовой пыли свыше оптимальных значений при увеличении водопотребности растворных смесей вызывает некоторое снижение показателей прочности и адгезии.

Максимальные показатели адгезии растворов на основе клеевых ССС к основанию в пределах 0,9-1 МПа достигаются при содержании минерального наполнителя керамзитовой пыли – 1,5-6% по массе;



Таблица 3

**Влияние количества добавки молотой керамзитовой пыли при удельной поверхности 150 м<sup>2</sup>/кг на основные физико-технические свойства клеевых ССС**

Наименование показателей	Показатели свойств			
	0	5	10	15
Количество добавки, % по массе	0	5	10	15
Водопотребность, %	20	19	19	20
Контактная площадь, %	96	98	98	96
Водоудерживающая способность, %	99,89	99,83	99,85	99,88
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1562	1511	1465	1450
Плотность растворной смеси, кг/м <sup>3</sup>	15	1660	1615	1590
Предельное открытое время, мин.	0,91	20	15	15
Время корректировки, МПа, мин.	11,1	10	<10	<10
Адгезия к основанию, МПа	20	0,8	0,66	0,52
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут., МПа	96	11,4	9,5	8

Таблица 4

**Влияние количества добавки молотой керамзитовой пыли при удельной поверхности 300 м<sup>2</sup>/кг на основные физико-технические свойства клеевых ССС**

Наименование показателей	Показатели свойств			
	0	5	10	15
Количество добавки, % по массе	0	5	10	15
Водопотребность, %	20	20	21	21
Контактная площадь, %	96	97	95	95
Водоудерживающая способность, %	99,89	99,92	99,86	99,9
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1562	1540	1500	1480
Плотность растворной смеси, кг/м <sup>3</sup>	1562	1685	1660	1630
Предельное открытое время, мин.	1666	20	20	15
Время корректировки, МПа, мин.	20	15	10	<10
Адгезия к основанию, МПа	0,91	0,88	0,7	0,56
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут., МПа	11,1	12,8	11	9

Таблица 5

**Влияние количества добавки молотой керамзитовой пыли при удельной поверхности 500 м<sup>2</sup>/кг на основные физико-технические свойства клеевых ССС**

Наименование показателей	Показатели свойств			
	0	5	10	15
Количество добавки, % по массе	0	5	10	15
Водопотребность, %	20	21	22	23
Контактная площадь, %	96	96	95	95
Водоудерживающая способность, %	99,89	99,86	99,89	99,85
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1562	1478	1455	1443
Плотность растворной смеси, кг/м <sup>3</sup>	15	1622	1588	1570
Предельное открытое время, мин.	0,91	20	20	15
Время корректировки, МПа, мин.	11,1	10	<10	<10
Адгезия к основанию, МПа	20	0,7	0,6	0,43
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут., МПа	96	11,4	9,5	7,5

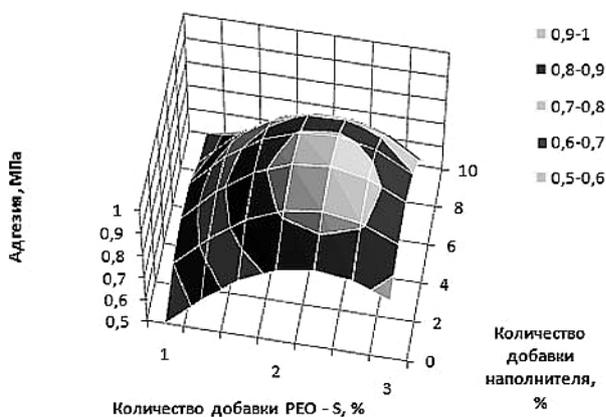


Рис. 1. Влияние комплекса модифицирующих добавок на адгезию к основанию растворов на основе клеевых ССС

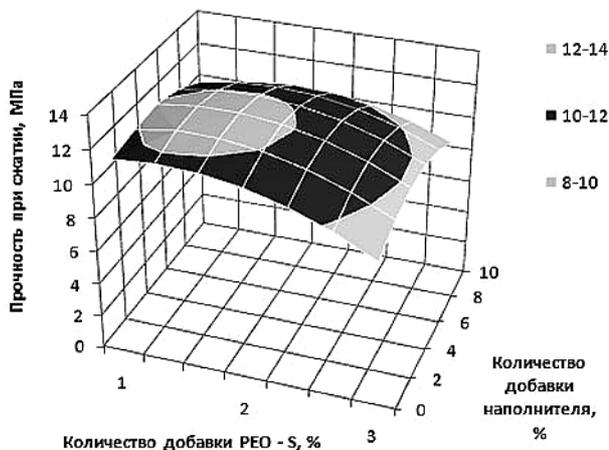


Рис. 2. Влияние комплекса модифицирующих добавок на прочность при сжатии растворов на основе клеевых ССС

Таблица 6

Рекомендуемые составы разработанных клеевых ССС

Компоненты	Расход компонентов в масс. частях
Портландцемент М500Д0	30 - 26
Керамзитовая пыль (уд. пов 300 м <sup>2</sup> /кг)	5 – 9
Полиэтиленоксид РЕО-S	2
Кварцевый песок	65

Таблица 7

Показатели основных физико-технических свойств разработанных клеевых ССС

Наименование свойств	Показатели свойств
Марка по прочности при сжатии в возрасте 28 сут.	М100
Водопотребность, %	20 - 21
Подвижность, см	8 - 9
Водоудерживающая способность, %	99,8 - 99,9
Предельное открытое время, мин	20
Допустимое время корректировки, мин	20 - 10
Контактная площадь, %	97 - 95
Адгезия к основанию, МПа	0,7 - 1
Марка по морозостойкости, не менее	F50

водоудерживающей добавки полиэтиленоксида РЕО-S – 1,8-2,8% по массе.

Показатели адгезии в пределах нормативного показателя (не менее 0,7 МПа) достигаются при содержании керамзитовой пыли – 0-9% по массе; полиэтиленоксида РЕО-S более 1,3% по массе.

Максимальные показатели прочности при сжатии растворов на основе клеевых ССС в пределах 12-14 МПа достигаются при содержании керамзитовой пыли – 1-6 % по массе; полиэтиленоксида РЕО-S – 0-2,1% по

массе.

Показатели прочности при сжатии растворов на основе клеевых ССС в пределах нормативного показателя (не менее 10 МПа) достигаются при содержании керамзитовой пыли – 0-10% по массе; полиэтиленоксида РЕО-S – 1,8-2,8% по массе.

Достижение максимальных показателей основных свойств растворяемых смесей и растворов на основе клеевых ССС осуществляется при введении оптимальных количеств добавок: минерального наполнителя



керамзитовой пыли – 1,5-6% по массе; водоудерживающей добавки полиэтиленоксида РЕО-S – 1,8-2,1% по массе.

Таким образом, установлены математические зависимости, характеризующие влияние совместно вводимых в состав клеевых ССС модифицирующих добавок: минерального наполнителя – керамзитовой пыли и химической водоудерживающей добавки – полиэтиленоксида РЕО-S на адгезию к основанию и прочность при сжатии растворов на основе ССС.

На базе полученных зависимостей разработаны составы клеевых ССС с применением комплекса местных минеральных и химических добавок Республики Татарстан, отвечающие современным нормативным требованиям.

Рекомендуемые составы и физико-технические характеристики разработанных клеевых ССС представлены в таблицах 6 и 7.

По показателям основных физико-технических свойств разработанные составы отвечают нормативным требованиям ГОСТ 28013-98\*, СП 82-101-98, СНиП 3.04.01-87 и отражающих современные требования к клеевым ССС ТУ 5745-001-57228332-2006 (таблица 1).

Разработанные составы клеевых ССС являются конкурентоспособными в ценовом отношении, благодаря применению в их составе водоудерживающей добавки – высокомолекулярного полиэтиленоксида местного производства взамен более дорогостоящих

импортных водоудерживающих добавок, а также добавки минерального наполнителя – отхода промышленности строительных материалов керамзитовой пыли при снижении расхода дорогостоящего портландцемента по сравнению со стандартными рецептурами ССС.

### Литература

1. Демьянова В.С., Калашников В.И., Дубошина Н.М. К вопросу оценки прочности сцепления строительных растворов, модифицированных водорастворимыми добавками полимеров. // Известия вузов. Строительство, 2001, № 1. – С. 33-35.
2. Афанасьев Н.М., Целуйко М.К. Добавки в бетоны и растворы. – К.: Будивэльник, 1989. – 128 с.
3. Горин В.М., Токарева С.А., Сухов В.Ю., Нехаев П.Ф., Авакова В.Д., Романов Н.И. Расширение области применения керамзитового гравия. // Строительные материалы, 2003, № 11. – С. 19-21.
4. Усов Б.А., Попов Н.Л. Сухие строительные смеси на основе молотого портландцемента с кварцсодержащими микронаполнителями. // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2003, № 7. – С. 14-15.
5. Способ изготовления цемента низкой водопотребности. Патент РФ на изобретение № 2207995, 07.04.2003 / Патентообладатели: Юдович Б.Э., Зубехин С.А. // Изобретения: Бюллетень, 2003, № 13.



УДК 624.012.45

**Ю.Ф. Юсупова** – аспирант, старший преподаватель  
Самарский государственный архитектурно-строительный университет (СамГАСУ)

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

### АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы изменения эксплуатационных качеств бетона железобетонных конструкций при воздействии минеральных масел. Анализируются причины снижения прочности бетона под их влиянием. Приводятся результаты натурных и лабораторных исследований в рамках указанной проблемы.

**J.F. Jusupova** – post-graduate student, senior lecturer  
Samara University of Architecture and Civil Engineer (SUACE)

## INFLUENCE OF MINERAL OILS ON THE EXPLOITATION QUALITIES OF REINFORCED CONCRETE CONSTRUCTIONS

### ABSTRACT

The alteration of exploitation qualities of reinforced concrete constructions by the influence of mineral oils is considered. The reasons of the strength decrease under that influence are analyzed. The results of natural and laboratory research of that problem are stated.

Вопросы технической диагностики строительных конструкций промышленных зданий и сооружений и обеспечение их безопасной эксплуатации приобретают особую актуальность в условиях рыночной экономики.

Значительный материальный ущерб наносят предприятиям остановки производства на внеплановые ремонтные работы. Причем затраты на ремонт в ряде случаев превышают восстановительную стоимость объекта. А урон, наносимый человеческим жизням при возникновении аварий, вообще неоценим. Обеспечение промышленной безопасности и сохранение производственного фонда являются задачей государственной важности.

Опыт диагностики технического состояния зданий и сооружений показывает, что для определения фактической несущей способности строительных конструкций необходимо иметь научно-обоснованные данные об изменении эксплуатационных характеристик материалов строительных конструкций под воздействием различных агрессивных сред.

Производственная практика открывает широкий диапазон для новых исследований форм и механизмов коррозии. В частности, мало изученными остаются вопросы влияния минеральных масел на железобетонные конструкции.

Опыт эксплуатации показывает, что подобная форма коррозии достаточно широко распространена. При эксплуатации объектов нефтехимического и нефтеперерабатывающего комплекса, теплоэнергетики, машиностроительных и металлообработывающих

предприятий, типографий, прядильных и ткацких фабрик, гаражей, ангаров, ремонтных цехов, автомобильных стоянок и сервисов зачастую приходится сталкиваться с их воздействием на бетонные и железобетонные конструкции.

Исследованиями влияния минеральных масел на бетон и железобетон занимались Е.К. Мачинский, Б.Г. Скрамтаев, В.М. Москвин, Г.К. Дементьев, В.Э. Лейрих, К.А. Мальцов, А.М. Архипов, А.Д. Саратов, Ю.А. Саввина, Н.М. Васильев.

Было установлено, что минеральные масла, а особенно отработанные, изменяют прочностные характеристики и некоторые другие свойства бетона и железобетона. При длительной эксплуатации в таких средах прочность бетона может снижаться до 1/3 от первоначальной, а сцепление с гладкой арматурой до 70%.

Природа снижения физико-механических характеристик под влиянием масел объясняется следующим.

Минеральные (нефтяные) масла являются смесью метановых, нафтеновых, ароматических и нафтеново-ароматических соединений. Углеводороды, составляющие минеральные масла различного рода и различного веса, имеют общее свойство – неполярность. Кроме того, они не имеют достаточной маслянистости, смачивающей способности и липкости, необходимых для создания тонкого слоя смазки между трущимися частями машин.

Для придания минеральным маслам



антиокислительных, противоизносных, антикоррозионных и антипенных свойств в них оставляются при очистке 1,0-1,5% кислородо-, серо- или азотосодержащих смол или вводятся небольшие количества присадок. Смолы и присадки обладают сильными полярными свойствами.

При глубокой очистке масел смолы удаляются полностью. При этом получают (переочищенные) вазелиновые масла. Снижение же прочности происходит за счет расклинивающего действия поверхностно-активных смол или присадок, содержащихся в маслах. Это было давно подтверждено тем, что бетонные образцы, помещенные в вазелиновое масло (не имеющие в своем составе смол и присадок), не снижают своей первоначальной прочности. Кроме того, все минеральные масла по сравнению с водой имеют большую смачивающую способность поверхностей твердых тел, а также большую силу капиллярного подсоса.

В литературных источниках понижение прочности бетона названо «эффектом расклинивающего действия», так как молекулы поверхностно-активных веществ, адсорбируясь на микродефектах пористого материала, стремятся проникнуть в глубь их, оказывая давление и понижая этим прочность материала. Все жидкости, имеющие полярное строение молекул, способны понижать прочность бетонов. Так, сильнополярные молекулы смол и присадок, накапливаясь в теле бетона и заполняя его микродефекты, со временем снижают его прочность.

Также установлено, что при пропитке маслом отсутствует способность к гидратации клинкерного фонда цементного камня, в результате чего промасленные бетоны не могут набирать прочность со временем.

Известно, что светлые углеводородные фракции, например, бензин, содержащие порядка 0,005% нейтральных смол, не снижают прочность бетона, в то время как темные нефтепродукты (минеральные масла, смазки, охлаждающие эмульсии), имеющие в своем составе около 2% смол и присадок, оказывают среднеагрессивное воздействие на бетон.

Петрографические, рентгеноструктурные, электронно-микроскопические и термографические исследования бетонных образцов, выдержанных в нефтепродуктах, не выявили наличия новообразований в цементном камне [1]. Это является подтверждением теории о физико-механической природе снижения прочности бетона под действием минеральных масел.

В практике обследования железобетонных конструкций основное мероприятие – это установление фактических прочностных характеристик бетона. Наиболее точные результаты по определению прочности промасленного бетона можно получить, используя механический разрушающий и склерометрический методы.

Сотрудниками научно-исследовательской

лаборатории университета было проведено обследование технического состояния промасленных конструкций производственного здания Станкозавода. Необходимость обследования была вызвана предполагаемой реконструкцией цеха под торговый центр, после которой конструкции должны были нести нагрузки, специфичные для торгово-павильонного оборудования. В составе исследования предполагалось определить остаточную несущую способность железобетонного перекрытия и определить степень влияния многолетнего замасливания на прочность бетона.

В процессе обследования было установлено, что в конструктивном отношении здание с неполным каркасом. По металлической балочной клетке выполнено монолитное железобетонное перекрытие толщиной 18 см. Перекрытие было запроектировано с достаточным резервом несущей способности для восприятия нагрузок от станочного оборудования, проектная марочная прочность бетона составляла не менее 300 кг/см<sup>2</sup>.

За период более чем тридцатилетней эксплуатации конструкции междуэтажного перекрытия оказались промасленными на 80 % своей площади, причем пропитывание было сквозным и настолько сильным, что замасленными оказались даже элементы балочной клетки, а нижняя поверхность плиты была покрыта тонким слоем масла.

Для изучения влияния масел на прочность бетона из монолитной конструкции перекрытия в наиболее замасленных зонах были извлечены шесть образцов-проб, из которых были выпилены 24 стандартных куба.

Образцы были испытаны разрушающим методом на гидравлическом прессе ЗИМ типа МС-500 согласно [6]. Средняя прочность образцов составила 100 кг/см<sup>2</sup>. Нужно также отметить, что промасленные кубики разрушались по вертикальным плоскостям, отдельными лещадками. В то время как неповрежденные образцы при проведении стандартных испытаний разрушаются по призмам.

Помимо механических испытаний, прочность бетона была определена неразрушающим методом с помощью прибора-склерометра «Оникс-2.5» НПЦ Карат согласно [4]. С учетом тарировочного коэффициента средняя прочность составила 101 кг/см<sup>2</sup>.

По результатам натурального эксперимента был сделан вывод, что под действием промышленных масел прочность бетона снизилась в три раза за тридцать лет эксплуатации.

При невозможности проведения инструментального контроля или для экстренного определения прочности промасленного бетона Н.М. Васильевым [1] рекомендованы эмпирические зависимости, учитывающие начальную прочность бетона, общее время и режим попадания минеральных масел.

Однако исследованиями [1, 2] установлено, что степень агрессивного влияния минеральных масел



зависит от концентрации в них асфальто-смолистых веществ и присадок. Так, вазелиновое масло не изменяет прочностные характеристики бетона, а отработанные минеральные масла интенсивно снижают прочность бетона.

Необходимость дополнительных исследований по данной тематике подтверждается производственной необходимостью. Имеющиеся теоретические сведения не дают возможности достоверно установить ресурс эксплуатационных качеств промасленных железобетонных конструкций.

Перспективным направлением в этой области является поиск зависимостей, которые бы учитывали как характеристики флюида, так и характеристики корродирующего материала (плотность, пористость, вид и модуль крупного заполнителя, исходную прочность).

В рамках исследований по данной тематике составлен план полного трехфакторного эксперимента.

Значимые (входные) факторы:

- концентрация ПАВ (содержание асфальто-смолистых веществ)  $\{x_1\}$ ;
- начальная прочность бетона  $\{x_2\}$ ;
- время испытания  $\{x_3\}$ .

Выходной параметр: призмная прочность бетона на сжатие  $R_b \{y\}$

Функция отклика:  $y=f(x_1, x_2, x_3)$ .

Число факторов  $n=3$ , число опытов  $N=2^n = 2^3=8$ .

Уровни значений факторов:

- концентрация асфальто-смолистых веществ учтена использованием флюидов с высоким их содержанием более 2% (отработанное минеральное масло) и низким (неотработанное масло И20А) менее 2%;
- изготовлены призмы 10х10х40 см из бетона класса В25 и В7,5 на гранитном заполнителе;
- время выдержки 3 и 9 месяцев.

Выражение функции отклика имеет вид:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

Для моделирования одномерного процесса проникновения флюида, близкого к реальным производственным условиям, по периметру образцов была устроена обойма из оцинкованной стали. Методика испытаний предполагала заливку верхней плоскости образцов реагентами на установленные временные промежутки.

Через три месяца насыщения часть образцов была распилена на стандартные образцы кубы и испытана механическим разрушающим и склерометрическим методом с помощью прибора ОНИКС-2.5 НПЦ «Карат» согласно [4, 5]. Для установления неоднородности прочностных показателей поперечники образцов были разбиты на три зоны по направлению бетонирования. Каждая зона разбивалась на 3 участка, в каждом из которых проводилось не менее 5 измерений, по которым принималась средняя прочность зоны. Количество измерений для получения достоверного значения параметра принято согласно методике [8].

Получены следующие предварительные результаты.

В первую очередь, зафиксировано некоторое превышение прочности цементного камня, определенной неразрушающим методом, над призмной прочностью, установленной с помощью контроля на прессовом оборудовании.

При исследовании образцов, находившихся в неотработанном масле, установлено следующее:

- Образцы полностью насыщены минеральным маслом.
- По внешнему виду распределение масла по поперечному сечению образцов неравномерное.
- Нижние слои бетона имеют пониженную прочность. При ударе бойка прибора в этой зоне остается вполне заметная лунка, верхние же слои менее насыщены маслом и при неразрушающем контроле их прочности следов не остается.

• Прочность образцов класса В25 и В7,5 снижена на 25- 30%.

Контролем образцов, испытанных на влияние отработанного минерального масла, получены следующие результаты:

- Отработанное минеральное масло в силу своей более вязкой консистенции не пропитало насквозь образцы из бетона класса В25.
- Бетонные образцы класса В7,5, имеющие более пористую структуру, насыщены полностью.
- Образцы, подверженные влиянию отработанного минерального масла, имеют пониженную прочность верхних зон поперечных сечений.
- Призмная прочность бетонных образцов класса В25 снижена до 50%, прочность образцов из бетона класса В7,5 снижена до 70%.

По результатам испытаний сделаны выводы:

1. Отработанное минеральное масло более агрессивно по отношению к бетону по сравнению с неотработанным.

2. Превышение прочности поверхностного слоя цементного камня по сравнению с призмной можно объяснить обволакивающим действием флюида на зону контакта крупного и мелкого заполнителя, что приводит к снижению прочности их сцепления и ухудшению эксплуатационных характеристик бетона железобетонных конструкций.

3. Прочность поверхностного слоя изменяется по поперечнику образца, вследствие накопления в порах и микродефектах материала асфальто-смолистых веществ – понизителей твердости.

4. Расположение зоны пониженной прочности (место максимальной концентрации ПАВ) по поперечному сечению образцов определяется интенсивностью диффузионного переноса флюида, критерием которого является вязкость.

5. Интенсивность насыщения образцов и динамика снижения их прочностных характеристик зависят от вязкости. Последнее требует корректировки плана



эксперимента.

Следующая серия испытаний будет проведена через 6 месяцев для получения данных о влиянии длительного промасливания на состояние бетона. Обработка опытных данных позволит получить функцию отклика – зависимость фактической прочности бетона от характеристик флюида – концентрации асфальто-смолистых веществ и его вязкости.

В рамках указанной тематики планируется исследование эксплуатационных характеристик промасленных железобетонных конструкций в условиях низких температур. Актуальность данного вопроса вызвана практикой эксплуатации наружных установок, этажерок и постаментов нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий, где подобная форма коррозии усугубляется размораживанием бетона строительных конструкций.

Важным направлением является поиск и апробация эффективных способов защиты железобетонных конструкций от действия минеральных масел и восстановление их несущей способности. На современном рынке представлен значительный выбор антикоррозионных и ремонтных составов. При оценке их эффективности работы на промасленных конструкциях основным критерием должна являться адгезия покрытия или состава к основному материалу конструкции.

Сотрудниками научно-исследовательской лаборатории «Реконструкция» Самарского архитектурно-строительного университета выполняются исследования возможности применения различных современных защитных материалов с учетом конкретных условий производства [9, 10]. В частности, были проведены эксперименты по определению защитных качеств полиуретановой композиции Элакор-ПУ, лака «Пластурел» и защитной композиции «Силор» в средах углеводородов на бетонных и растворных образцах. В качестве агрессивных реагентов применялись отработанные масла, отобранные с действующего производства.

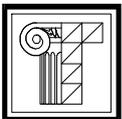
По результатам проведенных экспериментальных исследований сделан вывод, что наибольшей эффективностью в отношении декоративных и защитных качеств является лак «Пластурел», а композиция «Силор» не обеспечивает должной защиты бетона от действия масел. Результаты эксперимента

показали, что широкая реклама не всегда является достоверным свидетельством эксплуатационных качеств предлагаемой строительной продукции.

С подобными вопросами приходится сталкиваться при оценке и диагностике технического состояния строительных конструкций. Поиск новых способов диагностики, восстановления эксплуатационной пригодности строительных конструкций, их апробация с учетом конкретных условий эксплуатации являются актуальной научно-исследовательской задачей.

## Литература

1. Васильев Н.М. Влияние нефтепродуктов на прочность бетона. // Бетон и железобетон, 1981, №3. – С. 36-37.
2. Васильев Н.М. О снижении прочности бетона под воздействием нефтепродуктов. // Энергетическое строительство, 1982, №5. – С. 44-46.
3. Временные указания по защите железобетонных конструкций от действия смазочных масел и охлаждающих эмульсий. – М.: Стройиздат, 1966. – 28 с.
4. ГОСТ 22690-88. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М., 1991. – 19 с.
5. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. – М., 1991. – 35 с.
6. ГОСТ 28570-90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций. – М., 1991. – 9 с.
7. Коррозия бетона и железобетона и методы их защиты. / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев; под ред. В.М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
8. Пособие по обследованию строительных конструкций зданий. / ОАО «ЦНИИПромзданий». – М, 1997.
9. Юсупова Ю.Ф. Вопросы защиты железобетонных конструкций на предприятиях нефтехимии и нефтепереработки. // Актуальные вопросы строительства: материалы Междунар. научн.-техн. конф. – Саранск: Из-во Мордов. ун-та, 2005. – С. 444-446.
10. Юсупова Ю.Ф. Защита железобетонных конструкций от действия нефтепродуктов. // Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: материалы VII Международной научно-технической интернет-конференции / ХНАГХ. – Харьков, 2006. – С. 103-107.



УДК 628.3.622.5

**А.А. Адельшин** – аспирант, инженер

**А.Б. Адельшин** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения

**А.Р. Каюмов** – кандидат биологических наук, ассистент

**Р.А. Каюмов** – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

### **ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ КОАЛЕСЦЕНЦИИ КАПЕЛЬ НЕФТИ В ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКАХ УСТАНОВКИ БГКО**

#### **АННОТАЦИЯ**

На основе теоретико-экспериментальных исследований создана высокоиндустриальная блочная установка (аппарат) типа БГКО (блок гидроциклон – цилиндрические камеры нижнего и верхнего сливов гидроциклона – отстойник) для очистки нефтепромысловых сточных вод (НСВ) с целью повторной утилизации очищенных НСВ в системах заводнения нефтяных пластов. Численные расчеты распределения капель нефти в закрученных потоках показали, что в аппарате устанавливается благоприятный гидродинамический режим для коалесценции капель нефти, что дает возможность для создания экономически и экологически надежной и эффективной технологии и установки очистки НСВ.

**A.A. Adelshin** – post-graduate student, engineer

**A.B. Adelshin** – doctor of technical sciences, professor, head of the Water Supply and Water-Drainage department

**A.R. Kayumov** – candidate of biological science, assistant

**R.A. Kayumov** – doctor of physical-mathematical sciences, professor, head of Materials Resistance department

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUA)**

### **THE NUMERICAL EXPERIMENTS IN MODELING OF OIL DROPS COALESCENCE PROCESSES IN SWIRLED FLOWS OF BHCS-PLANT**

#### **ABSTRACT**

The high-industrial block plant (device) of BHCS type (the Block of Hydrocyclone – cylindrical Chambers of hydrocyclone lower and upper discharges – a Sedimentation tank) for oil-field sewage (OFS) cleaning aimed repeated recycling of cleared OFS in oil-layers waterflooding systems was developed. Numerical calculations of oil drops distribution in the swirled flows have shown that favorable hydrodynamical mode for oil drops coalescence in the device is forming. This enables the creation of technology and plant, which economically and ecologically reliable and effective for OFS cleaning.

Крупным водопотребителем и объектом образования нефтесодержащих (нефтепромысловых) сточных вод (НСВ) является нефтяная промышленность, в которой около 90% нефти добывается на месторождениях, разрабатываемых с использованием методов заводнения продуктивных нефтяных пластов с целью поддержания пластового давления.

Объем НСВ по стране достигает 1,2 млрд. м<sup>3</sup> в год, из которых более 90% используется в системах заводнения. Утилизация НСВ для заводнения позволяет

увеличить нефтеотдачу пластов в 1,5-2 раза, сократить потребление пресных вод, решить проблемы ликвидации НСВ и защиты окружающей среды от загрязнений на промыслах [1, 2].

Обустройство нефтяных месторождений предусматривает: широкое применение установок для очистки НСВ в блочном исполнении с высокими эффектом очистки и единичной мощностью при ограниченном объеме; герметичность, транспортабельность; высокий уровень индустриализации, сокращение времени строительства

(в т.ч. в изготовлении и монтаже). Одним из направлений в решении данных требований является создание новых методов, аппаратов, полноблочных установок, интенсификация и совершенствование технологических процессов предварительного гидродинамического разрушения и очистки НСВ.

Сущность и эффективность процесса разрушения, очистки НСВ заключается в достаточно полном и быстром снижении агрегативной и кинетической устойчивости НСВ путем, главным образом, разрушения бронирующей оболочки на каплях нефти и их коалесценции. Эти процессы осуществляются наиболее полно и интенсивно при определенной степени турбулизации потока НСВ в полости различных аппаратов – гидродинамических каплеобразователей.

Исследованиями создана технология очистки НСВ, которая предусматривает предварительное разрушение бронирующих оболочек на каплях нефти, укрупнение и уменьшение полидисперсности капель нефти за счет гидродинамической обработки исходной НСВ с использованием энергии закрученных потоков на сливах гидроциклона по схеме: «гидроциклон – цилиндрические камеры верхнего и нижнего сливов гидроциклона – отстойник» (БГКО) [2-5]. Конструктивные решения установок БГКО защищены патентами РФ [6-13].

Принципиальная схема конструкции БГКО представлена на рис. 1.

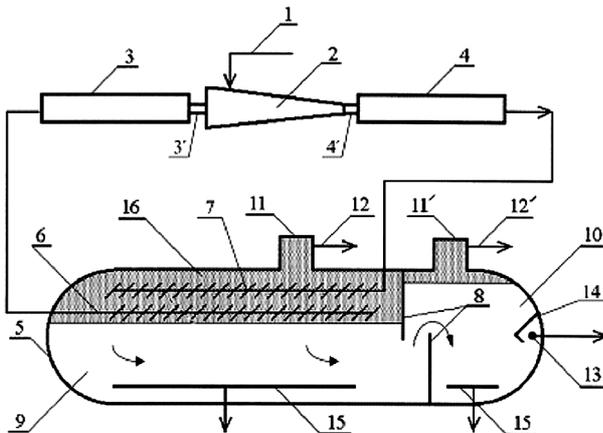


Рис. 1

Исходная НСВ по трубопроводу 1 поступает в высокотурбулентном режиме ( $Re > 10^5$ ) в гидроциклон 2, где осуществляется гидродинамическая обработка НСВ в поле центробежных сил, в результате чего разрушаются бронирующие оболочки; происходит дробление, укрупнение (коалесценция), уменьшение полидисперсности частиц нефти; разделение НСВ на два потока: поток, обогащенный нефтью из верхнего слива 3' поступает в цилиндрическую камеру 3, поток из нижнего слива 4' поступает в цилиндрическую камеру 4. Потоки поступают в камеры 3 и 4 в виде

закрученных струй, энергия которых используется для дальнейшей гидродинамической обработки НСВ. Движение жидкости в камерах осуществляется в развитом, но более мягком турбулентном режиме ( $Re = 1 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^4$ ), происходит дальнейшее укрупнение – коалесценция капель нефти. Объем отстойника 5 разделен перегородками на секции 9 и 10. Далее НСВ из камер 3 и 4 через распределители 6 и 7 поступают в верхнюю зону 16, секции 9 отстойника 5 в слой высококонцентрированной по нефти с умеренным перемешиванием содержимого. В зоне 16 происходит укрупнение капель нефти и ее отстаивание – расслоение – расслоение НСВ на нефть и воду. Отстоявшаяся нефть поступает в нефтесборники 11 и 11', из которых удаляется по трубопроводам 12 и 12' для утилизации. Очищенная вода удаляется из секции 10 отстойника 5 через устройства 13 и 14. Нефтьшлам накапливается на дне отстойника 5 и отводится через устройства 15.

С целью увеличения времени пребывания частиц нефти в объеме аппарата с закрученным течением, т.е. увеличения времени гидродинамической обработки НСВ в закрученном потоке, предусмотрены достаточно длинные цилиндрические камеры 3 и 4 на сливах гидроциклона 1 (см. рис. 1), что способствует наиболее полной реализации известных стадий механизма разрушения НСВ [1, 2]. Исследованиями рекомендованы: диаметр камер 100 мм, длина их 2000 мм, напорный двухпродуктовый гидроциклон диаметром 75 мм, при этом диаметры: питания  $d_n = 15$  мм, верхнего слива  $d_{вс} = 20$  мм, нижнего слива  $d_{нс} = 26$  мм; угол конусности  $\alpha = 5^\circ$ ; глубина погружения верхнего слива  $h = 48$  мм; высота цилиндрической части 15 мм; давление на входе установки  $\geq 0,4$  МПа, противодавление на выходе камер сливов  $\approx 0,2$  МПа; продолжительность отстаивания 20-60 мин в зависимости от типа НСВ [2, 4].

Совместный анализ гидродинамических и технологических процессов, происходящих в составляющих установку БГКО аппаратах, позволил представить ее (см. рис. 1) в виде комбинированной модели, состоящей из четырех ячеек идеального перемешивания: первая ячейка – гидроциклон с объемом  $W_1$ , вторая и третья – цилиндрические камеры с объемом  $W_2$  и  $W_3$ , четвертая – отстойник объемом  $W_4$  [14].

Исследованиями получены дифференциальные функции распределения капель нефти по крупности для следующих физических моделей (параметры, входящие в нижеследующие выражения, изложены в [15]):

– для камеры нижнего слива:

$$C(d_k) = \frac{0,0455 \cdot K \cdot d_k^{-1/3} \cdot \lambda_1^2}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \varphi^{5/9} \cdot \epsilon_0^{1/3} \cdot \theta} \left[ \frac{1}{(a-b)(a-c)} e^{at} + \frac{1}{(b-a)(b-c)} e^{bt} + \frac{1}{(c-a)(c-b)} e^{ct} \right]; \quad (1)$$



– для камеры верхнего слива:

$$C(d_k) = \frac{0,0455 \cdot K \cdot d_k^{-1/3} \cdot \lambda_2^2}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot \varphi^{5/9} \cdot \varepsilon_0^{1/3} \cdot \theta} \left[ \frac{1}{(a-b)(a-c)} e^{at} + \frac{1}{(b-a)(b-c)} e^{bt} + \frac{1}{(c-a)(c-b)} e^{ct} \right]; \quad (2)$$

– для установки БГКО:

$$C(d_k) = \frac{0,0455 \cdot K \cdot d_k^{-1/3}}{A_1 \cdot A_3 \cdot \varphi^{5/9} \cdot \varepsilon_0^{1/3} \cdot \theta} \left\{ \frac{\bar{A}}{A_4 + a} e^{at} + \frac{\bar{B}}{A_4 + b} e^{bt} + \frac{\bar{C}}{A_4 + c} e^{ct} - \left[ \frac{\bar{A}}{A_4 + a} + \frac{\bar{B}}{A_4 + b} + \frac{\bar{C}}{A_4 + c} \right] e^{-\tau \frac{1}{A_4}} \right\} \quad (3)$$

Для определения времени коалесценции капель  $\tau$  получена формула [15]:

$$\tau = 0,068 \frac{d_k^{2/3} - (d_k^0)^{2/3}}{\varphi^{5/9} \cdot \varepsilon_0^{1/3} \cdot \theta} \quad (4)$$

Уравнения (1, 2, 3) являются основой для решения задач укрупнения (коалесценции) капель нефти при инженерных расчетах установок типа БГКО.

Эти математические модели гидродинамики и коалесценции могут быть использованы для создания оптимальных режимов рассмотренных схем гидродинамических каплеобразователей и БГКО на основе использования закрученного потока. Ниже приведены результаты численных экспериментов, проведенных на основе разработанных авторами программ по численному моделированию на ЭВМ процесса коалесценции капель нефти в закрученных потоках сливов гидроциклона аппарата БГКО.

Рассмотрим результаты расчета  $C(d_k)$  для камеры верхнего слива (см. рис. 1). На рис. 2 приведены значения  $C(d_k)$  при различных плотностях капель в НСВ, т.е. при  $\varphi = 0,0001; 0,0002; 0,0005; 0,001$ . Видно, что, как и ожидалось, при малых плотностях ввиду малой вероятности столкновения капель становится малым число капель с большим диаметром (т.е. при больших  $d_k$  функция  $C(d_k)$  гораздо меньше для случая  $\varphi = 0,00005$  по сравнению со случаем  $\varphi = 0,0005$ ). В первом случае в единице объема содержится максимальное количество капель с диаметром  $d_k \approx 0,01$  мм, а при  $\varphi = 0,0005$  – содержится максимальное количество капель с диаметром  $d_k \approx 0,04$  мм.

На рис. 3 приведены функции  $C(d_k)$  при различных значениях давления, а именно при  $P = 1, 3, 4, 5$  атм. Видно, что функция распределения  $C(d_k)$  перестает изменяться при давлениях выше 4 атм. Это позволяет рекомендовать в качестве оптимального принять именно это значение давления.

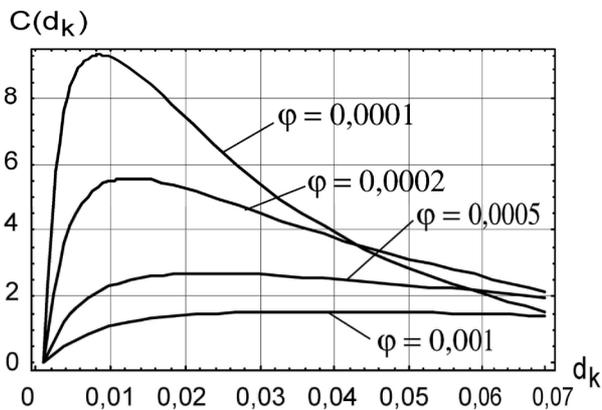


Рис. 2

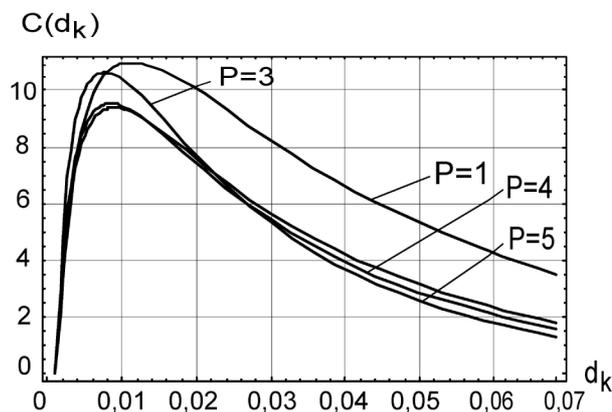


Рис. 3

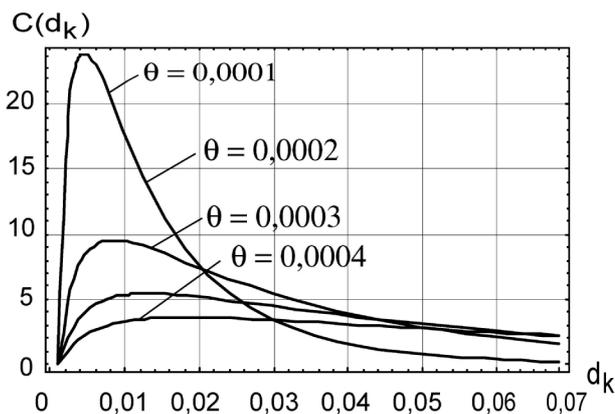


Рис. 4

На рис. 4 приведены функции  $C(d_k)$  при значениях  $\theta = 0,0001; 0,0002; 0,0003; 0,0004$  (конструктивного и режимного параметра эффективности столкновений, зависящего от конструктивных, режимных параметров БГКО, а также количественных и качественных характеристик НСВ). В частности,  $\theta$  зависит от интенсивности закрутки потока (режима турбулентности), т.е. от скорости потока, типа устройства, его особенностей. Видно, что функция распределения  $C(d_k)$  весьма чувствительна к изменению этого параметра.



Результаты теоретических исследований процессов коалесценции капель нефти и численных экспериментов явились основой для разработки ряда новых технических решений аппаратов типа БГКО для очистки НСВ, защищенных патентами РФ, и могут быть использованы при модернизации существующих и создании новых установок.

### Литература

1. Тронов В.П., Тронов А.В. Очистка вод различных типов для использования в системе ППД. – Казань: Фэн, 2001. – 560 с.
2. Адельшин А.Б. Интенсификация процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод./ Дис. докт. техн. наук. – СПб., 1998. – 73 с.
3. Адельшин А.Б., Бусарев А.В., Потехин Н.И., Селюгин А.С., Адельшин А.А. К проблеме интенсификации процессов гидродинамической очистки нефтесодержащих сточных вод. // Известия КГАСА, 2003, №21. – С.91-96.
4. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Хисамеева Л.Р., Шешегова И.Г. К основным положениям разработки блочных установок очистки нефтепромысловых сточных вод с использованием закрученных потоков. // Технология нефти и газа, 2007. – 12 с.
5. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Хисамеева Л.Р., Шешегова И.Г. Аппарат очистки нефтепромысловых сточных вод на основе использования закрученных потоков с целью заводнения нефтяных пластов. // Нефтегазовое дело. Электронный научный журнал, 2007. – 12 с.
6. Патент РФ № 2189360. Бюл. № 26 от 20.09.2002 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
7. Патент РФ № 2227791. Бюл. № 12 от 27.04.2004 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А., Каюмов Р.А.
8. Патент РФ № 2248327. Бюл. № 8 от 20.03.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
9. Патент РФ № 2253623. Бюл. № 16 от 10.06.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
10. Патент РФ № 2255903. Бюл. № 19 от 10.07.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А., Каюмов Р.А., Урмитова Н.С.
11. Патент РФ № 2257352. Бюл. № 21 от 27.07.2005 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.Б., Потехин Н.И., Адельшин А.А.
12. Патент РФ № 2303002. Бюл. № 20 от 20.07.2007 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.А., Адельшин А.Б.
13. Патент РФ № 2313493. Бюл. № 36 от 27.12.2007 г. Устройство для очистки нефтесодержащих сточных вод. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Файзуллин Р.Н., Сахапов Н.М.
14. Адельшин А.А. Дифференциальная функция распределения времени пребывания жидкости установки БГКО // Труды Международного форума по проблемам науки, техники и образования. Том 2. – М.: Академия наук о Земле, 2004. – 170 с.
15. Адельшин А.А., Адельшин А.Б., Ибяттов Р.И. Моделирование процессов коалесценции в закрученных потоках установки БГКО. // Известия КГАСУ, 2007, № 2(8). – С. 102-106.



УДК 628.1+725.74

**А.Б. Адельшин** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения

**С.В. Леонтьева** – старший преподаватель

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАМЫВНЫХ ФИЛЬТРОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ**

### **АННОТАЦИЯ**

Обследование систем водоснабжения плавательных бассейнов и анализ технологических схем позволили предложить технологию водоподготовки с использованием намывных фильтров. Создана опытно-промышленная установка. Целью экспериментальных исследований являлось определение параметров фильтрования воды и выбор вспомогательных фильтрующих веществ, необходимых для расчета фильтров плавательных бассейнов. Полученные данные были использованы в проектировании систем технологического водоснабжения плавательных бассейнов различного объема и назначения.

**A.B. Adelshin** – doctor of technical sciences, professor, head of the Water Supply and Water-Drainage department

**S.V. Leonteva** – senior lecturer

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## **THE PROSPECTS OF PRECOAT FILTERS USAGE IN TECHNOLOGICAL WATER SUPPLY OF SWIMMING BATHS**

### **ABSTARCT**

The surveying of swimming bath water supply systems and analysis of technological systems allowed offering the technology of water conditioning with application of precoat filters. The pilot plant was created. The purpose of the experimental research was determination of the parameters of water filtering and choice of supplemental filter powder. This research is necessary for calculation of filters for swimming bath. The findings were used in practical systems of technological water supply of swimming baths of various volumes and purposes.

При проектировании городов предусматривается обязательное строительство физкультурно-спортивных сооружений, в том числе плавательных бассейнов. В последние годы увеличилось строительство общественных бассейнов и аквапарков, активно сооружаются частные и ведомственные объекты. Тем актуальнее становится проблема обеспечения этих сооружений современными технологиями водоподготовки, способными обеспечить требуемое качество воды. В ходе исследований было проведено обследование систем технологического водоснабжения и водоотведения плавательных бассейнов РТ и некоторых городов РФ.

Проведено патентное исследование систем водоподготовки и оборудования, применяемого в плавательных бассейнах (в том числе за рубежом), и анализ технологических решений, предложенных в типовых проектах за последние 40 лет.

Большинство действующих бассейнов построено 20-25 лет назад и сейчас нуждается в реконструкции.

При строительстве новых объектов за основу при проектировании берутся типовые проекты 30-35-летней давности. С традиционными установками по хлорированию воды и фильтрованию на скорых напорных фильтрах, даже при закупке зарубежного оборудования. Основной ошибкой проектировщиков при выборе оборудования и технологии водоподготовки является игнорирование качества как исходной (обычно водопроводной) воды, так и требований к качеству воды бассейнов различного назначения (спортивных, оздоровительных, детских).

Являясь объектами коллективного пользования, плавательные бассейны требуют строгого соблюдения санитарно-гигиенических и технологических требований. Нарушение технологии эксплуатации бассейнов может привести к возникновению конъюнктивитов, эпидермофитии, аллергических и других заболеваний (в частности, в результате высоких концентраций в воде хлора, озона и других реагентов) [2]. Приложение 2 [1] приводит список 21 заболевания,



половина из которых имеют высокую и существенную связь с водным фактором. При применении современных методов очистки и обеззараживания воды, четком соблюдении санитарно-гигиенических правил эксплуатации можно полностью исключить заболевания.

Исследования, проводившиеся за рубежом, показали, что каждый посетитель заносит в воду бассейна за 30 минут пребывания в нем до 30 тысяч микроорганизмов [3]. Установлено, что пловец, не прошедший санитарной обработки, вносит в бассейн в 5 раз больше бактерий и в 3 раза больше кишечных палочек, чем прошедший обработку. При этом дети младшего возраста загрязняют воду значительно интенсивнее, чем взрослые [4]. Это необходимо принимать во внимание при установлении пропускной способности бассейна с учетом возраста контингента, режима водообмена, количества добавочной, чистой воды.

Наблюдающееся увеличение процента неудовлетворительных проб в исходной воде и, как следствие, в воде плавательных бассейнов происходит за счет мутности, цветности, содержания железа, общей жесткости, соледержания. В воде плавательных бассейнов наблюдается повышенное содержание хлоридов, остаточного хлора, окисляемости, в детских бассейнах – аммиака.

Перечисленные выше факторы говорят о необходимости выбора технологии водоподготовки в бассейне с учетом качества исходной (водопроводной) воды, местных особенностей системы водоснабжения, назначения бассейна, возраста и контингента купающихся, пропускной способности. Желательно использовать такую технологическую схему и оборудование, которые позволяют вносить изменения с учетом меняющегося качества воды по сезонам года, количеству и возрасту посетителей, повышенного требования к качеству воды во время соревнований.

Проведенное обследование бассейнов Республики Татарстан позволило выявить основные проблемы при проектировании, строительстве и эксплуатации бассейнов. Проведен комплексный анализ факторов, влияющих на качество воды в плавательном бассейне. Проанализированы способы определения оптимального циркуляционного расхода с учетом различных факторов: показателей качества воды (мутности, цветности, остаточному хлору); гидравлического режима, обеспечивающего смешение поступающей воды с водой бассейна; из условия водного режима; из условия режима эксплуатации с учетом времени, в течение которого качество воды в ванне улучшается до требований стандарта, для бассейнов различного (спортивных, оздоровительных, учебных, детских) назначения и объема. Учитывалось качество исходной воды: водопроводной, из подземного или поверхностного источника. Большая часть плавательных бассейнов находится в городе и снабжается водой питьевого

качества. На примере Казани можно сказать о колебаниях параметров в зависимости от районов города (часть снабжается подземными источниками). Влияние качества воды поверхностного источника колеблется по сезонам года. Наблюдается ухудшение качества воды на определенных участках из-за износа сети.

При выборе технологии водоподготовки необходимо учитывать требования к качеству воды бассейнов различного назначения. Спортивные должны обеспечивать максимальную прозрачность воды для проведения соревнований и фото-, видеосъемок. Бассейны развлекательно-оздоровительных центров (аквапарки, бани, гостиницы) не проводят медицинского обследования посетителей перед купанием, поэтому основным требованием качества воды является бактериальная безопасность объектов, обеспечиваемая не только обеззараживанием воды, но и эффективным фильтрованием. Бассейны детского назначения предъявляют ограничения по жесткости и содержанию железа, вызывающие сухость и раздражение кожи, а также аллергическую реакцию у детей.

При эксплуатации бассейнов необходимо соблюдать следующие основные требования: обеспечение высокой прозрачности (на всю глубину ванны бассейна) и низкой цветности воды, отсутствие резкого запаха, бактериальной безопасности, создание приятного оттенка воды [2].

Вода, подаваемая в ванну бассейна, должна отвечать требованиям к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения [1].

Однако это требование полностью нивелируется или даже отрицается таблицей 3 [1], где приводятся показатели и нормативы качества воды в ванне бассейнов. По табл. 3 [1] мутность должна быть не более 2 мг/л – требования к питьевой воде по [5] – 1,5 мг/л; запах не более 3 балла, тогда как по [5] только 2 балла. Завышенные уровни мутности могут препятствовать процессу обеззараживания и стимулировать рост бактерий, к тому же не позволят получить требуемую прозрачность воды в бассейне. В [2] рекомендуется поддержание мутности 0,2-0,3 мг/л для спортивных бассейнов.

Цветность воды нормируется [1, 5] – 20 град., в то же время в [2] рекомендуется цветность для спортивных бассейнов 2-3 град., а для оздоровительных 3-5 град., в [7] рекомендуется для всех крытых бассейнов 1-2 град., для открытых 4-5 град. В Казани в определенные периоды года цветность водопроводной воды достигает 30 град., что в свою очередь затрудняет (особенно в прямоточных бассейнах) доведение воды до норматива [1], и никогда не соответствует [2, 7]. Цветность питьевой воды может быть обусловлена присутствием окрашенных органических веществ (в первую очередь, гуминовых соединений) и металлов, таких как железо и марганец [8].



Содержание железа, марганца, меди и др. металлов в воде плавательных бассейнов в [1] не нормируется, в [2] рекомендуется концентрация железа 0,3-0,5 мг/л, меди 0,1 мг/л, остаточного алюминия 0,5 мг/л.

Однако, в концентрациях около 0,3 мг/л железо окрашивает водопроводную арматуру. Выпадение в осадок избытка железа придает воде нежелательную красновато-коричневую окраску и образует пятна на стенах чаши бассейна. Увеличение концентрации железа в воде может быть вызвано коррозией трубопроводов, природным фактором или загрязненным источником. Для Казани все выше указанные причины актуальны, даже районы, снабжаемые водой Волжского водозабора, в некоторые периоды содержат 0,55 мг/л железа в водопроводной воде. При содержании железа в воде более 0,1 мг/л возможно образование осадка в трубах, а при одновременном присутствии алюминия вода становится грязной на вид [8]. Повышенное содержание железа вызывает раздражающее действие на слизистые и кожу, гемохроматоз и аллергию [9]. Особенно часто жалобы поступают на раздражение кожи и аллергические реакции у детей младшего возраста, купающихся в бассейнах дошкольных учреждений с прямоточной системой водоснабжения.

Выбор технологии процесса очистки и состава водоочистных установок диктуется санитарно-гигиеническими требованиями, предъявляемыми к воде плавательного бассейна, технико-экономическими показателями, площадью насосно-фильтровальной станции, качеством исходной воды, объемом ванны бассейна и другими параметрами. Поэтому существует множество вариантов технологических схем. Наиболее широкое распространение получила система оборотного водоснабжения, взамен менее экономных прямоточных и наливных.

Самой распространенной схемой водоочистки и обеззараживания воды бассейна является схема, включающая в себя коагулирование, фильтрование на скорых напорных фильтрах с кварцевой загрузкой и обеззараживание хлором или его производными. Недостатком рассмотренной технологической схемы являются: большие площади, занятые оборудованием, а также количеством растворных, расходных баков и баков промывной воды.

Опыт эксплуатации бассейнов показывает, что вследствие дороговизны и дефицитности коагулянта коагулирование производится периодически или только добавочной водопроводной воды, это снижает качество воды в бассейне. Рассмотренная технологическая схема получила наибольшее распространение в плавательных бассейнах Республики Татарстан.

Для очистки воды плавательных бассейнов в ряде случаев оказывается целесообразным применение схем с открытыми безнапорными фильтрами [2]. Недостатком данных схем является необходимость больших площадей под водоподготовительное

оборудование, поэтому эти схемы больше подходят для открытых бассейнов, которых в нашей стране значительно меньше, чем крытых, в связи с климатическими условиями.

Напорные намывные фильтры нашли применение при очистке воды в плавательных бассейнах как за рубежом, так и в нашей стране. Рекомендуется [10] применение намывных фильтров с использованием в качестве фильтрующего материала перлита или диатомита.

В технологии очистки мало-мутной и мало-цветной воды распространен метод, основанный на фильтровании с добавлением специальных вспомогательных фильтрующих веществ (диатомит, целлюлоза, бентонит и др.) через слой того же порошка, предварительно нанесенный на фильтрующий элемент. Этот процесс реализуется на намывных фильтрах. При этом снижается цветность, мутность воды, бактериальные загрязнения, содержание железа и марганца, что особенно важно в технологии водоподготовки воды плавательных бассейнов.

На кафедре водоснабжения и водоотведения Казанского государственного архитектурно-строительного университета создана опытно-промышленная установка для очистки воды плавательных бассейнов с применением намывных фильтров.

Целью экспериментальных исследований являлись определение параметров фильтрования воды и выбор вспомогательных фильтрующих веществ, необходимых для расчета фильтров плавательных бассейнов.

### Описание установки

Очистка воды происходит на установке (рис.1) состоящей из: бака исходной воды (чаша бассейна) 1; префильтра 2; намывного фильтра 3; емкости приготовления первичной суспензии 4; емкости приготовления вторичной суспензии 5; компрессора 6; ресивера 7; циркуляционного насоса 8; насоса-дозатора 9.

### Порядок работы установки

#### 1. Подготовка к работе

Схема установки приведена на рисунке 1. Перед началом работы необходимо наполнить бак исходной воды 1, открыв вентиль 29, бак первичной суспензии 4, открыв вентиль 27, бак добавочной суспензии 5, открыв вентиль 24.

Для приготовления первичной суспензии в заполненный бак первичной суспензии 4 добавляем фильтровальное вспомогательное вещество, а затем, включив компрессор 6, открываем вентиль 26, для подачи сжатого воздуха на перемешивание раствора.

Для приготовления добавочной суспензии в заполненный бак добавочной суспензии 5 засыпаем

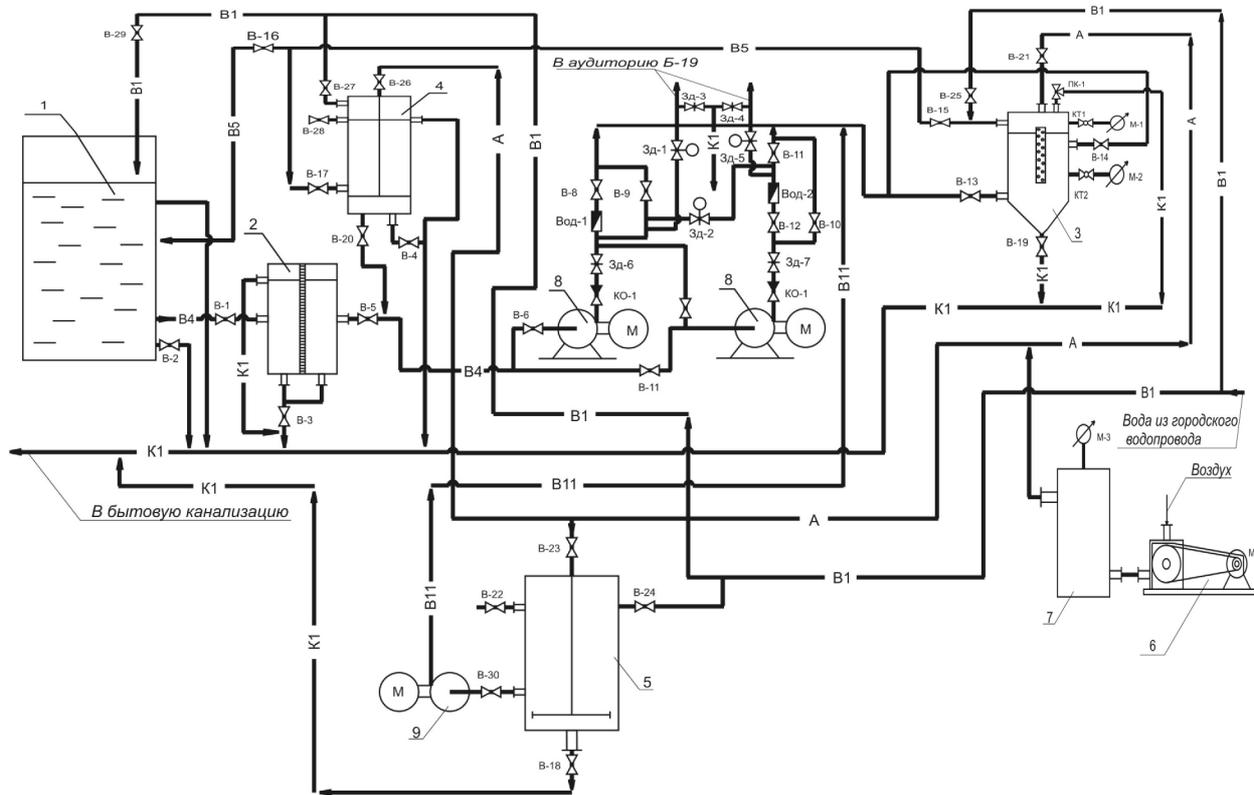


Рис.1. Схема экспериментальной установки с намывным фильтром.

- 1 – бак исходной воды (чаша бассейна); 2 – префильтр; 3 – фильтр намывной патронный;  
 4 – емкость для приготовления первичной суспензии; 5 – емкость для приготовления добавочной суспензии;  
 6 – компрессор; 7 – ресивер; 8 – циркуляционный насос; 9 – насос дозатор.  
 Трубопроводы: B1 – хозяйственно-питьевой водопровод; B4 – подача воды на очистку; B5 – возврат воды в чашу бассейна; B11 – добавление суспензии; K1 – хозяйственно-бытовая канализация; А – сжатый воздух

порцию порошка добавки, а затем, включив компрессор 6, открываем вентиль 23, для подачи сжатого воздуха на перемешивание раствора.

Открыв вентиль 1, наполняем префильтр исходной водой и заливаем насосы.

## 2. Намыв фильтровального слоя

Для запуска насосов для намыва фильтровального слоя закрываем вентиль 16, открываем задвижки 13, 14, 15 и задвижку возврата суспензии в бак первичной суспензии 17.

Включаем насосы и поддерживаем давление 0,6 МПа. Намыв слоя продолжается 15-20 минут и контролируется визуально, то есть по осветлению воды в баке первичной суспензии.

## 3. Фильтрация

Закрываем вентили 17, 20 и открываем вентили 5, 16. Уровень воды в префильтре следует регулировать задвижкой 1.

Во время фильтрования, для увеличения величины фильтроцикла, необходимо поступление добавочной суспензии, для этого открывают вентили 30, 31 и включают насос-дозатор.

## 4. Промывка

Для проведения промывки фильтра необходимо отключить все насосы в порядке, обратном включению. Закрывать вентили 13, 14, 15, 30, 31. Для водной промывки необходимо открыть вентиль 25 и при достижении максимального давления открыть вентиль 19. Для водо-воздушной промывки необходимо наполнить фильтр водой, затем, включив компрессор 6 и открыв вентиль 21, поднять давление в фильтре до 0,55 МПа. Открыв вентиль 19, промываем фильтр. Повторять до полной очистки. Степень очистки определяют визуально.

Обзор литературных и других информационных источников показал, что широкое применение в отечественной и зарубежной практике получили следующие вещества: диатомит, перлит, активированный уголь. Все эти вещества удовлетворяют требованиям, предъявляемым к фильтровальным веществам.

Цель экспериментальной работы – определение параметров фильтрования воды для получения данных, необходимых при расчёте фильтров.

Для намыва первичного фильтрующего слоя готовится суспензия, для чего используется вода и



порошкообразный фильтрующий материал (диатомит, активированный уголь). Намыв продолжается до полного осветления воды, возвращаемой из фильтра в бак приготовления первичной суспензии.

Первоначальный расход порошка на создание фильтрующего слоя толщиной 1-2 мм составлял 400-600 г на 1 м<sup>2</sup> фильтрующей поверхности. Продолжительность намыва, по литературным данным, составляет от 3-5 мин. [11] до 45 мин., по экспериментальным данным она составила 15-25 мин. в зависимости от вида порошка и концентрации суспензии. Затем начинается подача воды на фильтрацию. При этом в воду небольшими порциями добавляют приготовленную в другом баке добавочную суспензию порошка, это позволяет уменьшить скорость роста гидравлического сопротивления фильтрующего слоя и увеличивает продолжительность фильтроцикла.

Для увеличения продолжительности фильтроцикла в очищаемую воду непрерывно дозируют фильтрующий порошок в количестве 3-10 г/м<sup>3</sup>.

В ходе экспериментов были определены основные технологические параметры:

Скорость фильтрования на намывных фильтрах, по литературным данным, составляет 1-50 м/ч [11], хотя большинство авторов рекомендуют скорость до 5 м/ч [2], а в [12, 13] рекомендуется 1-2 м/ч. Эксперименты показали, что скорость фильтрования при применении диатомита составляет 1-1,9 м/ч, активированного угля 0,95-2,85 м/ч, в зависимости от концентрации вспомогательного вещества.

Во время работы фильтра контролируют перепад давления на фильтрующем слое и качество исходной воды и фильтрата.

В ходе фильтрования на установке с намывным фильтром проводился химический анализ исходной и профильтрованной воды. Качество фильтрата определялось фотометрическим методом прибором фотоэлектроколориметром типа КФК. В ходе опытов через равные промежутки времени отбирают пробы воды (исходной и профильтрованной) и в каждой пробе определяют мутность.

Опыт считался завершенным при достижении заданного перепада давления или при ухудшении качества фильтрата.

Мутность исходной воды колебалась 2-8 мг/л, очищенной воды с помощью диатомита 0,4-0,6 мг/л, с активированным углем 0,1-0,2 мг/л, что значительно превышает требования к качеству воды питьевой – 1,5 мг/л или воды плавательных бассейнов 2 мг/л.

Необходимо точно определить начало ухудшения качества воды для отключения фильтра на промывку. Фильтр отключают на промывку при достижении заданного перепада давления на фильтрующем слое или при снижении качества воды. Промывка фильтра производилась «шоковой» регенерацией, которая обеспечивает наименьший расход промывной воды и составляет 0,5-0,7% производительности фильтра. Для этого из фильтра сливается вода до уровня ниже трубной доски, после чего подается в фильтр сжатый воздух до достижения давления 0,55 МПа. Затем давление воздуха резко сбрасывают. Эту операцию повторяют 5-6 раз, после чего промывают фильтрующую поверхность водой. После чего фильтр снова готов к работе.

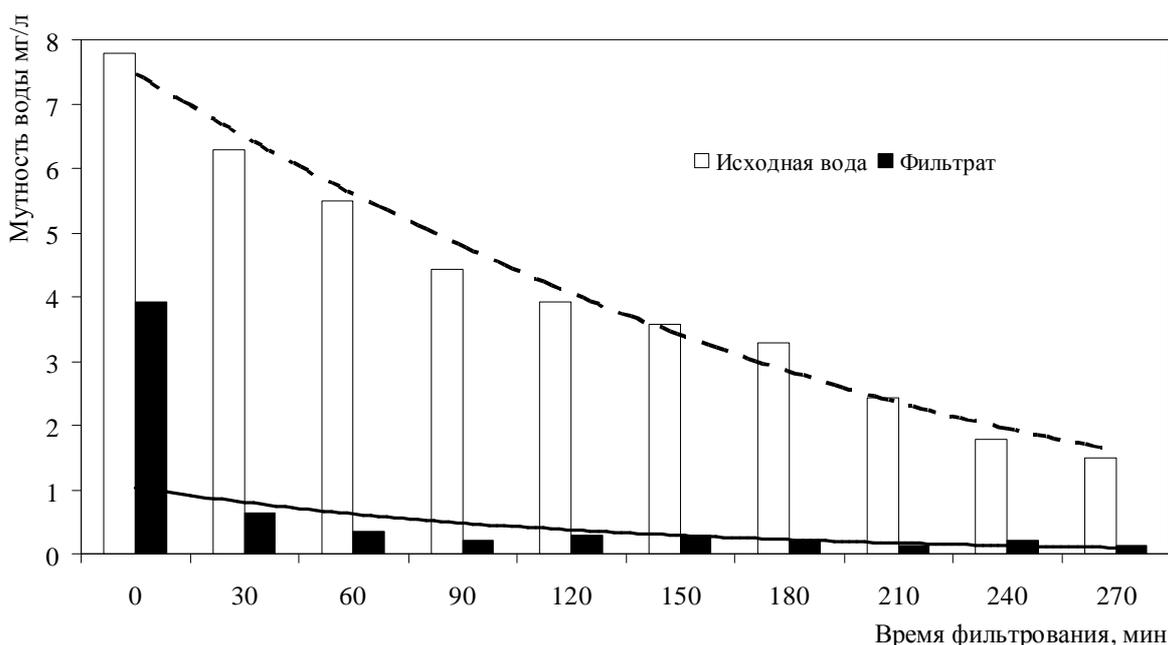


Рис.2. Изменение мутности исходной и фильтрованной воды при применении активированного угля



На основании экспериментальных данных можно сделать вывод, что лучшим из исследованных фильтровальных веществ является активированный уголь с первоначальным расходом порошка 500 г на м<sup>2</sup> фильтрующей поверхности (рис. 2).

В ходе проведения экспериментальных исследований было подтверждено безусловное преимущество намывных фильтров по высокому эффекту очистки фильтруемой воды и незначительному расходу промывной воды менее 1% пропускной способности фильтров [2].

Намывные фильтры малогабаритны и имеют в 4-6 раз большую пропускную способность, чем обычные, кварцевые, скорые напорные фильтры того же диаметра [2], что позволяет сократить площади, используемые под технологическое оборудование. В реконструируемых плавательных бассейнах уменьшается площадь насосно-фильтровальной станции, что позволит разместить на освободившейся территории объекты дополнительных услуг посетителям (салон красоты, массажные и др.), что позволит получить прибыль.

Эффективность работы намывных фильтров в значительной степени зависит от качества фильтрующих порошков. Предложенная технология позволяет менять вид и количество вспомогательного вещества в зависимости от назначения бассейна (повышенные требования к качеству воды в период проведения спортивных соревнований); возраста, контингента купающихся и увеличения пропускной способности. В отличие от существующих технологий, предложенная позволяет вносить изменения с учетом качества исходной водопроводной воды, меняющейся по сезонам года (ухудшение в период паводка).

На основе полученных данных был разработан проект реконструкции систем технологического водоснабжения и водоотведения плавательных бассейнов различного назначения (спортивного, оздоровительного, учебного и т.д.) с объемом ванны 15 – 5000 м<sup>3</sup>, с применением различных вариантов фильтровального оборудования (скорые, сверхскоростные, намывные фильтры) и современных методов обеззараживания.

Например, для оздоровительного комплекса с группой бассейнов с общим объемом ванн 188 м<sup>3</sup>, пропускной способностью 48 чел/ч и общим циркуляционным расходом 63 м<sup>3</sup>/ч, применение намывных фильтров и установки электрохимической активации СТЭЛ, вместо скорых фильтров и электролизной установки, позволило сократить общую сметную стоимость в 1,8 раза, нормативную трудоемкость в 1,8 раза, сметную заработную плату в 2,55 раза.

А для учебно-оздоровительного бассейна с объемом ванны 875 м<sup>3</sup> и пропускной способностью 58 чел./час, циркуляционным расходом 145,83 м<sup>3</sup>/ч замена скорых фильтров с кварцевой загрузкой на

намывные при одинаковом методе обеззараживания позволила сократить сметную стоимость в 1,46 раза, нормативную трудоемкость в 1,41 раза, сметную заработную плату в 1,45 раза.

Созданная установка с намывным фильтром позволяет сократить себестоимость водоподготовки в 1,8-2, что совпадает с данными [2].

Технология водоподготовки в плавательном бассейне с применением намывного фильтра отличается компактностью, экономичностью и экологичностью применяемых вспомогательных фильтрующих веществ. Использование намывных фильтров позволяет вносить изменения в технологию в ходе эксплуатации бассейна с учетом меняющегося качества исходной воды и требований к качеству воды бассейна во время проведения соревнований, изменения пропускной способности и возраста купающихся.

### Литература

1. СанПиН 2.1.2.1188-03. Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2003. – 27 с.
2. Кедров В.С., Рудзский Г.Г. Водоснабжение и водоотведение плавательных бассейнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 160с.: ил..
3. Кортес А.Р. Бассейны и пруды. – М.: Аделант, 1999. – 192 с.
4. Полиевский С.А. Гигиенические аспекты современных спортивных сооружений. – М.: Медицина, 1981. – 144 с.
5. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 2001. – 111 с.
6. Адельшин А.Б., Иванов А.В., Леонтьева С.В. /К вопросу о СанПиНе «Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды плавательных бассейнов» // Отведение и очистка сточных вод. Научные чтения, посвященные 100 летию со дня рождения С.М. Шифрина. Сборник докладов. – СПб, 1999.
7. Черников И.А. Банно-купальные сооружения. – М.: Литер. по строительству, 1968. – 192 с.
8. Руководство по контролю качества питьевой воды. Рекомендации. Т.1, ВОЗ. – Женева, 1994. – 126 с.
9. Методические указания по внедрению и применению СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». – М.: Информационно издательский центр Минздрава России, 1998. – 71 с.



10. Проектирование бассейнов. / Центр науч.-исслед. и проект. ин-т типового и эксперим. проектирования комплексов и зданий культуры, спорта и упр. им. Б.С. Мезенцева. – М.: Стройиздат, 1991. – 64 с.: ил. – (справ. пособие и СНиП).
11. Николадзе Г.И., Сомов М.А. Водоснабжение. Учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.
12. Водоотводящие системы промышленных предприятий: Учеб. для вузов / С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов; Под ред. С.В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1990. – 511 с.
13. Малиновская Т.А., Кобринский И.А., Кирсанов О.С., Рейнфарт В.В. Разделение суспензий в химической промышленности. – М.: Химия, 1983. – 264 с.
14. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 680 с.
15. Жужиков В.А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1980. – 400 с.
16. Лейчикс И.М. Фильтрация с применением вспомогательных веществ. – «Техніка», 1975. – 192 с.
17. Бараке К., Бебен Ж., Бернар Ж. и др. Технические записи по проблемам воды – “Дегремон”: Пер. с англ. В 2-х т. т 2. / Под ред. Т.А. Карюхиной, И.Н. Чурбановой. – М.: Стройиздат, 1983. – С. 609-1064, ил.
18. Рекомендации по подготовке воды в плавательных бассейнах. / Комитет по физической культуре и спорту при Совете Министров СССР, Главное управление капитального строительства. – М., 1982. – 11 с.



УДК 533.0

**Ю.И. Правник** – инженер**В.А. Казаков** – инженер**Р.А. Садыков** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теплоэнергетики**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## РЕДУЦИРОВАНИЕ ГАЗА В ДИСТАНЦИОННО УПРАВЛЯЕМЫХ РЕДУКТОРАХ БОЛЬШИХ РАСХОДОВ

### АННОТАЦИЯ

Рассматривается энергия потока газа на входе, в зоне редуцирования и выходе редуктора в момент завершения редуцирования. Определены соотношения давлений на входе и выходе редуктора и в зоне редуцирования. Редуктор трактуется как сужающееся сопло с переменным проходным сечением. Симулируется предполагаемая картина потока газа в зоне редуцирования, подтвержденная экспериментально при измерении давления в зоне редуцирования. Результаты работы могут быть использованы при расчете расхода газа в редукторе, что позволит проектировать системы газоснабжения для теплотехнологических энергоустановок, а также для испытательных станций двигателей авиационной и другой техники.

**J.I. Pravnik** – engineer**V.A. Kazakov** – engineer**R.A. Sadykov** – doctor of technical sciences, professor, head of the Heat-power Engineering department**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUA)**

## GAS REDUCTION IN REMOTE-CONTROLLED HIGH-FLOW REDUCERS

### ABSTRACT

The energy of gas flow at entrance, in reduction zone, and at exit of the reducer is analyzed. Based on power process and experimental results it is concluded that the reducer can be considered as a contracting nozzle.

В известных источниках [1, 2] уделяется значительное внимание редукторам пружинным с ручным управлением, и ничего не сказано о редукторах больших расходов, управляемых дистанционно командным газом. Цель данной работы – изучить газодинамику процесса редуцирования в редукторах этого класса, что позволит рассчитывать расход газа в редукторе и аргументированно подбирать уже действующие редукторы к требуемым режимам новых систем.

На рис. 1 показана система, обеспечивающая работоспособность потребителя. Она включает: источник с запасом газа, трубопровод, соединяющий его с редуктором, который понижает давление газа, и расходомер, измеряющий расход газа и лимитирующий его при данном давлении за редуктором.

Редуктор управляется дистанционно командным устройством 7. Командный газ давлением  $P_k$  поднимает мембрану 6 с прикрепленным к ней штоком 5, который поднимает клапан 4 от седла на переменную высоту  $H$  (ход клапана). На клапан сверху действует давление входа  $P_{ex}$ , редуцируемое до давления выхода  $P_e$ , которое действует на мембрану сверху и клапан снизу. В результате устанавливается требуемый режим редуцирования. Для уменьшения диаметральных размеров мембраны в редукторах больших расходов и давлений устанавливается система разгрузки с поршнем 8. Без этой разгрузки редуктор напоминает усовершенствованный регулятор РДУК-2 инженера Казанцева Ф.Ф., широко применяемый в системах газообеспечения теплоэнергетических установок [7]. В дальнейшем сказанное о редукторах данного класса в полной мере относится и к РДУК-2.

По мере расхода газа потребителем давления в источнике  $P_{ex}^*$  и на входе  $P_{ex}$  в редукторе понижаются. Источник не пополняется. При этом величина  $H$  увеличивается (об этом далее). Давление на выходе  $P_e$  поддерживается постоянным.

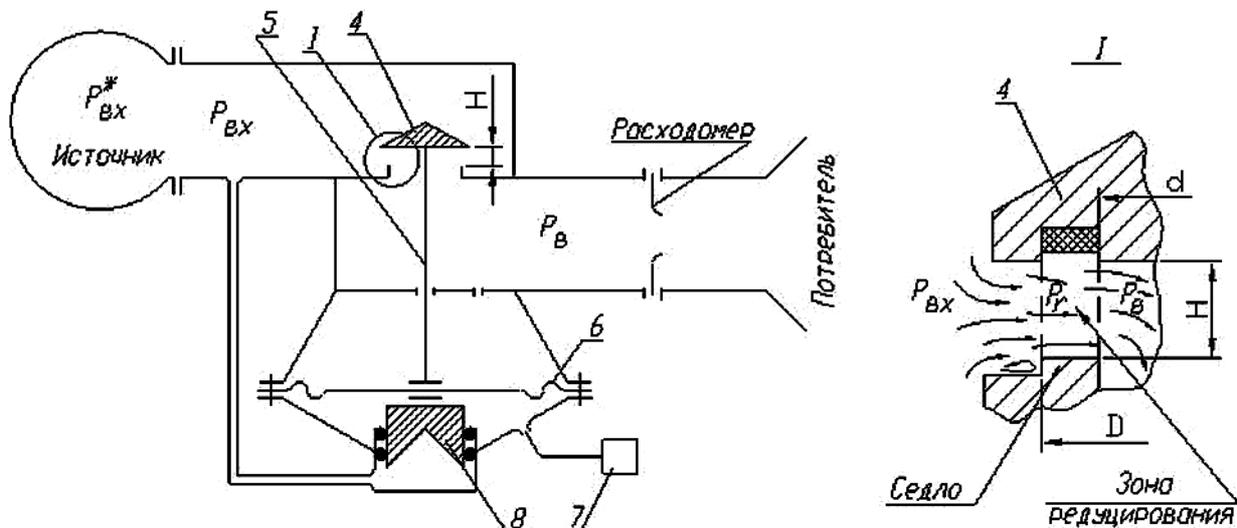


Рис. 1

**Зона редуцирования** (увеличенный фрагмент I показан на рис. 1) – пространство между торцами клапана и седла, ограниченное цилиндрическими поверхностями, продолжающими внешнюю  $D$  и внутреннюю  $d$  поверхности седла. В зоне редуцирования своё давление  $P_r$ .

Рассмотрим **момент завершения редуцирования**. В этот момент давление на входе не способно поддерживать процесс редуцирования, а давление на выходе  $P_e$  начинает понижаться и характеризуется кривой падения.

Тогда можно принять, что все давления ( $P_{вх}^*$ ,  $P_{вх}$ ,  $P_r$  и  $P_e$ ) изменяются адиабатически (отсутствует подвод и отвод тепла, можно пренебречь теплообменом). Сам процесс истечения газа установившийся и одномерный. Кроме того, в этот момент все давления принимают минимальные значения (и обозначаются индексом  $m$ ); величина  $H$  становится равной  $H_m = d/4$  (из условия  $pdH = pd^2/4$ ). Все подвижные элементы редуктора уже не перемещаются.

Внешнее проявление энергий на входе в редуктор и в зоне редуцирования эквивалентно. На выходе редуктора энергия меньше, так как давление выхода и скорость потока – значительно ниже. В то же время в зоне редуцирования за счет увеличения скорости понижается температура и уменьшается внутренняя энергия, а в зоне выхода за счет понижения скорости потока повышаются температура и внутренняя энергия. Она будет  $\Delta U = c_v (T_e - T_r)$ .

Умножив-поделив на  $C_p$  и используя показатель адиабаты  $k = C_p / C_v$ , внутреннюю энергию можно представить

$$\text{в виде } \Delta U = \frac{1}{k} c_p (T_e - T_r) \text{ и окончательно } \Delta U = \frac{1}{k} \left( \frac{W_{rm}^2}{2} - \frac{W_e^2}{2} \right).$$

По закону сохранения энергии и вышесказанного, уравнение Д. Бернулли к моменту завершения редуцирования можно представить в виде следующего равенства [4-6]:

$$\frac{k}{k-1} \frac{P_{вхm}^*}{r_{вхm}^*} = \frac{W_{вхm}^2}{2} + \frac{k}{k-1} \frac{P_{вхm}}{r_{вхm}} = \frac{W_{rm}^2}{2} + \frac{k}{k-1} \frac{P_{rm}}{r_{rm}} = \frac{W_e^2}{2} + \frac{k}{k-1} \frac{P_e}{r_e} + \frac{1}{k} \left( \frac{W_{rm}^2}{2} - \frac{W_e^2}{2} \right).$$

Если воспользоваться  $W = M \sqrt{k \frac{P}{r}}$  и  $r = r_0 \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{k}}$  [7], где плотность  $r_0$  при давлении  $P_0 = 1 \text{ кгс/см}^2$ , то

это выражение можно привести к виду:



$$\frac{k}{k-1} P_{\text{exn}}^{*k-1} = \left( M_{\text{exn}}^2 \frac{k}{2} + \frac{k}{k-1} \right) P_{\text{exn}}^{k-1} = \left( M_{\text{rm}}^2 \frac{k}{2} + \frac{k}{k-1} \right) P_{\text{rm}}^{k-1} = \left( M_{\text{e}}^2 \frac{k-1}{2} + \frac{k}{k-1} \right) P_{\text{e}}^{k-1} + \frac{M_{\text{rm}}^2}{2} P_{\text{rm}}^{k-1} \quad (1)$$

Отсюда следует:

$$\begin{aligned} \frac{P_{\text{e}}}{P_{\text{exn}}} &= \left[ \frac{\left( M_{\text{exn}}^2 \frac{k}{2} + \frac{k}{k-1} \right) \left( 1 - \frac{\frac{M_{\text{rm}}^2}{2}}{M_{\text{rm}}^2 \frac{k}{2} + \frac{k}{k-1}} \right)}{M_{\text{e}}^2 \frac{k-1}{2} + \frac{k}{k-1}} \right]^{\frac{k}{k-1}} = n_1 & \frac{P_{\text{e}}}{P_{\text{ex}}^*} &= \left[ \frac{k \left( 1 - \frac{\frac{M_{\text{rm}}^2}{2}}{M_{\text{rm}}^2 \frac{k}{2} + \frac{k}{k-1}} \right)}{M_{\text{e}}^2 \frac{k-1}{2} + \frac{k}{k-1}} \right]^{\frac{k}{k-1}} = n_1^* \\ \frac{P_{\text{rm}}}{P_{\text{exn}}} &= \left[ \frac{M_{\text{exn}}^2 \frac{k}{2} + \frac{k}{k-1}}{M_{\text{rm}}^2 \frac{k}{2} + \frac{k}{k-1}} \right]^{\frac{k}{k-1}} = n_2 & \frac{P_{\text{rm}}}{P_{\text{ex}}^*} &= \left[ \frac{k}{k-1} \right]^{\frac{k}{k-1}} = n_2^* \\ \frac{P_{\text{exn}}}{P_{\text{ex}}^*} &= \left[ \frac{k}{k-1} \right]^{\frac{k}{k-1}} = n_3^* & \frac{P_{\text{e}}}{P_{\text{rm}}} &= \left[ \frac{M_{\text{rm}}^2 \frac{k-1}{2} + \frac{k}{k-1}}{M_{\text{e}}^2 \frac{k-1}{2} + \frac{k}{k-1}} \right]^{\frac{k}{k-1}} = n_4 \end{aligned} \quad (2)$$

В процессе производственной эксплуатации редукторов рассматриваемого класса установлено, что при

соотношении давления выхода и входа  $\frac{P_{\text{e}}}{P_{\text{ex}}} > \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$  редуцирование (докритическое) происходит несколько

иначе, чем при  $\frac{P_{\text{e}}}{P_{\text{ex}}} < p(I)^* = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$  (режим критический). При критическом перепаде давлений в зоне

редуцирования можно ожидать, что  $M_{\text{rm}} = 1$ . Кстати, сверхкритической скорости потока в зоне редуцирования нельзя ожидать [7], так как зона редуцирования конструктивно не является соплом Лаваля [7]. Тогда найденные значения (2) примут вид:

$$\begin{aligned} \frac{P_{\text{e}}}{P_{\text{exn}}} &= \left[ \frac{\left( M_{\text{exn}}^2 \frac{k}{2} + \frac{k}{k-1} \right) \frac{k^2+1}{k(k+1)}}{M_{\text{e}}^2 \frac{k-1}{2} + \frac{k}{k-1}} \right]^{\frac{k}{k-1}} = n_1 & \frac{P_{\text{e}}}{P_{\text{exn}}^*} &= \left[ \frac{\frac{k^2+1}{(k^2-1)}}{M_{\text{e}}^2 \frac{k-1}{2} + \frac{k}{k-1}} \right]^{\frac{k}{k-1}} = n_1^* \\ \frac{P_{\text{rm}}}{P_{\text{exn}}} &= \left[ \frac{M_{\text{exn}}^2 \frac{k}{2} + \frac{k}{k-1}}{\frac{k(k+1)}{2(k-1)}} \right]^{\frac{k}{k-1}} = n_2 & \frac{P_{\text{rm}}}{P_{\text{exn}}^*} &= \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} = n_2^* = p(I)^* \\ \frac{P_{\text{exn}}}{P_{\text{exn}}^*} &= \left[ \frac{k}{k-1} \right]^{\frac{k}{k-1}} = n_3^* & \frac{P_{\text{e}}}{P_{\text{rm}}} &= \left[ \frac{\frac{k^2+1}{2(k-1)}}{M_{\text{e}}^2 \frac{k-1}{2} + \frac{k}{k-1}} \right]^{\frac{k}{k-1}} = n_4 \end{aligned} \quad (3)$$



(чтобы выразить  $n_1$  и  $n_1^*$  в обоих случаях (2) и (3)  $P_{rm}$  в последнем слагаемом заменялось на  $P_{exm}$  и  $P_{exm}^*$  через  $n_2$  и  $n_2^*$  соответственно).

Получается, что к моменту завершения редуцирования **на расчетном режиме** отношения указанных давлений принимают вполне конкретные значения.

Если в  $\frac{P_g}{P_{rm}} = n_4$  исключить  $P_{rm}$  с помощью  $P_{rm} = P_{exm} n_2$ , то получится

$$\frac{P_g}{P_{exm}} = n_4 \cdot n_2 = n_1,$$

аналогично:

$$\frac{P_g}{P_{exm}^*} = n_4^* \cdot n_2^* = n_1^* \quad (4)$$

Можно считать, что  $n_2$ ,  $n_2^*$  и  $n_3^*$  – постоянные величины в процессе всего редуцирования, так как у них числитель и знаменатель изменяются пропорционально (убывают), тогда как  $n_1$ ,  $n_1^*$  и  $n_4$  – изменяются, увеличиваясь, так как здесь числитель постоянная величина, а знаменатель убывает в процессе редуцирования.

Вместе с тем  $n_1$  и  $n_1^*$  не могут быть больше единицы, так как  $P_g < P_{exm}$ , тогда как  $n_4$  к моменту завершения редуцирования может быть больше единицы. Это видно на  $n_4$  в (2) ( $M_{rm}^2 > M_g^2$ ), а в начале редуцирования  $n_4 < 1$ , так как  $P_{rm} > P_g$  и  $n_4 < 1$ . Значит возможен момент, когда  $n_4 = 1$ , тогда  $P_{rm} = P_g$ ,  $n_2 = n_1$  и  $n_2^* = n_1^*$ .

В цифрах найденные параметры будут:

$$n_1 = 0,737 \text{ и } n_1^* = 0,71; n_2 = 0,641 \text{ и } n_2^* = 0,624; n_4 = 1,15 \text{ при } 1 > M_{rm} \geq 0,85$$

$$n_1 = 0,656 \text{ и } n_1^* = 0,638; n_2 = 0,543 \text{ и } n_2^* = p(I)^* = 0,528; n_4 = 1,21 \text{ при } M_r = 1.$$

Здесь:  $M_{ex} = 0,2$  и  $M_g = 0,17$  (меньше гидрпотери),  $k = 1,4$  и  $n_3 = 0,9$ . В практике  $P_r$  не используется, а имеют дело с  $P_{ex}$  и  $P_g$ .

Поток в зоне редуцирования очень сложный. На границе входа в зону редуцирования давление потока резко понижается почти на 50% с одновременным повышением скорости потока от  $M_{ex} = 0,2$  до  $M = 0,85 \div 1$ , а на выходе этой зоны давление с такой же интенсивностью продолжает понижаться с уменьшением скорости до  $M_g = 0,17$ . При всем этом поток претерпевает повороты, соударения струй, внезапное сужение на входе и расширение на выходе зоны редуцирования. Острые кромки углов могут инициировать скачки. В процессе редуцирования сами параметры потока газа изменяются. На рис. 2 схематично представлена предполагаемая картина истечения газа в зоне редуцирования.

На рис. 2 (а) показано **начало редуцирования**. Давление входа – максимальное. Здесь  $H_0$  минимальное

$$\frac{P_g}{P_{ex}^*} < p(I)^*, \frac{P_r}{P_{ex}^*} = p(I)^*, M_r = 1, n_4 = \frac{P_g}{P_r} < 1 \text{ и лишь в плоскости } 2' P_g = P_r \text{ (недорасширение)}.$$

На рис. 2 (б) показан **переход с критического редуцирования на докритическое**. Давление входа – понизилось.

Здесь:  $H_r > H_0$ ,  $M_r = 1$ ,  $P_g = P_r$  в плоскости 2, а т. к.  $\frac{P_r}{P_{ex}^*} < p(I)^*$ , значит и  $\frac{P_g}{P_{ex}^*} < p(I)^*$  ( $n_1 = n_2 n_4$ , т.к.

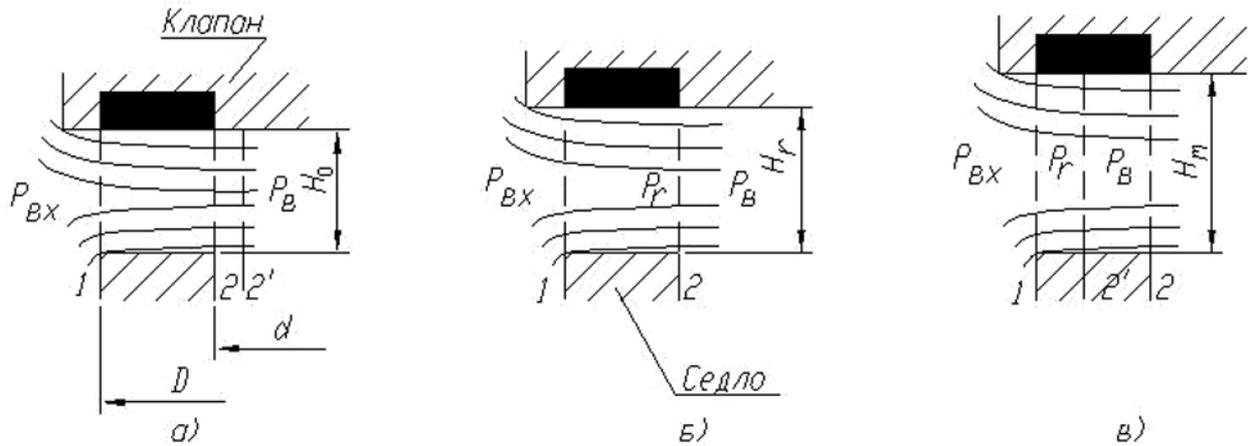


Рис. 2

$n_4 = 1$ , то  $n_1 = n_2$ ). Таким образом, критический режим редуцирования заканчивается с момента, когда

$$P_{ex}^* = P_g / p(I)^* = P_g / n_2$$

На рис. 2 (в) показан **момент завершения редуцирования** (режим докритический) в расчетном режиме. Здесь давление входа – минимальное, расстояние клапана от седла  $H_m > H_r > H_0$  максимальное. Давление в зоне редуцирования меньше давления выхода  $P_r < P_g$ , что может быть объяснено скачком уплотнения. Он возможен, так как скорость в зоне редуцирования  $M = 0,85 \div 0,9$  близка к звуковой. Способствует этому и наличие кромок на седле и клапане (мягкая вставка утоплена относительно торца клапана). Фронт скачка располагается в плоскости 2'.

Из  $n_1$  и  $n_1^*$  видно, что редуцирование в расчетном режиме возможно лишь  $P_{ext}^* = P_g / n_1^*$  ( $P_{ext} = P_g / n_1$ ).

То же самое наблюдается в докритическом режиме редуцирования. Тут вместо  $n_1^* = p(I)^*$  фигурирует

$$n_2 = P_r / P_{ex}^* > p(I).$$

Итак, в зоне редуцирования наблюдается увеличение скорости потока и снижение давления. Всё это на коротком отрезке. Такое изменение параметров потока возможно лишь в сужающемся сопле.

Таким образом, зону редуцирования можно представить **сужающимся плоско-параллельным соплом** с изменяемым в процессе редуцирования проходным сечением пропорционально изменению давлению входа.

(Параллельные плоскости такого сопла – это торцы клапана и седла, а сужение образуется плоскостями, перпендикулярными первым, ограничивающими длины окружностей внешнего  $D$  и внутреннего  $d$  диаметров седла, если окружности распрямить. Направление потока от  $D$  к  $d$ ). Изменение проходного сечения сужающегося сопла происходит пропорционально изменению давления газа на входе в редуктор согласно уравнению неразрывности потока.

Были произведены измерения давления в зоне редуцирования  $P_r$ , что показано на принципиальной схеме рис.3, аналогичной представленной на рис. 1. Отличие состоит в том, что использовался редуктор, позволяющий производить измерения давления  $P_r$ . Всего было проведено 19 измерений в условиях производства.

В итоге получены следующие результаты:

1. На пяти продувках редуктора имело место равенство  $P_{tm} = P_g$ . Две из них зафиксированы в табл. 1 и табл. 2 (жирно выделенные столбцы).

2. Достигнута и величина  $n_4 = \frac{P_g}{P_r} = \frac{30}{28} = 1,07$  (табл. 1, последний столбец), по сравнению с исходной

$n_4 = \frac{30}{195} = 0,15$  при  $\frac{P_g}{P_{ex}} = \frac{30}{296} = 0,101$ . В этом случае критический режим редуцирования продолжался до

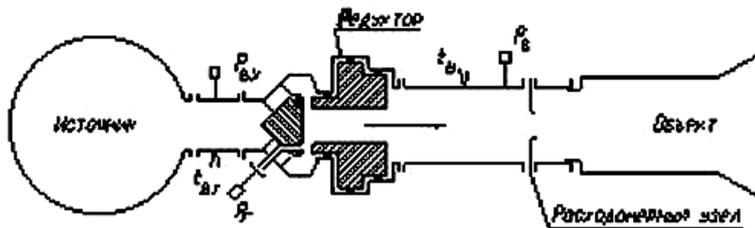


Таблица 1

$P_0 = 30 \text{ кгс/см}^2$        $G = 4,6 \text{ кг/с}$

$\tau(^\circ\text{C})$	1,4	6,1	11,5	17,4	21,8	26,9	27,3	30,0
$P_{вх}$	296	223	161	110	81	52	47	40
$P_r$	195	125	76	57	45	31	30	28
$P_r/P_{вх}$	0,66	0,56	0,47	0,52	0,56	0,6	0,64	0,70
$t_г$	+1,0	-17	-36	-51	-65	-79	-83	-86

Таблица 2

$P_0 = 26 \text{ кгс/см}^2$        $G = 4,0 \text{ кг/с}$

$\tau(^\circ\text{C})$	1,4	6,8	10,1	13,5	21,8	23,8	26,0	30,0
$P_{вх}$	268	195	157	124	65	52	42	40
$P_r$	161	103	76	57	31	30	31	26
$P_r/P_{вх}$	0,6	0,528	0,48	0,46	0,48	0,57	0,74	0,65
$t_с$	+3	-21	-35	-49	-79	-86	-94	-100

$$\pi(\lambda) = P_r/P_{вх}$$

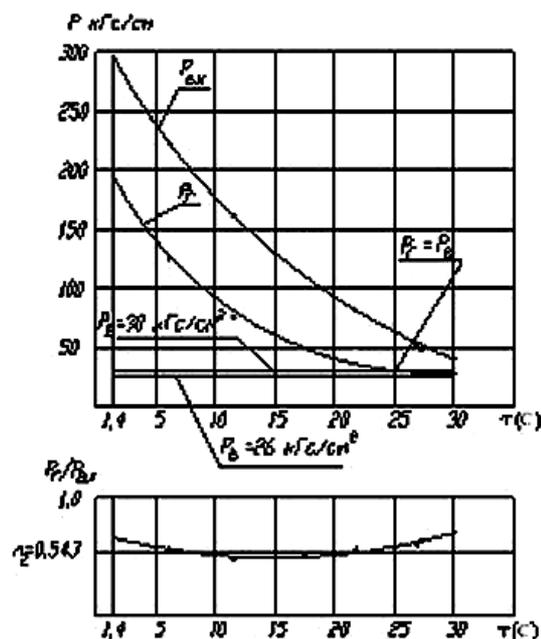


Рис. 3

$$P_{ax} = \frac{P_0}{0,543} = 55,2 \text{ кгс/см}^2 \text{ (давления – статические величины, } k=1,4).$$

В табл. 2 величина  $n_4 = \frac{P_0}{P_r}$  менялась от 0,09 до 0,65, а критическое редуцирование длилось до

$$P_{ax} = \frac{P_0}{0,543} = 47,9 \text{ кгс/см}^2.$$

3. Отношение  $\frac{P_r}{P_{ax}} = n_2$  (табл. 1 и табл. 2, нижний график, кривая колеблется в пределах 0,6...0,46...0,74 дважды

пересекает значение  $\frac{P_r}{P_{ax}} = 0,543$ ). Такой дрейф объясним: в начале процесса недорасширением, в конце – в

связи с переходом в докритический режим редуцирования, появлением скачка уплотнения, расположившимся у входа зоны редуцирования.

Подтверждается мысль, что отношение давления  $P_r/P_{ax}$  есть величина, близкая к  $n_2(n_2^*)$  в течение всего процесса редуцирования как докритического, так и для критического режимов.



### Заключение

Проведенные исследования позволили определить минимальное значение давления  $P_{вхт} = P_{в}/n_1^*$  в источнике, после которого процесс редуцирования становится невозможным.

Появляется возможность определять необходимое начальное давление газа или объем источника при определенном режиме редуцирования, задавшись временем продолжительности процесса. Из выражения

$V_u P_{вх}^* = \nu t + V_u P_{вхт}^*$  (объем источника равен сумме объемов расходуемого газа и его остатка в источнике)

следует:  $P_{вх}^* = \frac{nt}{V_u} + P_{вхт}^* = \frac{nt}{V_u} + \frac{P_{в}}{n_1^*}$  и  $V_u = \frac{nt}{P_{вх}^* - P_{вхт}^*}$ , где  $V_u$  – объем газа в источнике перед началом

процесса,  $n$  – объемный расход газа при редуцировании,  $t$  – время редуцирования,  $P_{вх}^*$  – давление до начала редуцирования (не должно быть больше рабочего давления, на которое рассчитана емкость источника).

#### Обозначения:

$P$  – статическое давление;

$P^*$  – полное давление;

$p(I) = \frac{P}{P^*}$  – газодинамическая функция;

$p(I)^*$  – критическое отношение давлений;

$\rho$  – плотность газа;

$M$  – число Маха;

$W$  – скорость газа;

$T$  – температура по шкале Кельвина;

$c_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении;

$c_v$  – удельная теплоемкость при постоянном объеме;

$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$  – показатель адиабаты;

$U$  – внутренняя энергия;

$n$  – обозначение соотношения давлений;

$D$  – внешний диаметр зоны редуцирования;

$d$  – внутренний диаметр зоны редуцирования;

$H$  – ход клапана (расстояние от клапана до седла);

$V$  – объем;

$\nu$  – объемный расход газа;

$t$  – время редуцирования.

#### Индексы:

$вх$  – вход;

$в$  – выход;

$r$  – редуцирование;

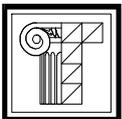
$*$  – характеристика **полной** или **критической** величины;

$m$  – окончание процесса;

$u$  – источник газа.

### Литература

1. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры. – М.: Машиностроение, 1964. – 832 с.
2. Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. – М.: Машиностроение, 1968. – 488 с.
3. Киселев Н.А. Котельные установки. – М.: Высшая школа, 1975. – 277 с.
4. Левинсон Я.И. Аэродинамика больших скоростей. – М.: Оборонгиз, 1948. – 336 с.
5. Дейч М.Е. Техническая газовая динамика. – М.: Энергетика, 1974. – 592 с.
6. Самойлович Г.С. Гидродинамика. – М.: Машиностроение, 1980. – 290 с.
7. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1976. – 888 с.



УДК 658.012, 691.2

**А.В. Коклюгин** – доцент

**Л.А. Коклюгина** – кандидат технических наук, доцент

**В.С. Изотов** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии, организации и механизации строительства

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## К ВОПРОСУ ОБ УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ С ПОЗИЦИЙ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СТРУКТУР СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

### АННОТАЦИЯ

В статье ставится задача совершенствования организационных структур как новой формы контроля в проектируемой структуре управления. Рассматривается проблема контроля качества как одна из сфер вложения капитала, приносящая соответствующую прибыль.

**A.V. Koklyugin** – associate professor

**L.A. Koklyugina** – candidate of technical sciences, associate professor

**V.S. Izotov** – doctor of technical sciences, professor, head of the Pulpit of the Technology, Organization and Mechanization in Construction department

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## ON QUALITY MANAGEMENT IN CONSTRUCTION FROM THE POSITIONS OF CONTRACTOR'S STRUCTURES IMPROVEMENT

### ABSTRACT

The aim of organizational structures improvement as a new form of control in projecting management structure is stated. The problem of quality control as one of the spheres of capital investments for the relevant profit is considered.

Известно, что для плановой экономики действительна система управления строительством, основанная на территориально-отраслевом принципе по жестким нормам и инструкциям, спускаемым сверху. Переход на строительство по договорным ценам в условиях рыночной экономики и конкурсных предложений заставляет менять систему управления строительством в целом. Появляются проблемы в создании современных организационных структур аппарата управления, а также проблемы в управлении качеством в строительстве.

Согласно [1] все российские компании, а также и некоторые иностранные строительные компании можно подразделить по организации управления на две группы: первая группа – это бывшие строительные тресты, преобразованные в акционерные общества, вторая – вновь организованные строительные фирмы, специализирующиеся на выполнении отдельных видов работ.

Как правило, акционерные общества сохраняют прежних руководителей и структуру управления. Руководители – как правило, бывшие работники трестов. В работе они используют собственный управленческий опыт, накопленный во времена

плановой экономики. Здесь можно отметить как положительные, так и отрицательные стороны этого явления. С одной стороны у руководителей может наблюдаться консерватизм мышления, с другой – непрерывно адаптируясь к современным условиям хозяйствования, им приходится менять свои взгляды, совершенствовать свои структуры, достигая главной цели – обеспечения постоянной и наиболее полной загрузки всех своих производственных подразделений.

Вновь организованные строительные фирмы специализируются на выполнении отдельных видов работ. Если фирма успешно развивается, осваивает новые технологии, то и конкурентоспособность ее возрастает и, как результат, улучшается качество выполнения работ. Кроме этого, повышается организационно-технологическая надежность работы фирмы, поскольку появляется возможность выпуска продукции с минимальной зависимостью от внешних факторов.

Однако чаще среди частных предприятий преобладают мелкие ремонтно-строительные фирмы, работающие на субподряде и использующие временных рабочих низкой квалификации. Квалификация инженерно-технических работников в



этих фирмах тоже часто не выдерживает конкуренции. Создание рациональных схем в организационных структурах, оптимальных для выполнения своих производственных программ, происходит в основном, опытным путем – «путем проб и ошибок».

По данным, приведенным в [2], предварительная квалификационная аттестация специалистов, проходивших обучение на курсах повышения квалификации, показывает, что подавляющая часть слушателей владеет правильной информацией по специальности в объеме 45-50 % (при принятой норме не менее 75 %). Хотя большинство из слушателей первоначально оценивает свою компетентность в области строительства на уровне 80-85 %. Отсутствие профессиональной компетентности, организационно-управленческой, экономической, правовой культуры – одна из причин низкого качества создаваемой строительной продукции, а точнее, брака.

Конкуренция на строительном рынке требует постоянной адаптации и совершенствования организационных структур. Задача совершенствования организационных структур – новые формы контроля в проектируемой структуре управления. Одним из возможных оценочных параметров оптимизации структур могли бы стать затраты времени на анализ ошибок.

При проведении конкурсов на строительство объектов, особенно с привлечением зарубежных инвестиций, одним из основных требований является наличие у oferентов систем управления качеством на основе ГОСТ Р ИСО серии 9000 версии 2001 года [3].

Но требования к высокому качеству строительной продукции заставляют заказчиков привлекать больше зарубежные фирмы из Турции, Польши, Финляндии, Италии. Российские фирмы чаще используются на условиях субподряда для выполнения низкооплачиваемых работ. А большинство российских фирм не являются конкурентоспособными даже на внутреннем рынке.

Известно, что различные системы управления качеством строительства действовали и в Советском Союзе, но никогда в нашей стране контроль качества не рассматривался как одна из сфер вложения капитала, приносящая соответствующую прибыль, за счет снижения величины «скрытого производства», т.е. затрат на исправление брака, на доработки, на неэффективное управление. На предприятиях строительного комплекса России величина «скрытого производства» может составлять до 70 % [4].

Характерной особенностью для зарубежного строительства является то, что существуют специализированные управленческие фирмы, координирующие усилия всех участников и принимающие на себя ответственность за весь инвестиционный процесс. Эти фирмы занимаются проектированием структур, видов деятельности строительных организаций. Они способны разработать конкретную программу и стратегию развития.

В России не существует подобных организаций, а руководители строительных фирм, не являющиеся специалистами в системе управления, предпочитают управлять самостоятельно. Это нередко приводит к тому, что вместо ожидаемой прибыли от хозяйственной деятельности фирма терпит убытки от «скрытого производства».

В отличие от нашей практики, сложившаяся в развитых странах практика подготовки специалистов предполагает обучение и стажировку их в учебных центрах фирм-производителей новых эффективных материалов, технологий, средств механизации. По результатам внутрифирменного надзора, называемого часто диагностикой качества, обсуждаются убытки от брака, средняя производительность труда, затраты труда рабочих и обслуживающего персонала на выполнение процессов и исправление допущенного брака, а также анализ и оценка работы инженерных служб [4].

Одна из главных причин неудач в решении проблемы улучшения качества строительной продукции состоит в том, что не была должным образом организована подготовка кадров по вопросам управления и обеспечения качества продукции. Сравнение с другими странами убеждает, что существует острая необходимость создания в России условий для приобретения всеми работающими глубоких знаний по изготовлению высококачественной продукции. Частично эта проблема решается путем обязательного периодического обучения и переобучения на курсах повышения квалификации. Но, как показывает практика, этих мер пока недостаточно для получения требуемого результата. Следует заметить, что все еще живы традиции административных методов распределения строительных работ, случаи поддержки интересов криминальных элементов. До настоящего времени отсутствует действенная и эффективная система контроля качества; малочисленность сотрудников государственного строительного надзора заставляет работать кураторов строек с большими перегрузками. С момента выхода в свет Закона о техническом регулировании пока нет ни одного технического регламента в строительной отрасли, который бы устранил правовой пробел в плане контроля и надзора.

Справедливо заметить, что уже и наши российские фирмы, динамично развивающиеся на строительном рынке, начинают использовать западные принципы менеджмента и опыт принятия управленческих решений развитых стран. Проводится большая работа по обеспечению прозрачности подрядных торгов, повышению надежности договоров, предложения по введению системы сертификации взамен лицензирования. Есть предложения по вопросу опубликования в средствах массовой информации недобросовестных участников инвестиционного строительного проекта. Однако пока строительная



продукция создается в условиях, предпочтительных для инвестора, а не для производителя. И действенный контроль качества не рассматривается как одна из сфер вложения капитала, приносящая соответствующую прибыль.

Очевидно, следует разрабатывать и совершенствовать те методы и средства, с помощью которых все участники – заказчики, подрядчики, проектные фирмы и др. – стремились бы оптимизировать свои производственные структуры для повышения качества строительной продукции, сокращая при этом весь инвестиционный цикл.

### Литература

1. Заренков В.А., Панибратов А.Ю. Современные конструктивные решения, технологии и методы управления в строительстве (отечественный и зарубежный опыт). – М., СПб.: Стройиздат, 2000. – 336 с.
2. Изотов В.С., Камчатнов Л.П. К вопросу повышения квалификации специалистов строительной отрасли. // «Взаимосвязь профессионального образования, бизнеса и производства как фактор подготовки конкурентоспособного специалиста: Материалы Международной научно-практической конференции». – Казань: КГАСУ, 2008. – С. 112.
3. ГОСТ Р ИСО серии 9000 версии 2001 года.
4. Красный Д.Ю., Красный Ю.М. Обеспечение качества при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона. – Екатеринбург: «Центр качества строительства», 2003. – 448 с.



УДК 519.8

**М. Милош** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой программного обеспечения и баз данных

**Люблинский политехнический университет (Польша)**

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДАХ АНАЛИЗА ДАННЫХ

### АННОТАЦИЯ

На сегодняшний день ученые и предприятия загружены большим количеством данных. Данные сами по себе бесполезны без современных методов извлечения из них знаний. Эти методы названы оперативным анализом данных. Статья посвящена технологии оперативного извлечения информации при анализе данных и получения из них знаний.

**M. Milosz** – candidate of technical sciences, head of the Software Engineering and Database Systems department

**Lublin University of Technology (Poland)**

## DATA MINING AS A MODERN METHOD OF DATA ANALYSIS

### ABSTRACT

Nowadays scientists and companies are over flooded with a huge amount of data. Those data are useless without proper techniques, extracting the required knowledge from them. This kind of techniques is called as data mining. This paper describes the usage of data mining for data analysis and knowledge obtaining.

### 1. Data, information and knowledge

Information technology has made possible to collect huge amount of different data in databases. Databases usually are sources of information. Using the simple transformation (calling database query) it is possible to convert data into information. More complicated problem is knowledge acquisition from data.

Knowledge indeed is hard to formalise, serve and to manage. The reason for it is that knowledge is very unstable. It is not easy to update, gain and measure it. That is why knowledge management (for example with computer system assistance) is harder than information or data assistance. It is shown on knowledge triangle (Fig. 1).

Fig. 1 illustrates knowledge, which is superior unit against data and information. Simultaneously data and information are bases of knowledge. Data are a set of severe, disordered facts, which are not connected with themselves. Classified and categorized facts are called information. These are areas of management computer systems (MCS) operations. Knowledge management computer systems (KMCS), however, are one jump ahead of MCS. They require more complex tools, which can partly replace and assist human. They gain, accumulate and pass on knowledge. Knowledge is processed, selected, related information. This kind of systems are separate group because of a way of using knowledge, used tools and technologies and character of knowledge indeed. Ability

to use knowledge in practice is known as wisdom. However wisdom can be processed only by human. Inappropriate or incompetent usage of knowledge leads to loss of usefulness. As a result it changes knowledge in information or data again.

According to Nonaka and Takeuchi [17] model knowledge can be divided into two types: *explicit* and *tacit* knowledge. Explicit knowledge is freely available.

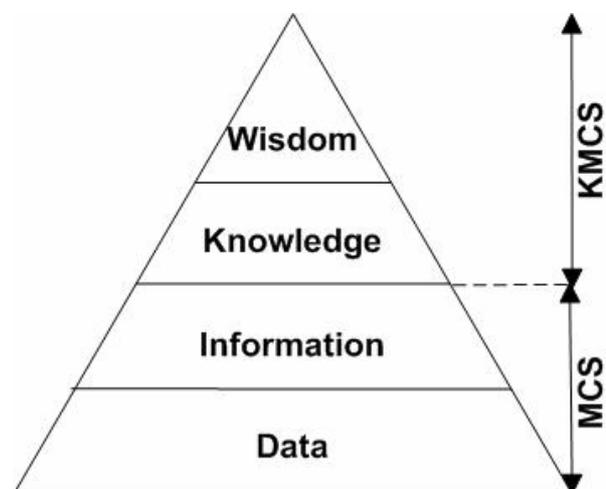


Fig. 1. Knowledge, data, information and wisdom and computer systems.  
Personal elaboration on the basis [4]

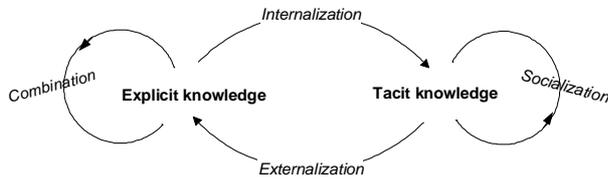


Fig. 2. Process of knowledge conversion. Personal elaboration on the basis [4]

It can be reached in books, reports and other ways of notation [8]. Nevertheless tacit knowledge is hard to deal with. It is subject of researches and worries IT specialists. This kind of knowledge can be available in employee's minds, skills, experiences, intuitions. Making it freely available depends on goodwill of owner. On the other hand this kind of knowledge is the most precious because it is practical knowledge. It can be passed over through descriptions, stories, informal notes.

Knowledge management should concern both of knowledge types. As a result it will be easier to gain knowledge from such sources as databases or sharing it by workers. Besides interesting information and knowledge will be found in simpler way. There are four transformations between knowledge types (fig. 2).

**Socialization** [17] is a transformation of tacit knowledge into tacit one. It refers to passing on modified, competed knowledge. Socialization has an effect on

workers minds. It can be found in conversations, discussions, using forums and experts advising.

**Externalization** [17] is the process, where tacit knowledge is transformed into explicit one. It occurs during formation of explicit knowledge. Process of externalization consists of recording knowledge using electronic documents, databases, computer systems and knowledge repositories.

Transforming explicit knowledge into explicit one is known as **combination** [17]. It is processing of earlier recorded information, cataloguing or rewriting them.

**Internalization** [17] is a transformation of explicit knowledge into tacit one. The best example is learning process.

Task of KMCS is to create new knowledge in process of externalization and to preserve it and adjust to clients needs in process of combination. Besides system should make possible to gain knowledge (internalization) and to exchange it (socialization).

## 2. Knowledge management computer system

KMCS consists of (Fig. 3):

- The part responsible for knowledge extraction – basic element of the system. It is responsible for gaining, modelling and interpretation of knowledge. Knowledge extraction makes possible functioning of whole system. Area of knowledge extraction is discussed in next parts of this paper.

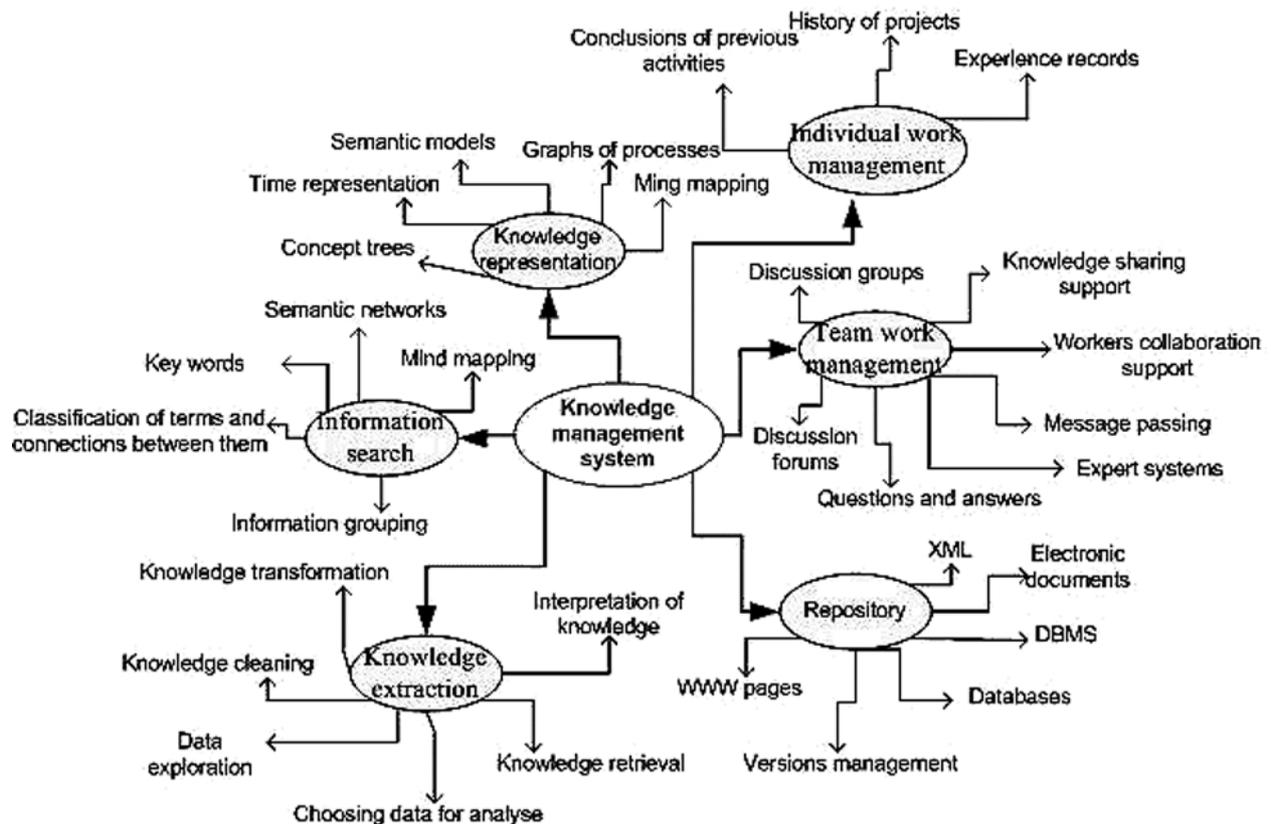


Fig.3. Workspace of KMCS. Personal elaboration on the basis [14]

- The repository [13] – an area to keep knowledge and information, which that knowledge is made of. In repository there are implemented such mechanisms as files management and their XML representation as well as databases management systems.
- Information search module. There can be implemented different mechanisms, depending on needs. The simplest and simultaneously little effective solutions use key-words. More sophisticated methods make use of mind mapping or semantic networks. From system functionality point of view information searching is important, but difficult issue. Computer does not possess an intuition assisting it in distinguishing meaning of words. To make this process automatic there was found concepts classification and connections between concepts classifications. As a result it is possible to automatically group information and analyse documents.
- Individual work management [6]. It consists of recorded historical projects and any other experiences, which might be useful in future. Analyzing interesting events from past leads to creating knowledge. This knowledge helps to draw a conclusion and gives a good chance of success.
- Team work management [6] is a group of all solutions motivating and assisting in sharing knowledge and workers collaboration. Some of them are: expert systems, discussion forums, documents approving, questions and answers systems.
- The representation [13] – an area responsible for knowledge presenting in the system. There can be found such mechanisms as mind mapping, semantic networks and models or concept trees. They are used for an enterprise modelling. Right model should consider important issues but pass over unnecessary details.

KMCS use generally known mechanisms as business intelligence, expert systems, documents management, workers collaboration support systems, decision support systems, knowledge bases, alerts systems, data marts,

project management, reports generating, customer relationship management [1]. The most important elements however are gaining, extracting, transforming and passing on the knowledge [15]. It is important because of knowledge live circle (fig. 4). Knowledge live circle must be present in every knowledge management system. It is divided into three parts: creating, validation and integration of knowledge. There is no benefits without property knowledge manipulation. This is because of knowledge character.

There can be found following actions in most knowledge circulation schemas [1]:

- knowledge acquisition from exterior sources,
- new knowledge creating and modifying existing one,
- choosing interesting knowledge and transforming it to make it useful,
- modelling and recording knowledge,
- ability to make use of chosen knowledge.

### 3. Automatic knowledge acquisition – data mining

There is an important question concerning knowledge management. This question is “how to get this knowledge?”. Science of today are rained with various information. Databases grow fast. However if having this huge piece of information means taking advantage of them? Surely. There is need to use additional tools to make even the best database useful for knowledge management. Knowledge acquisition can be execute through proper cooperation culture [6] and implementation of solution, which can improve externalisation and combination processes.

Technology of knowledge extraction in knowledge base is called data mining [10]. Data mining makes automatic knowledge extraction possible. It is used to find interesting connections, relations, patterns, answers to decision questions. Direct target of data mining is often prediction. Predictive data mining can be used to market situation, clients targets or decisions results. In every case it can be helpful to keep market position and to increase development chance.

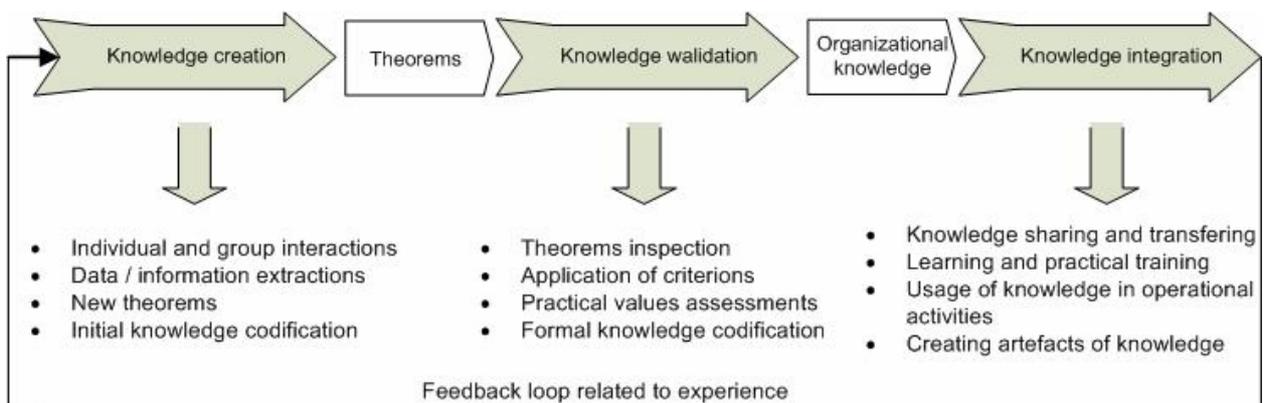


Fig. 4. Knowledge live circle.  
Personal elaboration on the basis [13]



A good example of data mining is seeking huge databases in supermarkets [18]. Those databases arise from bar codes. Bar codes were found for supplying purpose, to determine demand for articles. However in that database can be found knowledge concerning clients and their needs. Based on that knowledge, managers can adjust market strategies to clients needs. That knowledge might concern such issues as types of products bought together, products which can be seasonal, contents of small shopping baskets. Interesting relations are relations, which are not obvious. They are rather surprising.

Another example is cell telephoning. Personal clients data can give a lot of interesting information as their likes, demands or feelings concerning specific products. The assertion that, for example, the best clients are middle-age men or that young women are people who the most often change phone. Having that knowledge it is easier to make a marketing decisions. Above-mentioned examples includes elements of decision making systems and customer relationship management. They are in KMCS activities area, just like efficiency and satisfaction analyse. Using current and archive employee data there can say a lot about personal policy of corporation. For example if many workers have left office taking their knowledge for last few years, personal policy need to be thought over.

Data mining technology can make company management easier. It can be done through analysing and conducting from information resources. Data mining makes possible to check any solutions, helps to introduce new ideas, fasts reactions on market changes [10]. It also predicts clients loyalty, helps finding their needs, supplies information about them. Another use is to make data coherent and uniform. It may be helpful in defining and understanding corporation processes, making reports and making knowledge available in one source.

Knowledge extraction was found because of much interest in information recovery. Data marts were found to describe activity areas in the course of time [18]. But there are disadvantages of this technology. One of them is a necessity to constant control and maintenance of an analyst. An analyst needs to define hypotheses and to serve a query. It needs to be remember about demand for computational power. Databases often include millions of records, so processing them can be time-consuming [9].

As it turned out, data mining is a mile stone of knowledge discovery. Knowledge discovery is automatic. It needs only small assistance of an analyst, who is responsible for pointing at searching area. There are used models built of known, archive data. Those models, filled up with current data, makes prediction possible. This kind of models predict for ex. market behaves. Writing new data into old model may be successful. Experiences form the past can be helpful in answering questions concerning the future. This is known as prediction. There is possibility to predict same interesting variables using actual, current values of that variables. Use of historical data makes predicting possible and efficient. For example sales balance

sheets for last few years can be helpful in autumn sales of wines prediction or in finding the most popular sweets in next spring.

Answers on those questions can be used only one and, unnecessary, deleted. However sometimes it is profitable to keep them. Answers on important questions, put in knowledge base, can make easier to solve another decision problems and to analyse new ideas.

#### 4. Data mining techniques

There are many types of data miming techniques. This diversity is caused of demand for different types of actions, different data imperfection or hardware abilities.

The most known and popular techniques use statistical methods, like averages, charts, histograms, percentage rate. Additionally, to make results more possible, there is used of data distinction between continuous and non-continuous variables. Averaging [11] is used for continuous variables, and voting [11] – otherwise. Another technique are regression methods – methods using mathematical functions to modelling and predicting different processes and approximating results.

Often used techniques are based at models, which use archive data. Those models can be used to construction new ones. They also can be a form to filled with new data. A technique called bagging [11] is a good example. Predicting is based on few models the same type, but filled with different data. In special cases used models might be different types, but filled with the same data. Another solution is boosting [11]. It consist in construction collective model using different models built with interesting data. Additionally weights can be used to make predicting more accurate.

Another group of algorithms and techniques are aggregation methods. They introduce automation into data classification processes. This group consists of, among other things, clustering, classification and association [9]. Clustering is grouping records by some criterions. Those criterions are automatically generated. Clustering makes possible to find hidden irregularity in database, because it discloses records, which match no group. Classification is grouping records by given criterions, specified by user or analyst. Decision trees and semantic networks are mechanisms, which can be used in classification process. Association is finding elements concerned or similar to other elements or events. Often used rule is “if element A is an component of some event, element B is also component of the same event in X% of cases”.

Nearest neighbour algorithm [9] is suitable when data are incomplete. Lacking values of feature can be estimated on the basis of value of this feature for different elements. Those elements should be at the same range or conditions as the searching one. Elements can be numbered among one group by some common features. The best “neighbours” are elements, which show close likeness by specified class of patterns.

Neural networks are ones of the most advised techniques of data mining. They are complex techniques created on the model of neurological functions of a brain. Constructing model is describing through many coefficients. That is why it is so complicated.

Commonly used techniques are visualisation techniques. They are popular because of easily of usage. They use graphical methods improving trends identification and behaves hidden in databases. The most known example is distinguishing technique [11]. It concerns choose hole data sets or individual points on a chart and identification their common features, characteristics, dependencies.

Pattern detection technique written as a text (documents) is called text mining [11]. This kind of data are difficult to analyse, because it is hard to standardise them, and heir structure is not specified. Documents analyse is based on searching given words or expressions. Text mining makes easier to classify documents and extract knowledge. They also determine importance of documents and place them into repositories.

### 5. Data mining as way of knowledge extraction

According specialists [12], terms data mining and knowledge extraction are unequal. Knowledge extraction is a term more general. It applies to hole knowledge retrieval process. Data mining, known as data exploration, applies only to techniques and tools. However, especially in common language, both of those terms are used interchangeably. This interchangeability, for this paper needs, is acceptable.

Knowledge extraction process is proceeded as follows (fig. 5):

1. Data choice (selection) to separate an area for analysis. That chosen data must meet given demands, conditions, for example time intervals or place of client residence.

2. Data transformation to a form, which make analyse possible.

3. Data exploration (seemly data mining) – choice and usage of algorithms, techniques and software adapted to extract information, patterns and knowledge. If decided choice turn out to be wrong, there is possibility to back to data choice (point nr. 1).

4. Presenting and interpretation of results of searching the most interesting knowledge, as well as assessment, cleaning and filtering of knowledge.

Knowledge extraction process entirely can represent process of transformation data info knowledge and even wisdom. Data, coming from different sources, first lend in database. Those data can concern, for example, personal details of clients, shopping (bar codes), likes and interests of clients. Accumulated this way data usually are large sized. Simultaneously such cluster of not-related data is useless, and manual segregation is impossible. However according to fig. 6 this kind of data can be transformed in proper way. Suitable columns choice, conditions applying and range determining make possible to transform data into information. Classified and categorized data become information (fig. 5). Those information are not directly useful yet. However, they became systematised knowledge after interpretation, connecting with specific problems, processes or persons. That knowledge can be used by human to create correct project, to find better solutions, to make right decisions. Usage of knowledge in practise is a wisdom which, however, can only be share of human. Thus, data mining, as knowledge discovering process, is technology of extraction and creation new knowledge. As a result it represents important part of knowledge management computer systems, because it is responsible for acquisition and accumulation of knowledge, especially from databases.

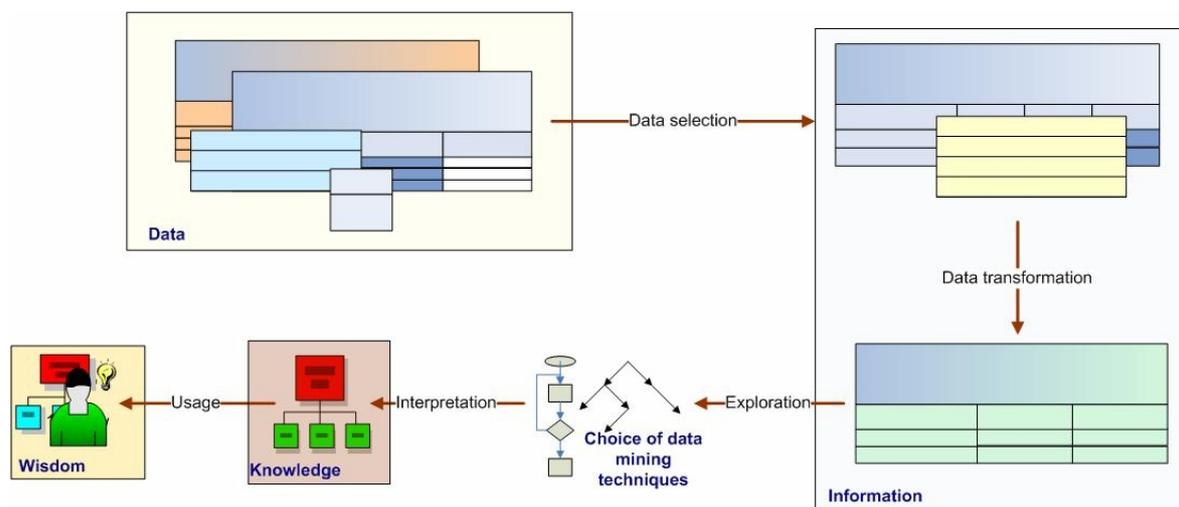


Fig. 5. Knowledge extraction process.  
Personal elaboration on the basis [5]



## 7. Conclusions

Data mining entirely cannot be regarded as technology sufficient to make KMCS. However it is one of its basic elements: choosing and integrating knowledge. It makes possible to order, to record and to understand excessive amount of information. It is impossible, however, using it to encourage employee to share with knowledge and to support them to collaboration between themselves..

## References

1. Plechawska M., Miłoś M.: Data Mining In Knowledge Management Systems. In: Studies&Proceedings of Polish Association for Knowledge Management, vol. 9, Bydgoszcz, 2007, pp. 87-97.
2. Miłoś M., Plechawska M.: System zarządzania wiedzą w elektrociepłowni Megatem-EC Lublin – koncepcja wstępna. red. Miłoś M., Muryjas P.: Varia informatica - teoria i praktyka 2005, PTI, Lublin 2005.
3. Plechawska M., Wójcik M.: Problemy i ryzyko przy wdrażaniu systemów zarządzania wiedzą (na przykładzie przedsiębiorstwa – elektrociepłowni Megatem-EC). Ryzyko przedsięwzięć informatycznych, Politechnika Szczecińska, Szczecin 2005.
4. Grudzewski W., Hejduk I.: Zarządzanie wiedzą w przedsiębiorstwach. Wydawnictwo „Difin”, Warszawa 2004.
5. Marcin Domański: Data mining, obecny stan i możliwości rozwoju. Inżynieria gier komputerowych. Materiały konferencyjne III Ogólnopolskiej Konferencji Gier Komputerowych. Wydawnictwo Akademii Podlaskiej, Siedlce 2006.
6. Leszek Panasiewicz: Systemy zarządzania wiedzą – przegląd metodologiczny. Systemy informatyczne zarządzania – od teorii do praktyki. PWN, Warszawa 2006.
7. Robert Rusielik: Atrakcyjność inwestowania w metody zarządzania wiedzą w agrobiznesie. Studia i materiały polskiego stowarzyszenia zarządzania wiedzą.
8. Zbigniew J. Klonowski: Systemy informatyczne gospodarowania wiedzą. Studia i materiały polskiego stowarzyszenia zarządzania wiedzą.
9. Michał Gulczynski: Techniki „odkrywania wiedzy” (data mining) oraz ich zastosowania. Studia i materiały polskiego stowarzyszenia zarządzania wiedzą.
10. Kurt Thearling: Data Mining and Analytic Technologies, <http://www.thearling.com/>.
11. Portal StatSoft, Techniki zgłębiania danych (data mining) <http://www.statsoft.pl/textbook/stathomestat.html?http%3A%2F%2Fwww.statsoft.pl%2Ftextbook%2Fstddatmin.html>.
12. Muraszkiewicz M., Eksploracja danych dla telekomunikacji [http://www.icie.com.pl/ARCHIVE/dm\\_tel.doc](http://www.icie.com.pl/ARCHIVE/dm_tel.doc).
13. Staniszkis E., Nowicki B.: Zarządzania wiedzą w procesie przygotowywania propozycji projektów w funduszy strukturalnych w oparciu o platformę ICONS. [http://www.rodan.pl/pdf/SF\\_pl\\_0215.pdf](http://www.rodan.pl/pdf/SF_pl_0215.pdf).
14. Krzysztof Regulski: Komputerowe systemy zarządzania wiedzą i ewidencji kapitału intelektualnego, <http://www.regulski.padlock.pl/pliki/seminarium.pdf>.
15. Hemamalini Suresh BE, MBA: Knowledge Management - The Road Ahead for Success <http://knowledgemanagement.ittoolbox.com/pub/HS090302.pdf>.
16. Tiffany Blaine: Knowledge Management Overview [http://knowledgemanagement.ittoolbox.com/pub/km\\_overview.htm](http://knowledgemanagement.ittoolbox.com/pub/km_overview.htm).
17. Richard G. Best, Sylvia J. Hysong, Charles McGhee, Frank I. Moore, Jacqueline A.: Pugh An Empirical Test of Nonaka's Theory of Organizational Knowledge Creation <http://www.weleadinlearning.org/rboct03.htm>.
18. Chris T.: Data Warehouse: Supporting Customer Relationship Management, First Edition, published by Pearson Education, Inc., Prentice Hall.



УДК 69.05.009.12

**О.С. Федоренко** – ассистент

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)**

## **РОЛЬ КЛАСТЕРОВ В ПОВЫШЕНИИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ**

### **АННОТАЦИЯ**

Прибыльность строительных компаний обуславливается предпочтениями инвестора, который руководствуется общей инвестиционной привлекательностью региона и конкурентоспособностью компании. Кластерный подход помогает повысить конкурентоспособность отраслей и регионов. Эффективность кластеров достигается за счет синергетического эффекта и, как следствие этого, роста инвестиций в инновационное развитие производств и формирования новых компаний, усиления экспортного потенциала, повышения занятости населения и качества продукции.

**O.S. Fedorenko** – assistant

**Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUAE)**

## **ROLE OF CLUSTERS IN INCREASING OF COMPETITIVE ABILITY OF BUILDING BRANCH**

### **ABSTRACT**

The profitableness of building and construction companies is based mainly on the preferences of an investor, who is guided by the general investment attractiveness of a region and by the competitive ability of the company. Cluster approach helps to increase the competitive ability of branches and regions. The effectiveness of clusters is achieved by the synergetic effect, followed by the increase of investments in the innovating development of industry, and by the formation of new companies, strengthening of export potential, increase of employment and quality of production.

В строительной отрасли заинтересованность заказчиков в целом определяется конкурентоспособностью местных строительных фирм. Кроме того, вся политика определяется инвестором, который руководствуется общей инвестиционной привлекательностью региона. Соответственно рост объемов реализации и прибыльности строительных компаний может быть обусловлен повышением их конкурентоспособности и общим ростом инвестиционной привлекательности региона, а соответственно и конкурентоспособности региона.

Конкурентоспособность региона определяется как наличием конкурентоспособных отраслей или сегментов отрасли, так и способностью региональных органов власти создать условия региональным предприятиям для достижения и удержания конкурентного преимущества.

Под конкурентоспособностью строительных организаций следует понимать эффективность управления своими конкурентными преимуществами для достижения наилучших результатов в борьбе за ограниченные ресурсы и за предпочтения потребителей по сравнению со своими конкурентами. Это может достигаться за счет увеличения производительности, которая зависит от качества и

свойств продукции, а также от эффективности управления производством. В настоящее время существенное влияние на конкурентоспособность субъекта хозяйствования оказывают тесные связи с покупателями, поставщиками и с институтами, которые воздействуют не только на эффективность, но и на скорость совершенствования и обновления. Таким образом, местоположение субъекта хозяйствования определяет конкурентное преимущество посредством своего влияния на производительность.

С местоположением субъекта хозяйствования, влияющим на рост производительности, тесно связано понятие «национальное конкурентное преимущество». М. Портером была разработана система детерминант конкурентного преимущества стран, получившая название «конкурентный ромб». Он смоделировал влияние географического расположения компаний на конкурентную борьбу с использованием четырех взаимосвязанных сил, представленных графически в виде ромба. Одну из граней представляют кластеры, но лучше всего рассматривать их как проявление взаимодействия всех четырех граней. Рассмотрим эти составляющие:

- условия для факторов – это позиция страны в факторах производства, таких как наличие



квалифицированной рабочей силы или инфраструктуры, необходимых для ведения конкурентной борьбы в данной отрасли;

- состояние спроса – характер спроса на внутреннем рынке для отраслевого продукта или услуг;
- родственные и поддерживающие отрасли – наличие или отсутствие в данной стране отраслей поставщиков или других сопутствующих отраслей, конкурентоспособных на международном уровне;
- устойчивая стратегия, структура и соперничество.

Существующие в стране условия для создания, организации и управления компаниями, а также характер внутренней конкуренции.

Эти факторы формируют национальную среду, в которой компании конкурируют между собой, а также с иностранными конкурентами. Но конкуренция между этими компаниями не протекает изолированно от местной среды. В этой связи становится необходимым добавить две дополнительные переменные, в значительной степени влияющие на обстановку в стране. Это случайные события (руководство фирм их контролировать не может) и государственная политика по созданию местных условий. Успех фирм во многом зависит от положения дел в стране и регионе. Поэтому можно утверждать, что многие конкурентные преимущества компаний зависят от местных условий. В условиях глобализации эти местные условия используются не только национальными хозяйствующими субъектами, но и иностранными.

Требуется уточнения то, что страна не может достигнуть успеха во всех отраслях сразу. Внутренние условия каждой страны складываются по-разному в зависимости от национальных ценностей, культуры, структуры экономики, существующих организаций и исторического развития. «Соответственно некоторые страны достигают успеха в определенных отраслях, поскольку их внутренние условия оказываются наиболее благоприятными, динамичными и перспективными» [4]. Проанализировав более ста отраслей в десяти странах, М. Портер утверждает, что «наиболее конкурентоспособные транснациональные компании обычно не разбросаны бессистемно по разным странам, а имеют тенденцию концентрироваться в одной стране, а порой даже в одном регионе страны» [4].

Поэтому необходимым является выявление отраслей, в которых определенные виды деятельности или конкретные проекты будут обеспечивать развитие социально-экономической системы региона. Именно рост производительности в таких отраслях позволит увеличить конкурентоспособность региона. Подобные группы географически локализованных участников получили название “кластер”. Кластеры – это сконцентрированные по географическому признаку группы взаимосвязанных компаний, специализированных поставщиков, поставщиков услуг, фирм в родственных отраслях, а также связанных с их деятельностью

организаций (например, университетов, агентств по стандартизации, торговых объединений) в определенных областях, конкурирующих, но при этом ведущих совместную работу [4]. Масштабы кластера могут варьироваться от территории как одного, так и нескольких субъектов страны.

Кластер как идея конкурентоспособности получила развитие в последнее десятилетие во многих странах мира. Опыт Италии, Финляндии, США и других стран показывает, что именно кластерная политика выводит эти страны на первые позиции по уровням международной конкурентоспособности. Эффективность кластеров достигается за счет синергетического эффекта и, как следствие этого, роста инвестиций в инновационное развитие производств и формирования новых компаний, усиления экспортного потенциала, повышения занятости населения и качества продукции, развития новых технологий, усиления конкурентоспособности и производительности членов кластеров, развития тесных связей между наукой и производством, развития инфраструктуры, повышения образовательного уровня сотрудников.

Эффективность кластерной политики зависит от степени вовлеченности в процессы кластеризации самих непосредственных субъектов реализации интересов конкурентного развития соответствующих кластеров и регионов [2].

- Субъекты реализации кластерной политики:
- федеральные органы государственной власти;
  - органы государственной власти региона;
  - муниципальные (местные) органы власти;
  - научно-исследовательские и образовательные (вузы) организации и научные центры;
  - общефедеральные и региональные корпорации;
  - группы малых и средних предприятий, составляющих основу территориальных кластеров.

Рост конкурентоспособности территориальных кластеров означает абсолютный и относительный рост доходов основных их участников и последующее поддержание стабильно высокого уровня этих доходов, а также обеспечение роста благосостояния населения соответствующих муниципальных образований и республики в целом [2].

Государство, как в лице федерального правительства, так и в лице региональных и муниципальных органов власти, может влиять на развитие кластеров за счет следующих факторов:

- поддержка развития квалифицированных трудовых ресурсов;
- увеличение инвестиций в высокотехнологическую инфраструктуру;
- закупка продукции кластера;
- осуществление маркетинговых действий для продвижения продукции кластера;
- инициирование участия в различных региональных программах развития.

Важным аспектом является то, что развивать



необходимо все кластеры, поскольку все они могут оказаться перспективными для повышения конкурентоспособности. Очевидно, что не все кластеры будут успешными, но это определит рынок, а не решения правительства. На раннем этапе, считает Портер, главная задача правительства - улучшение инфраструктуры и устранение неблагоприятных условий, затем его роль должна концентрироваться на устранении ограничений к развитию инноваций [1].

Для субъектов экономических отношений кластерный подход дает ряд преимуществ [3]:

- для региональной власти: развитие кластерной системы приводит к увеличению количества налогоплательщиков и налогооблагаемой базы (центры управления бизнесом, как правило, находятся на той же территории, что и сам бизнес, кроме вертикальных корпораций), появлению удобного инструмента для взаимодействия с бизнесом, снижению зависимости от отдельных бизнес-групп, появлению основания для диверсификации экономического развития территории.

- для бизнеса: улучшение кадровой инфраструктуры; появление инфраструктуры для исследований и разработок; снижение издержек; появление возможностей для более успешного выхода на межрегиональные и международные рынки.

Ключевым моментом образования кластера является рыночный механизм «выгодности» более тесного взаимодействия организаций, расположенных на одной территории. Указанная закономерность объясняется снижением ряда издержек и возникновением положительных обратных связей, обеспечивающих интенсивное развитие всех организаций, связанных отношениями в рамках кластера [5].

Выделение нескольких предприятий строительной сферы в кластерную систему позволяет повысить эффективность их деятельности за счет рационального развития производственно-экономических процессов, использования основных ресурсов производства (трудовых, материальных, технических и т.д.), функционирования предприятий различных форм собственности и назначения.

С учетом отраслевой специфики строительный кластер относится к дискретным кластерам, которые включают в себя предприятия, производящие продукты (и связанные услуги), состоящие из дискретных компонентов. Как правило, данные кластеры состоят из малых и средних компаний - поставщиков, развивающихся вокруг сборочных предприятий и строительных организаций.

Основными категориями участников строительного кластера являются:

- строительные предприятия (организации), специализирующиеся на профильных видах деятельности;

- предприятия, поставляющие продукцию или оказывающие услуги для специализированных предприятий;

- организации рыночной инфраструктуры (кредитные, страховые и лизинговые услуги, логистика, торговля, операции с недвижимостью);

- научно-исследовательские и образовательные организации;

- некоммерческие и общественные организации, объединения предпринимателей, торгово-промышленные палаты;

- организации инновационной инфраструктуры и инфраструктуры поддержки малого и среднего предпринимательства: технопарки, промышленные парки, венчурные фонды, центры технологий, центры развития дизайна, центры поддержки субподряда; центры и агентства по развитию предпринимательства, регионального и муниципального развития, привлечения инвестиций, агентства по поддержке экспорта товаров, государственные и муниципальные фонды поддержки предпринимательства и др.

Кластерный подход для строительных организаций является одной из «точек роста» региональной экономики, которая инициирует развитие сопряженных отраслей и ведет к возникновению синергетического эффекта.

### Литература

1. Аузан В., Гурова Т. От Госплана до наших дней. – Интернет-ресурс: журнал "Эксперт". <http://www.opec.ru/library/article.asp?cno=19&dno=511>.
2. Концепция программы «Развитие и размещение производительных сил Республики Татарстан на основе кластерного подхода до 2015 года и на период до 2030 года». <http://www.mert.tatar.ru/rus/info.php?id=21425&page=1&pubid=6216>.
3. Лебедев В.Г., Дроздова Т.Г., Кустарев В.П. Управление затратами на предприятии: Учебное пособие. – М.: Бизнес-пресса, 2003. – С. 244
4. Портер М. Конкуренция. – Издательский дом «Вильямс», 2006. – 602 с.
5. Ялов Д.А. Кластерный подход как технология управления региональным экономическим развитием. <http://www.subcontract.ru/Docum/DocumShowDocumID17.html>.



УДК 316

**В.К. Падерин** – доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой социологии  
Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КазГАСУ)

## **ТРАНСФОРМАЦИЯ КУЛЬТУРНО-ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИЙСКОГО СОЦИУМА: ВОЗМОЖНЫЕ ПОДХОДЫ К КОНЦЕПЦИЯМ И ПРАКТИКЕ РЕФОРМИРОВАНИЯ**

### **АННОТАЦИЯ**

В статье анализируется одна из наименее изученных в институциональной теории проблем культурно-институциональных изменений. Показывается ее практическое значение для стабильного общественного функционирования, обозначаются подходы к ее решению, исключая крайности, связанные как с некритическим переносом в российскую социокультурную среду заимствованных извне институциональных практик, так и с абсолютизацией собственных тенденций институционального развития.

**V.K. Paderin** – doctor of philosophy, professor, head of the Sociology department  
Kazan State University of Architecture and Engineering (KSUA)

## **TRANSFORMATION OF CULTURAL – INSTITUTIONAL INFRASTRUCTURE OF THE RUSSIAN SOCIETY: POSSIBLE APPROACHES TO CONCEPTION AND PRACTICE OF REFORMATION**

### **ABSTRACT**

One of the least studied in the institutional theory – the problem of cultural-institutional changes is analyzed. Its practical usage for the stable social functioning is shown; approaches to solutions, excluding extremes are suggested. These extremes are related both to the non-critical transition of institutional practices, borrowed from the outside, in the Russian social-cultural environment and to absolutisation of its own trends of institutional development.

Одной из важнейших составляющих социотрансформационных процессов является изменение социальных институтов. По мнению академика Т.И. Заславской, социальная трансформация реализуется в первую очередь через изменение системы базовых общественных институтов, а также социальной структуры и человеческого потенциала\* [1]. В то же время, как отмечают многие исследователи, проблема институциональных преобразований вообще, и культурно-институциональных, в частности, «остаётся одним из наименее проработанных элементов неинституциональной теории» [2]. Это связано с тем, что долгие годы отечественная наука, во-первых, при рассмотрении вопросов культуры делала упор прежде всего на художественную и культурно-просветительскую практику (роль и значение которых оценивались с позиций того, какой вклад они вносят в дело идеологической обработки населения), на проблематику формирования нового человека. И, во-вторых, такое состояние обусловлено также тем, что при изучении социальной структуры

исследовался преимущественно социально-групповой срез общества, а институциональный – нет. Сыграло свою роль подозрительное отношение к изучению институциональной инфраструктуры, так как это казалось идеологически заангажированным социологам «подкопом» под незыблемые, обреченные на вечное существование институты.

Понимание и оценка изменений, происходящих в институтах культуры России (а также в практике их реформирования) во многом зависит от характера видения самих преобразований.

Если исходить из того, что российская трансформация воспроизводит институциональный порядок западных обществ, то это будет один подход, если отталкиваться от традиционного типа рациональности – другой. Возможна также позиция, стремящаяся исходить из «того» и из «другого», то есть сочетания инновационного (западного) и традиционного (почвеннического), которая также уязвима, так как в данном случае не всегда конкретизирует само понятие инновационного, которое может быть радикальным (базовым) или парциальным (частичным). Не говоря уже о том, что

\* Это отмечают также и другие исследователи.



культ новизны нередко порождает множество форм псевдоновизны [3]. Кроме того, есть социокультурные пределы институционализации западных культурных практик в отечественном социальном пространстве (экономическом, политическом, правовом). Вопросов много. Но как бы то ни было, теория трансформации активно применяется как западными, так и российскими социологами «для описания и анализа процессов перехода России и стран Восточной Европы к рыночной организации экономики и демократическим политическим институтам» [4].

Первые исходят из ряда допущений, суть которых в следующем: в ходе осовременивания неизбежно и закономерно заимствование западных культурно-институциональных моделей (т.к. запад показал человечеству контуры устройства такого будущего, которое могло бы «устроить всех»); процессы преобразований имеют одновременный характер, т.к. «изменения в одном сегменте (общественной организации – В.П.) неизбежно вызывают вполне определенные, системно ориентированные изменения в других сегментах» [4]. Однако данный подход разошелся с реальностью по целому ряду моментов. Оказалось, что реформирование экономических институтов вполне может сопровождаться приобретением жесткости институтами политическими (и в частности, закреплением структур по ряду признаков чем-то напоминающих институты самодержавного правления в дореволюционной России).

Тезис об одновременности всех изменений также не подтвердился. В итоге оказалось, что социальная трансформация (в том числе институциональная) – это не заранее заданный процесс с предсказуемыми конечными параметрами, а саморегулирующийся и самокорректирующийся, свободный от концептуальной заданности. Кроме того, нельзя не принимать во внимание то обстоятельство, что западные трансформационные концепции объясняли переход от традиционного общества к индустриальному. Что же касается своеобразия российского социума, то в нем представлено социумно-индустриальное как доминанта, с большим вкраплением социумно-традиционного и элементами (ростками) постиндустриального. Поэтому институциональная рациональность западного типа явно не вписывается в социокультурные рамки российского социума. Попытки же «сверху», властно-волевыми усилиями внедрить западные культурно-институциональные практики приводят или к наполнению заимствованных извне институтов традиционным содержанием, или к сопротивлению (активному, конфликтному или пассивному) нововведениям.

Поэтому представители современных трансформационных теорий пересматривают некоторые свои исходные постулаты. Как отмечает

один из всемирно известных социологов Петр Штомпка, пересматриваются следующие положения:

- в качестве движущей силы модернизации уже не рассматривается только политическая элита, действующая «сверху»;

- она уже не трактуется как решение, принятое образованной элитой и навязанное сопротивляющемуся населению;

- не может существовать единой, универсальной модернизационной модели;

- трансформация – это разнообразный и многоликий процесс, сопровождающийся «трениями», отступлениями, попятными ходами и даже провалами;

- трансформационные потенциалы могут содержаться и в традиционном (в том числе в традиционных институтах) [5]. Поэтому не все традиционные институты культуры должны отбрасываться и объявляться антиинновационными.

В ходе демонтажа основных интеграционных механизмов старого порядка не может быть проигнорировано (но, к сожалению, это делается на каждом шагу) то, что в традиционном находятся («складированы») отобранные многими и многими поколениями культурно-институциональные конструкции, которые могут использоваться для возведения будущего на фундаменте прошлого. Оно, как очень точно заметил П. Штомпка, обеспечивает современников «строительными блоками» [5].

Традиционное, кроме того, хотим мы того или нет, – один из источников легитимности. Именно традиционная рациональность «освещает» (или «наоборот» отрицает) инновационные институты культуры. Причем, оно «работает» на всех этапах институционализации, начиная с креации («освящения» традицией появления института), интериоризации (внутреннего принятия того или иного культурного установления), интернационализации (признания института значимым для той или иной общности, социума в целом, «разрешение» «захвата» им социального пространства), мультипликации («размножения») и заканчивая легализацией (без санкции традиционного узаконение, придание законной силы тому или иному новому институту культуры может быть затруднено). Известны словосочетания: «люди так считают», «люди поддерживают», «люди не соглашаются», «общественность возмущается», «общественное мнение протестует» и т.д. и т.п. Собственно, убеждение в необходимости создания и функционирования того или иного института культуры со ссылкой на авторитеты – это и есть аргумент к традиции, хотя он может быть достаточно шатким, особенно когда за ним стоит стагнационное по своей сути тяготение к «старому», «испытанному» и «надежному» (которое может быть вовсе и не надежным и не прочным, а изношенным).



И, наконец, традиционное (в том числе традиционные институты культуры) действует успокаивающе на людей, выступает своего рода стабилизатором, «устройством» для уменьшения последствий социальной «качки», особенно во времена перемен и кризисов. Так, традиции, напоминая о некогда культурном величии, об утраченной свободе, постепенно подтачивают даже самый жесткий политический режим, с его институтами культуры, призванными в первую очередь контролировать образ мыслей людей.

Традиционные институты культуры функционально амбивалентны. Это проявляется в том, что в них содержится не только социально-позитивный «заряд» (потенциал), но и негативный, сдерживающий введение инновационных по своей сути установлений, мешающий распространению и закреплению таких практик, которых требуют новые социальные реалии. Не исключен также вариант, когда за традиционным «прячутся» до поры до времени практики жестокости, разрушения, дискриминации, из всех «пор» которых веет иррациональностью.

Следовательно, неправы как те, кто выполняет «па» «на бис» для Запада (объявляя его культурно-институциональные инфраструктуры «образцом» для воспроизведения, игнорируя факт существования социокультурных рамок институционализации заимствованных извне культурных официальных и неофициальных практик), так и те, кто, выступая с позиций «ура-патриотизма» призывает пристальнее взглянуть на традиционные институты культуры (конечно, и это необходимо делать, когда требуется реанимировать те из них, которые находятся в состоянии анабиоза) и только там черпать материал для институционального строительства. Позиция, которую можно образно выразить словами «вот моя деревня, вот мой дом родной», так же бесперспективна, как и позиция черпанья «пригоршнями ума» оттуда, из «прекрасного далека», не учитывая «ладно ль за морем иль худо».

Возможен и еще один сценарий реформирования культурно-институциональной инфраструктуры России, «завязанный» на временной фактор. Поскольку все социокультурные трансформации происходят во времени, у них есть протяженность, постольку предпринимаются попытки интегрирования («вмонтирования») времени в неоинституциональную теорию. Отражением этих попыток являются транзитологические концепции\*\* [6]. В отечественной науке интерес к ним появился после провальных попыток разрубить «гордиев узел» проблем в кратчайшее время («шоковая терапия» – пусть какое-то очень короткое время будет очень больно, зато потом...; а также, к счастью не реализованная программа «400 дней» и пр.). А ведь еще П. Сорокин подчеркивал, что «...любое СТАНОВЛЕНИЕ, ИЗМЕНЕНИЕ, ПРОЦЕСС, СДВИГ, ДВИЖЕНИЕ,

ДИНАМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ... предполагает время» [7].

Сегодня ясно, что потребуются годы для реформирования культурно-институциональной инфраструктуры. Сказочных, чудодейственных рецептов реформирования нет. Так как институты представляют собой довольно долговечные механизмы (системы) упорядочения социальных связей, то для их переналадки, реструктурирования, возведения новых требуется не просто время, а, что самое главное, адекватное (правильное) осознание временного фактора субъектами социального действия. Это, с одной стороны, гарантирует соответствие реально осуществляемого ожидаемому и, с другой стороны, «развивает силу действия» у тех, кто осуществляет преобразования. Если, например, институциональное реформирование осуществлять под прессингом озабоченности недостатком времени, то результат будет один. Если же пренебрегать временем, вольно обращаться с ним («отложим на потом») – совсем другой. Очевидно, нужно разумное обращение со временем, главный критерий которого – социальное самочувствие людей. Нельзя как ускорять преобразования, исходя из субъективного представления об их темпах (что способно во много раз увеличить активные риски), так и затягивать их, так как в этом случае есть опасность вхождения в «зону стагнации» (с ее огромным полем рисков пассивного характера). В России сложилась громоздкая, а главное, неэффективная (в силу ее «забюрократизированности») культурно-институциональная инфраструктура, которую нужно реформировать, не откладывая. Но стратегии и темпы его должны определяться не просто правящей элитой, а с учетом их предварительной экспертизы общественностью (общественным мнением). Без соблюдения этого условия могут проиграть целые социальные группы (интересами которых нужно будет платить за обновление). И, кроме того, вполне возможен «тектонический эффект», связанный с иницированием «разломов»,

\*\* Возникли на рубеже 70-80-ых годов прошлого столетия в связи с необходимостью осмысления процессов перехода от авторитаризма к демократии, которые сопряжены с усилением социальной напряженности, резким падением эффективности функционирования социальных институтов, снижением степени предсказуемости поведения индивидов и социальных групп, усилением потребности выхода из кризиса. Исходный постулат транзитологии – социальные трансформации в различных странах требуют различного времени, что связано с неодинаковой комбинацией в них внутренних (эндогенных) и внешних (экзогенных) факторов. То есть для каждого региона должен быть собственный «алгоритм» институциональных преобразований. Разработка системы мер в этом направлении, применяемых по разработанному с учетом специфики региона правилам, может только тогда привести к решению поставленных задач, когда нет неадаптированного использования транзитологических моделей.



«разрывов» в сложившихся и только еще налаживающихся системах социальных связей, способный привести к углублению и даже необратимой дезинтеграции.

Поэтому нельзя оставлять все как есть в культурно-институциональной области.

Требуется, таким образом, четкая и последовательная федеральная и региональная политика реформирования всей «сети» институтов культуры, несовместимая как с революционной ее перекройкой, так и с выжидательной позицией.

### Литература

1. Заславская Т.И. Социетальная трансформация российского общества: деятельностно-структурная концепция. – М.: Дело, 2003. – С. 452.
2. Нечаев В.Д. Когнитивные революции и институциональные изменения // Политические исследования, 2002, №5. – С. 6.
3. Пригожин А.И. Нововведения: стимулы и препятствия (социальные проблемы инноватики). – М.: Политиздат, 1989. – С. 53-54.
4. Ионин Л.Г. Социология культуры: путь в новое тысячелетие. – Изд-е 3-е, перераб. и доп. – М.: Издательская корпорация «Логос», 2000. – С. 222.
5. Штомпка П. Социология социальных изменений / Пер. с англ. – М.: Аспект Пресс, 1996. – С. 181-185.
6. Елисеев С.М. Выйти из «бермудского треугольника»: о методологии исследования посткоммунистических трансформаций // Политические исследования, 2002, №6. – С. 72.
7. Sorokin Pitirim A. Social and Cultural Dynamics, vol. 1, New York: American Book Company, 1937. P. 198.