

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

**Выходит 2 раза в год**

**Учредитель и издатель**  
Пензенский государственный  
университет архитектуры  
и строительства

Главная редакция:  
А.М. Данилов (главный редактор)  
Г.Г. Болдырев, Е.В. Королев  
(заместители главного редактора)  
И.А. Гарькина (ответственный  
секретарь)

Адрес редакции:  
440028, г.Пенза, ул.Титова, 28, ПГУАС  
Тел/факс 8412 929501  
E-mail: regas@pguas.ru  
fmatem@pguas.ru  
www.pguas.ru/Наука/Издательская  
деятельность

Редакторы: С.В. Сватковская,  
В.С. Кулакова,  
М.А. Сухова

Дизайн обложки Е.Г. Лапшина

Компьютерная верстка:  
Н.А. Сазонова, Н.В. Кучина

Перевод О.В. Гринцова

Журнал зарегистрирован  
в Федеральной службе по надзору за  
соблюдением законодательства  
в сфере массовых коммуникаций  
и охране культурного наследия

Свидетельство о регистрации  
ПИ №ФС77-25956 от 13 октября 2006 г.

Подписной индекс:  
**36946** в каталоге Роспечати

Авторы опубликованных материалов  
несут ответственность за достоверность  
приведенных сведений, точность  
данных по цитируемой литературе и за  
использование в статьях данных, не  
подлежащих открытой публикации.  
Редакция может опубликовать статьи  
в порядке обсуждения, не разделяя  
точку зрения автора.

Подписано к печати 21.02.2011.  
Формат 60x84 1/8.  
Уч.-издл. 24,25. Тираж 500 экз. Первый завод 100.  
Заказ № 20.

Отпечатано в полиграфическом центре ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ  
АРХИТЕКТУРА  
И СТРОИТЕЛЬСТВО**  
1(10)/2011

**Содержание**

<b>Скачков Ю.П., Данилов А.М., Гарькина И.А.</b> МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ПАТТЕРН К РЕШЕНИЮ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ .....	4
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ.....	10
<b>Скачков Ю.П., Логанина В.И., Давыдова О.А.</b> САНАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ: СТРОИТЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ.....	10
<b>Овчаренков Э.А.</b> ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ.....	17
<b>Скачков Ю.П., Логанина В.И., Карпова О.В.</b> ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ С ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИКОЙ.....	23
<b>Калашников В.И., Скачков Ю.П., Ананьев С.В., Троянов И.Ю.</b> ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФИБРЫ ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ.....	27
<b>Романенко И.И., Калашников В.И., Петровнина И.Н., Пинт Э.М., Романенко М.И.</b> ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ .....	34
<b>Варенцов В.К., Кошев А.Н.</b> НАНОМАТЕРИАЛЫ: ЭЛЕКТРОДНАЯ ОБРАБОТКА И НАНЕСЕНИЕ НА ПОВЕРХНОСТЬ НАНОМАТЕРИАЛОВ МЕТАЛЛОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ .....	40
<b>Смирнов В.А., Данилов А.М., Королев Е.В., Круглова А.Н.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРКАСОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ: РАСЧЕТНАЯ СХЕМА И РЕАЛИЗАЦИЯ.....	45
<b>Низина Т.А., Зимин А.Н.</b> НАПОЛНЕННЫЕ ЭПОКСИУРЕТАНОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	53
<b>Никифоров Е.А., Убаськина Ю.А., Рябов Г.К., Фетюхина Е.Г.</b> УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ ДИАТОМИТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	60

© Авторы публикаций, 2011  
© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2011  
© ПГУАС, 2011

<b>Савченкова М.В., Колосков Д.Н., Бреховских В.В.</b> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ ОПАЛОВЫХ МАТРИЦ И НАНОКОМПОЗИТОВ ИЗ КУБИЧЕСКИХ УПАКОВОК ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОСФЕР .....	65	<b>Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Алексеева Т.В., Ширшин И.Б.</b> НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗРЕГАЕНТНОЙ ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ НЕФТЕПРОДУКТЫ .....	148
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ .....	72	<b>Береговой А.М., Береговой В.А., Мальцев А.В., Петрянина М.А.</b> ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ .....	153
<b>Овчинников И.И.</b> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЯВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИИ .....	72	АРХИТЕКТУРА .....	159
<b>Нежданов К.К., Жуков А.Н.</b> АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПРИЧИН ОБРУШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЯХ .....	80	<b>Лапшина Е.Г.</b> СИМВОЛ ГОРОДА: ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ ИСТОРИЧЕСКИХ, КУЛЬТУРНЫХ И АРХИТЕКТУРНЫХ ТРАДИЦИЙ .....	159
<b>Нежданов К.К., Лаштанкин А.С., Нежданов А.К.</b> АМОРТИЗИРУЮЩИЕ ПОДКРАНОВЫЕ БАЛКИ И ИХ ВЫНОСЛИВОСТЬ .....	85	<b>Вилкова А.С.</b> ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ АСПЕКТ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА .....	164
<b>Нежданов К.К., Клочков Е.В., Каледин К.И.</b> РАМНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДВУХПРОЛЕТНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ .....	93	<b>Королева Л.А., Королев А.А.</b> МЕЧЕТИ ПЕНЗЕНСКОГО РЕГИОНА: ИСТОРИЯ И АРХИТЕКТУРА .....	172
<b>Гусев Н.И., Кубасов Е.А.</b> КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ОБРАЗОВАНИЯ НАЛЕДИ НА КРЫШАХ .....	100	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ .....	179
<b>Карпова О.В., Пресняков А.В., Петрянина Л.Н.</b> К ВОПРОСУ О ТЕХНИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ .....	108	<b>Хрусталёв Б.Б., Горбунов В.Н., Акифьев И.В.</b> ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЗОНАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ .....	179
<b>Арискин М.В., Вдовин В.М.</b> УСТАНОВЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК НА КОЛЬЦЕВЫЕ КЛЕЕННЫЕ ШПОНКИ .....	113	ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ .....	185
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ .....	117	<b>Ли Н.Г.</b> ПРОБЛЕМЫ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В ХУДОЖЕСТВЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ .....	185
<b>Бакушев С.В.</b> УРАВНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ В НАПРЯЖЕНИЯХ .....	117	<i>К 25-летию начала «перестройки» в СССР</i> <b>Морозов С.Д.</b> ИСТОРИЧЕСКАЯ НАУКА В ЭПОХУ «ПЕРЕСТРОЙКИ» .....	190
<b>Посохин В.Н., Зиганшин А.М., Кареева Ю.Р.</b> ПЛОСКАЯ СТЕСНЕННАЯ СТРУЯ В ТУПИКЕ .....	124		
<b>Маклаков Д.В., Посохин В.Н., Кареева Ю.Р.</b> К РАСЧЕТУ ПЛОСКОЙ СТЕСНЕННОЙ СТРУИ В ТУПИКЕ .....	130		
<b>Посохин В.Н., Зиганшин А.М., Романов С.В.</b> ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ НАД ОБЪЕМНЫМ ЗАГЛУБЛЕННЫМ ПРОТЯЖЕННЫМ ТЕПЛОИСТОЧНИКОМ .....	135		
<b>Гришин Б.М., Андреев С.Ю., Бикунова М.В., Сафронов М.А., Савицкий Е.А.</b> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД .....	140		

# Contents

<b>Skachkov Y.P., Danilov A.M., Garkina I.A.</b> VARIATION OF THE PATTERN METHOD IN CONTEXT OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTIONAL PROBLEMS .....	4
BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS .....	10
<b>Skachkov Y.P., Loganina V.I., Davydova O.A.</b> BUILDINGS AND STRUCTURES REHABILITATION: BUILDING MORTARS* ....	110
<b>Ovcharenkov E.A.</b> THE POSSIBILITY TO USE INDUSTRIAL WASTES IN BUILDING INDUSTRY .....	17
<b>Skachkov Y.P., Loganina V.I., Karpova O.V.</b> BUILDING VERTICAL ENCLOSING DESIGNS WITH FOAM GLASS CERAMICS .....	23
<b>Kalashnikov V.I., Skachkov Y.P., Ananiev S.V., Trojanov I.Y.</b> GEOMETRICAL PARAMETERS OF FIBRE FOR HIGH STRENGTH CONCRETE .....	27
<b>Romanenko I.I., Kalashnikov V.I., Petrovnina I.N., Pint E.M., Romanenko M.I.</b> INFLUENCE OF THE FILLERS NATURE ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SLAG-ALKALI CONCRETE.....	35
<b>Varentsov V.K., Koshev A.N.</b> NANOMATERIALS: ELECTROCHEMICAL PROCESSING OF NANOMATERIALS AND ELECTRODEPOSITION ON THEIR SURFACE METALS AND THEIR COMPOUNDS .....	40
<b>Smirnov V.A., Danilov A.M., Korolev E.V., Kruglova A.N.</b> SIMULATION OF CONSTRUCTION COMPOSITES FRAMES: COMPUTATIONAL METHOD AND IMPLEMENTATION .....	45
<b>Nizina T.A., Zimin A.N.</b> FILLED EPOXYURETHANE COMPOSITE BUILDING MATERIALS .....	53
<b>Nikiforov E.A., Ubaskina Y.A., Rvabov G.K., Fetyuhina E.G.</b> REGARDING DIATOMITE SPECIAL STRUCTURE IN THE PRODUCTION OF FOAMGLASSCERAMIC THERMAL INSULATION PRODUCTS .....	60
<b>Savchenkova M.V., Koloskov D.N., Brekhovskikh V.V.</b> MATHEMATICAL MODELING OF OPTICAL FILTERS BASED ON OPAL MATRICES AND NANOCOMPOSITES FROM THE CUBIC PACKAGES OF DIELECTRIC NANOSPHERES..	65
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS.....	72
<b>Ovchinnikov I.I.</b> MODELING THE CORROSIVE CRACKS FORMATION PROCESS IN THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES ELEMENTS IN CONDITIONS OF CHLORIDE AGGRESSION.....	72
<b>Nezhdanov K.K., Zhukov A.N.</b> STATE AND REASONS OF STRUCTURES DAMAGES IN INDUSTRIAL BUILDINGS .....	80
<b>Nezhdanov K.K., Lashtankin A.S., Nezhdanov A.K.</b> DAMPING CRANE GIRDERS AND THEIR ENDURANCE .....	85
<b>Negdanov K.K., Klochkov E.V., Kaledin K.I.</b> FRAME DESIGNS OF TWO-FLYING INDUSTRIAL BUILDING .....	93
<b>Gusev N.I., Kubasov E.A.</b> CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF ELIMINATING ICEED ROOFS .....	100
<b>Karpova O.V., Presnyakov A.V., Petryanina L.N.</b> ON TECHNICAL REGULATION IN CONSTRUCTION .....	108
<b>Ariskin M.V., Vdovin V.M.</b> LIMIT LOADINGS FOR GLUED SHEARING RINGS.....	113
ENGINEERING SYSTEMS .....	117
<b>Bakushev S.V.</b> SOME EQUATIONS OF PHYSICALLY NONLINEAR THEORY OF ELASTICITY IN PRESSURE .....	117
<b>Posohin V.N., Ziganshin A.M., Kareeva J.R.</b> RESTRAINED FLAT JET IN A DEAD-END .....	124
<b>Maklakov D.V., Posohin V.N., Kareeva J.R.</b> TO CALCULATION OF RESTRAINED FLAT JET IN A DEAD-END .....	130
<b>Posohin V.N., Ziganshin A.M., Romanov S.V.</b> NUMERICAL RESEARCH OF CONVECTION ABOVE A VOLUMETRIC DEEPENED EXTENDED HEAT SOURCE .....	135
<b>Grishin B.M., Andreev S.Yu., Bikunova M.V., Safronov M.A., Savitsky E.A.</b> METHODS OF NATURAL WATERS COAGULATION TREATMENT PERFECTION..	140
<b>Andreev S.Y., Grishin B.M., Aleksejeva T.V., Shirshin I.B.</b> NEW TECHNOLOGY OF REAGENTLESS FLOATATION TREATMENT OF WASTE WATER CONTAINING OIL PRODUCTS.....	148
<b>Beregovoi A.M., Beregovoi V.A., Maltsev A.V., Petryanina M.A.</b> ENERGY SAVINGS IN BUILDINGS UNDER THE ACTION OF EXTREME CLIMATIC FACTORS .	153
ARCHITECTURE.....	159
<b>Lapshina E.G.</b> TOWN SYMBOL: CONTINUITY OF HISTORICAL, CULTURAL AND ARCHITECTURAL TRADITIONS .....	159
<b>Vilkova A.S.</b> MIXED-USE SHOPPING CENTER: TOWN PLANNING ASPECT.....	164
<b>Koroljova L.A., Koroljov A.A.</b> MOSQUES IN THE PENZA REGION: HISTORY AND ARCHITECTURE .....	172
ECONOMICS AND MANAGEMENT .....	179
<b>Khrustalev B.B., Gorbunov V.N., Akifyev I.V.</b> THE FORMATION OF DEVELOPMENT STRATEGY FOR ENTERPRISES IN ACTIVITY ZONES OF REGIONAL BUILDING COMPLEX OF PENZA REGION .....	18079
PROFESSIONAL TRAINING IN A TECHNICAL HIGHER EDUCATION ESTABLISHMENT .....	185
<b>Lee N.G.</b> PROBLEMS OF THE PEDAGOGICAL PERSONNEL IN ART EDUCATION.....	185
<i>By the 25 year of beginning of «perestroika» in the USSR GREAT</i>	
<b>Morozov S.D.</b> HISTORY IN THE PERIOD OF «PERESTROIKA» HISTORY IN THE PERIOD OF «PERESTROIKA».....	190

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Скачков Юрий Петрович,**

доктор технических наук, профессор,  
советник РААСН, ректор, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: rector@pguas.ru

**Данилов Александр Максимович,**

доктор технических наук, профессор,  
советник РААСН, зав. кафедрой  
«Математика и математическое  
моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Гарькина Ирина Александровна,**

доктор технических наук, доцент кафедры  
«Математика и математическое  
моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Skachkov Yury Petrovich,**

Doctor of Science, Professor, Adviser of the  
Russian Academy of Architectural and  
Building Science, rector, Professor of the  
department «Building Structures»  
E-mail: rector@pguas.ru

**Danilov Alexander Maksimovich,**

Doctor of Science. Professor. Adviser of the  
Russian Academy of Architectural and  
Building Science.  
Head of the department «Mathematics and  
Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Garkina Irina Aleksandrovna,**

Doctor of Science.  
Associate Professor of the department  
«Mathematics and Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

## МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДА ПАТТЕРН К РЕШЕНИЮ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ\*

Ю.П. Скачков, А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Рассматривается модификация метода ПАТТЕРН, адаптированная к решению архитектурно-строительных задач (проектирование зданий и сооружений, разработка строительных материалов и др.). Приводятся этапы и алгоритм синтеза сложных систем.

*Ключевые слова: сложные системы, синтез сложных систем, архитектурно-строительные задачи, методы решения, модификация метода ПАТТЕРН.*

## VARIATION OF THE PATTERN METHOD IN CONTEXT OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTIONAL PROBLEMS

Y.P. Skachkov, A.M. Danilov, I.A. Garkina \*

Variation of the PATTERN method is considered in the present work. Such variation is adapted to the solution of different problems in architecture and construction – design of buildings, development of building materials. The primary stages and analysis process as a whole are examined.

*Keywords: complex systems, synthesis of complex systems, architectural and constructional problems, methods of solution, variation of PATTERN method.*

Метод ПАТТЕРН (Planning Assistance Through Technical Relevance Number, англ. – помощь планированию посредством относительных показателей технической оценки) был разработан в 1963 г. по заданию Министерства обороны США для решения задач планирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в условиях неопределенности.

Предусматривалось выделение в сложной противоречивой системе функциональных подсистем на основе четкой формулировки целей по уровням. Количество целей не ограничивалось, но предполагалась их детализация с указанием взаимосвязей.

\* Работа выполнялась в соответствии с заказом Минобрнауки России по теме «Физико-химические основы синтеза тонкодисперсных наполнителей на основе гидросиликатов для композиционных строительных материалов. Разработка составов, технологии».

Использовался принцип деления сложной проблемы на более мелкие с использованием результатов количественной экспертной оценки каждой из подпроблем, исходя из различных критериев. Метод в основном предназначался для прогноза, насколько сформулированные цели могут быть достигнуты.

Определялись перечень конечных целей, суммарные веса целей (показатели научно-технической значимости; суммы коэффициентов относительной важности для каждого уровня иерархии принимались равными единице). На заключительном этапе осуществлялось рациональное распределение ресурсов в соответствии со значением этих коэффициентов. В методе ПАТТЕРН для разработки сложной системы (плана научно-исследовательских работ) впервые использовался **системный подход**.

Системный подход позволяет уменьшить или даже исключить неопределенность, свойственную решаемой проблеме, реконструировать ее в моделях, отвечающих целям исследования; выявлять объекты, свойства и связи исследуемой системы с учетом того, что последняя и внешняя среда влияют друг на друга.

Для повышения степени обоснованности принимаемого решения, выбора варианта из числа альтернативных (с указанием оптимальных) использовались модели, отражающие все те факторы и взаимосвязи реальной ситуации, которые могли проявиться в процессе осуществления решения.

Метод позволил определить классы критериев оценки относительной важности, взаимную полезность, состояние и сроки выполнения научно-исследовательских работ, а также *необходимость разумного баланса между внутренней логикой науки и ее практической значимостью (его нарушение приводит к безразличию общества к науке или потере перспективы в фундаментальных исследованиях)*.

В нашей стране такие работы начались в рамках Министерства электротехнической промышленности СССР с учетом опыта США. Цель развития, основные направления деятельности министерства, области научных и практических интересов и т.д. отражались в дереве целей (напоминало дерево целей системы ПАТТЕРН; правда, техника работы с оценками относительной важности незначительно отличалась). Несколько позднее была разработана специальная модификация методики ПАТТЕРН, которая успешно использовалась при разработке уникальных внеатмосферных астрофизических комплексов [1].

В соответствии с методикой ПАТТЕРН сложные иерархические структуры можно рассматривать и как набор определенным образом типологизированных элементов и связей между ними (многоуровневое представление структур). Переход с одного уровня на другой осуществляется путем выделения определенных подструктур, которые, в свою очередь, можно рассматривать в качестве *макроскопических* элементов, связанных между собой более простым и понятным образом. Элементы более низкого уровня могут рассматриваться как *микроскопические*. Тогда система при ее проектировании конфигурируется с использованием так называемых *паттернов* (англ. *pattern* — образец, пример, принцип; *не путать* с методикой ПАТТЕРН!). Паттерн можно рассматривать как некое удачное типовое решение проблемы или как систематически повторяющийся фрагмент или последовательность элементов системы (широко применяется при создании программного обеспечения). В общем случае *паттерн-проектирование представляет собой формализованное описание часто встречающейся задачи проектирования*. Важнейшим на начальном этапе при работе с паттернами является адекватное моделирование рассматриваемой предметной области. Низшим уровнем представления системы является описание ее в терминах классов (со своими атрибутами и операциями) и соответствующих им объектов, выступающих в качестве микроскопических элементов, и отношений между ними, играющих роль связей. Примером макроскопического элемента следующего уровня является системная архитектура, представляющая собой базовую подструктуру рассматриваемой системы. Высшим уровнем является интеграция отдельных систем, которые рассматриваются в качестве макроскопических элементов. Описание системы в терминах классов является низшим уровнем ее представления. При моделировании системы на уровне классов проводится дополнительная типологизация: описывается структура

---

системы в терминах микроскопических элементов и указывается, насколько система соответствует требуемому значению *функционала*.

Модель системы, построенная в терминах паттернов проектирования, является структурированным выделением *значимых* при решении поставленной задачи элементов и связей. Правильно сформулированный паттерн проектирования дает возможность *пользоваться* однажды удачно найденным решением *множественно*.

Очевидна возможность *использования метода ПАТТЕРН для решения различных архитектурно-строительных задач как сложных систем* [2] (проектирование зданий и сооружений, конструктивные и архитектурно-планировочные решения, разработка материалов с регулируемой структурой и свойствами и др.).

Многими авторами понятия «большая система» и «сложная система», несмотря на различия между ними, используются как синонимы. Понятие «большая система» широко использовалось в период становления системных исследований (особенно после появления книги [3] для того, чтобы подчеркнуть принципиальные особенности объектов и проблем, требующих применения системного подхода). Понятие «большая система» связывается с величиной системы, количеством элементов (даже относительно однородных), или в качестве признаков большой системы рассматривается наличие:

- иерархической структуры (сужается класс отображающих систему структур);
- больших потоков информации;
- большого числа алгоритмов ее переработки.

Одним из признаков рассматривается и эргатичность (трудноформализуемое взаимодействие технологических и человеческих факторов). Её другая особенность заключается в невозможности значительного уменьшения числа показателей без утраты качественной определенности системы (*без изменения ее свойств*). Иногда под большой системой рассматривают ту систему, которую невозможно исследовать иначе, как по подсистемам.

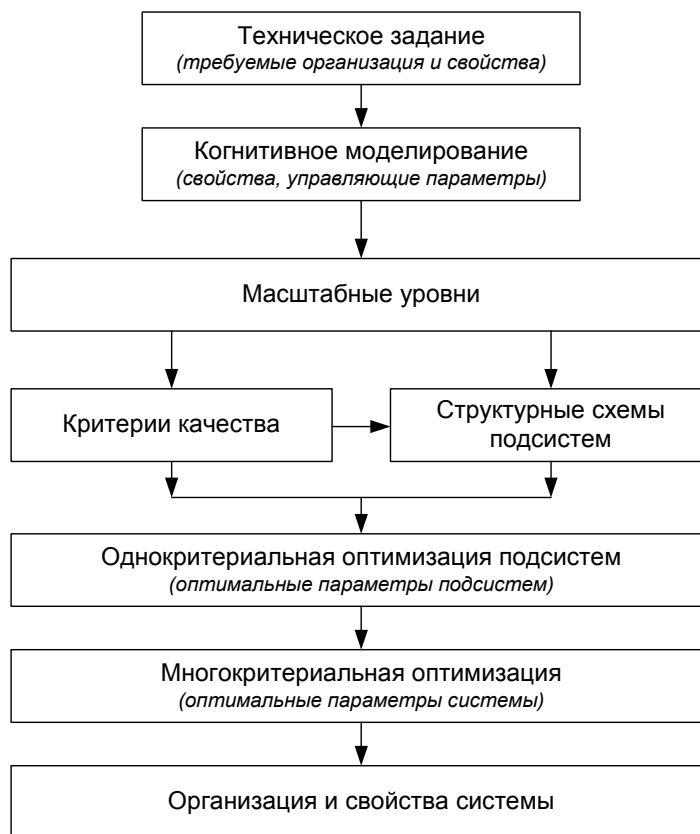
Сложная система определяется как составной объект, части которого также можно рассматривать как системы, закономерно объединённые в соответствии с определенными принципами в единое целое или связанные между собой заданными отношениями. Ее можно (*не обязательно единственным образом*) расчленить на конечное число частей (подсистем). Каждую подсистему (высшего уровня) можно, в свою очередь, расчленить на конечное число более мелких подсистем и т.д., вплоть до получения подсистем первого уровня (элементов, которые объективно не подлежат расчленению на части, либо относительно их дальнейшей неделимости имеется соответствующая договорённость). Свойства каждого из элементов в общем случае зависят от условий, определяемых поведением других элементов. Свойства сложной системы определяются не только свойствами элементов, но и характером взаимодействия между ними. Сложность системы проявляется в нелинейности, значительном числе степеней свободы, наличии «памяти» и других свойств, приводящих к слабой предсказуемости поведения системы. *Две системы с попарно одинаковыми элементами, но с различными взаимодействиями между ними должны рассматриваться как две разные системы.*

*Основное различие между большой и сложной системами заключается в характере их моделирования: большая система может быть описана на одном языке, с помощью единого метода моделирования, хотя и по частям, по подсистемам; модели же подсистем сложных систем разрабатываются и изучаются в рамках различных дисциплин (системный подход требует междисциплинарных исследований).* В частности, формирование основных физико-механических характеристик композиционных материалов может изучаться на основе методов ретроспективной идентификации динамических систем [4]. Определение *условий флокуляции в дисперсной системе* возможно на основе ее представления как системы частиц, движущихся под действием сил гравитационного и парного взаимодействий, взаимодействия с границами и дисперсионной средой [5]. Эффективный *подбор вида и количества модифицирующей добавки*, например, для получения серного связующего с высокими показателями

прочности и стойкости радиационно-защитного композита в различных агрессивных средах возможен на основе изучения влияния модификатора на свойства серы [6]. *Польза системного подхода зависит от того, насколько успешно выделен системообразующий фактор и насколько полно установлено его значение для формирования системы. Полезными будут лишь те математические выкладки, которые сформулированы с учетом важных системообразующих факторов.*

Таким образом, систему следует рассматривать как комплекс избирательно вовлеченных компонентов, у которых взаимодействие и взаимоотношения принимают характер взаимодействия компонентов на получение полезного результата. Системный подход позволяет разобраться в связях между отдельными фактами и на более высоком уровне осуществлять исследования. Теоретическое значение системного подхода состоит в определении общих закономерностей, изоморфных для различных классов (или явлений). Наиболее важным критерием изоморфности, естественно, является *изоморфность системообразующего фактора.*

Предлагаемую *модификацию методики ПАТТЕРН* можно рассматривать как одну из возможных методологий проектирования систем (в том числе строительных конструкций, материалов и др.). В ее основе – *общая формулировка технического задания на проектирование* (см. рисунок). Наблюдаемое в настоящее время *усложнение решаемых задач* приводит к увеличению сложности и стоимости проектирования; возрастают трудоемкость изготовления и время полного цикла создания. В частности, композиционные материалы нового поколения существенно отличаются от уже известных, традиционных, даже от их предшественников десяти-, двадцатилетней давности.



Синтез сложной системы

*Цель проектирования* остается прежней, но меняются подход и методология проектирования: *разработка (синтез) проекта осуществляется методом моделирования* (разработка частных моделей для описания отдельных свойств системы). *Множество взаимосвязанных моделей будет с необходимой точностью описывать систему, отражая всю совокупность ее свойств.*

---

*Качественный анализ системы* осуществляется методом экспертных оценок. По его результатам строится *когнитивная карта* (структурная схема причинно-следственных связей; в математике – знаковый взвешенный ориентированный граф (*орграф*; [7])).

Результаты когнитивного моделирования играют определяющую роль при составлении *иерархических структур критериев качества* сложной системы. Последние служат *основой всего комплекса разработок*.

С использованием результатов когнитивного моделирования и принципа *моделируемости* сложная система представляется как *конечное множество моделей, отражающих определенную грань сущности системы*. Каждое из свойств исследуется с использованием одной или нескольких упрощенных (узкоориентированных) моделей.

Наращивая множество упрощенных моделей, можно выявить новые свойства и без построения обобщающей модели. Тогда *сложная система определяется как взаимодействие упрощенных моделей*. Модель всегда проще самой системы, так как она ориентируется на определенную группу ее свойств. *Создание полной модели практически невозможно, ибо она будет столь же сложной, как сама система* (с этим связано большинство проблем имитационного моделирования, подготовки операторов эргатических систем с использованием технических средств обучения).

*Качество сложной системы как целого* в общем случае определяется *векторным критерием*, а приближенно, исходя из *принципа целенаправленности*, – некоторым *обобщенным функционалом*.

*Качество подсистем* определяется *частными критериями*. Последние не должны противоречить критерию качества всей системы (соблюдение *организмического принципа* [8]).

*Балльная оценка как систем, так и подсистем* может производиться, в частности, на основе *областей равных оценок*, построенных по *разработанным функционалам качества*, характеризующим *каждое из свойств системы* [4].

Естественно, во многих случаях возникает необходимость разработки специальных методов идентификации, функционалов качества и обработки экспериментальных данных [1, 4, 5]. В силу некорректности обратных задач при определении неизвестных параметров должно производиться сравнение значений функциональных и структурных характеристик сложных систем, устанавливаемых экспериментально и в результате моделирования. Результаты сравнения можно использовать для *определения поправок к первоначальным значениям параметров с целью обеспечения требуемой точности оценки* неизвестных параметров методом последовательных приближений.

Таким образом, *проектирование сложной системы* фактически сводится к *построению ее обобщающей модели*: реализация проекта системы осуществляется с учетом частных, взаимосвязанных, взаимообусловленных моделей. Проект представляет собой ряд зависимостей между целями проектирования, возможными целями их достижения, окружающей средой и ресурсами. Его можно рассматривать и как сложную модель, отражающую все интересующие свойства *будущей реальной системы*.

*Выбор некоторого проектного решения* из возможных альтернативных вариантов (*средство достижения целей проектирования*) осуществляется на основе некоторого показателя (*критерия выбора*), *обобщенно* характеризующего степень достижения поставленной цели тем или иным вариантом проекта. На этом этапе система рассматривается как совокупность взаимосвязанных, управляемых подсистем, *объединенных общей целью* функционирования для решения заданной проблемы в некотором *диапазоне условий*. При выборе рационального варианта и оптимизации его параметров *желательно учесть* показатель «*эффективность – стоимость*» (соотношение между эффективностью решения поставленной задачи и суммарными затратами на решение: обеспечение максимальной эффективности при заданных затратах или обеспечение минимальной стоимости при заданном уровне эффективности). При решении некоторых специальных задач, в том числе в интересах обороны страны, этот показатель иногда, по существу, и не учитывается.

При проектировании системы с длительным периодом эксплуатации следует учитывать не только сегодняшнее состояние среды, но и прогнозируемые изменения



---

(долговечность): на систему влияют любые *изменения внешней среды*, а свойства внешней среды изменяются в результате работы системы.

Наконец, так как изменения параметров любого из компонентов сложной системы вызывают изменение работы всей системы и ее выходных параметров, то необходимо предусмотреть и *возможные отказы (нарушение работоспособности)* подсистем, а также обеспечить передачу функций одной подсистемы другой (в настоящее время широко используется при строительстве высотных зданий, стадионов и т.д.). Для этого можно предусмотреть *резервирование подсистем* (простейший случай – дублирование).

Естественно, отсутствие *абсолютной уверенности* в прогнозировании функционирования проектируемой системы приводит к необходимости предусмотреть возможность ее различных *модификаций*.

Таким образом, предлагаемая модификация метода ПАТТЕРН позволяет осуществлять проектирование *сложной системы с системных позиций* (проектирование части целого как элемента целого; критерием оценки является обобщенный показатель, обеспечивающий оптимальность всей системы в принятом смысле). Эффективность ее использования подтвердилась при разработке ряда сложных систем [2, 4, 7].

### Список литературы

1. Данилов, А.М. Динамика и управление внеатмосферными астрономическими обсерваториями [Текст] / А.М. Данилов, Л.З. Дулькин, А.С. Земляков, В.М. Матросов, В.А. Стрежнев // Управление в пространстве. Т.1. – М.: Наука, 1976. – С.153–171.
2. Гарькина, И.А. Строительные материалы как системы [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Строительные материалы. – 2006. – № 7. – С.55–58.
3. Гуд, Г.Х. Системотехника: Введение в проектирование больших систем [Текст] / Г.Х. Гуд, Р.З. Макол. – М.: Советское радио, 1962. – 383 с.
4. Гарькина, И.А. Управление качеством материалов со специальными свойствами [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Проблемы управления. – 2008. – № 6. – С. 67–74.
5. Гарькина, И.А. Флокуляция в дисперсных системах [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, В.А. Смирнов // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 2.3(32). – С.344–347.
6. Гарькина, И.А. Модификаторы для серных композитов специального назначения [Текст] / И.А. Гарькина // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2008. – № 5. Т.51 – С.70–75.
7. Гарькина, И.А. Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Известия вузов. Строительство. – 2009. – №3/4. – С.30–37.
8. Таран, В.А. Эргатические системы управления: Оценка качества эргатических процессов [Текст] / В.А. Таран. – М.: Машиностроение, 1976. – 186 с.

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

## BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.175.746

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Скачков Юрий Петрович,**  
доктор технических наук, профессор,  
советник РААСН, ректор, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: rector@pguas.ru

**Логанина Валентина Ивановна,**  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Стандартизация,  
сертификация и аудит качества»  
Тел.: (8412)92-94-78  
E-mail: \_oda@mail.ru

**Давыдова Ольга Александровна,**  
аспирант кафедры «Стандартизация,  
сертификация и аудит качества»  
Тел.: (8412)92-94-78  
E-mail: \_oda@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Skachkov Yury Petrovich,**  
Doctor of Science, Professor, Adviser of the  
Russian Academy of Architectural and  
Building Science, rector, Professor of the  
department «Building Structures»  
E-mail: rector@pguas.ru

**Loganina Valentina Ivanovna,**  
Doctor of Science. Professor. Head of the  
department «Standardization, Certification  
and Quality Auditing»  
Tel.: (8412)92-94-78  
E-mail: \_oda@mail.ru

**Davydova Olga Aleksandrovna,**  
Postgraduate of the department  
«Standardization, Certification and Quality  
Auditing»  
Tel.: (8412)92-94-78  
E-mail: \_oda@mail.ru.

## САНАЦИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ: СТРОИТЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ\*

Ю.П. Скачков, В.И. Логанина, О.А. Давыдова

Рассматривается возможность повышения качества строительных известковых отделочных составов за счет применения золь-гель технологии. Приведены сведения о влиянии добавки золя ортокремниевой кислоты на деформации набухания и трещиностойкость известковых составов.

*Ключевые слова: санация зданий и сооружений, строительные известковые составы.*

\* Работа выполнялась в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (госконтракт с Федеральным агентством по образованию РФ № П1456).

## BUILDINGS AND STRUCTURES REHABILITATION: BUILDING MORTARS\*

Y.P. Skachkov, V.I. Loganina, O.A. Davydova

The opportunity of improve the quality of lime finishing building mortars using sol-gel method is considered. Data on sol orthosilicon acid additive influence on swelling deformations and crack resistance of lime structures are presented.

*Keywords: lime structures, rehabilitation of buildings and constructions.*

Традиционными материалами, на протяжении многих лет применяющимися для восстановления памятников архитектуры, а также санаций зданий в районах исторической застройки, являются известковые составы. Расширение номенклатуры известковых составов, приготовленных на основе отечественных сырьевых материалов, является важной технической задачей, способствующей сокращению продолжительности работ, улучшению качества и снижению себестоимости строительства.

В настоящее время при проведении реставрационных работ для отделки применяют в основном известковые составы, поставляемые зарубежными фирмами «Tikkurila», «SaraGol» и др., что удорожает стоимость работ и делает их зависимыми от импортных поставок.

Для повышения срока службы известковых покрытий в рецептуру краски вводят тонкомолотые минеральные добавки, однако измельчение добавок до высокой степени дисперсности вызывает увеличение энергозатрат и не приводит к желаемым результатам. Стойкость известковых композиций может быть достигнута использованием высокоэффективных добавок в виде дисперсных систем – золь кремниевой кислоты, размеры дисперсной фазы которых составляют несколько нанометров. Однако развитие производства известковых составов с применением кремнезоля сдерживается из-за неизученности влияния таких добавок на процессы твердения и физико-механические свойства композиций.

При введении в известковую композицию золя кремниевой кислоты формируется термодинамически устойчивая мелкокристаллическая структура известкового камня посредством образования центров кристаллизации, состоящих из продуктов химического взаимодействия наноразмерных частиц кремнезема с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а также вследствие их адсорбции на границе раздела фаз, обеспечивающей блокирование роста и перекристаллизации кристаллов извести.

Для получения кремнезоля применяли раствор натриевого жидкого стекла  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  с плотностью  $1056 \text{ кг/м}^3$  по ГОСТ 13078–81, который пропускали через катионитовую колонку. Добавку золя кремниевой кислоты с pH 4,5–5,0 вводили вместе с водой затворения в растворную смесь, отношение известь: золь = И:З составляло 1:0,25; 1:0,5; 1:1 [1].

Для определения теплоты смачивания применялся сосуд Дьюара. Количество теплоты рассчитывалось по формуле

$$Q = \frac{c\Delta t m_{\text{н}}}{m}, \quad (1)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость,  $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ ;  $\Delta t$  – изменение температуры,  $^\circ\text{C}$ ;  $m_{\text{н}}$  – масса навески,  $\text{кг}$ ;  $m$  – масса извести,  $\text{кг}$ .

Значения работы жидкости к извести рассчитывали по формуле [2]:

$$A = \sigma (1 - \cos \theta). \quad (2)$$

При разработке рецептуры известковых составов в качестве декоративного наполнителя применялся цветной песок Нижне-аблязовского месторождения (Пензенская область, Кузнецкий район). Наполнитель представляет собой суглинок (смесь песка и глины), имеющий красно-коричневый цвет. Отделочные слои на основе известковых

составов с применением цветного наполнителя в зависимости от его крупности имеют цвета от терракотового до бежевого.

Соотношение компонентов известь:песок варьировалось от 2 до 4. Составы приготавливались на молотом песке с удельной поверхностью  $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ , а также на песке фракции 0,16–0,315 мм. Удельная поверхность гашеной извести составляла  $S_{уд} = 559 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Для оценки физико-химического взаимодействия извести с золей кремниевой кислоты была рассчитана работа адгезии золя к извести и теплота смачивания.

Установлено, что краевой угол смачивания известковой подложки золей кремниевой кислоты составляет  $58^\circ$ , а водой –  $53^\circ$ , поверхностное натяжение золя практически не отличается от значения поверхностного натяжения воды и составляет  $0,0698 \text{ Дж}/\text{м}^2$ . Результаты расчета показывают, что работа адгезии воды к извести составляет  $0,0289 \text{ Дж}/\text{м}^2$ , а золя кремниевой кислоты –  $0,0328 \text{ Дж}/\text{м}^2$ , что обуславливает лучшие условия взаимодействия золя с известью.

Результаты расчета показали, что количество удельной теплоты  $Q$ , выделившейся при смачивании извести золей кремниевой кислоты, составило  $15,0 \text{ кДж}/\text{кг}$ , а при смачивании извести водой –  $10,6 \text{ кДж}/\text{кг}$ .

Более высокие значения теплоты смачивания, на наш взгляд, обусловлены дополнительно выделившейся теплотой вследствие химического взаимодействия извести с золей.

При оценке структуры покрытий (рис. 1) на основе красочного состава с добавкой золя кремниевой кислоты (см. рис.1,б) установлено наличие участков, характерных для гидросиликатов кальция, что согласуется с данными рентгенофазового анализа (РФА).

При анализе структуры покрытий на основе контрольного состава (см. рис. 1, а) и на основе состава с добавкой золя кремниевой кислоты (см. рис. 1, б) было выявлено, что в случае (б) кристаллы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  имеют меньшие размеры, чем в случае (а). У покрытия на основе состава с золей кремниевой кислоты его цвет становится более насыщенным по сравнению с покрытием на основе контрольного состава.

Методом РФА установлено, что фазовый состав образца известково-песчаного состава представлен известью и кальцитом. Идентифицируются линии, соответствующие  $\beta$ -кварцу и каолиниту. Гидрослода, гетит, гематит присутствуют в небольших количествах, очевидно, как примесь к суглинку.

Анализ фазового состава образца известково-песчаного состава с добавкой золя кремниевой кислоты показал, что присутствуют минералы, характерные для контрольного состава, однако идентифицируются линии, соответствующие гидратным фазам, близким по химическому составу к гидросиликату кальция С-S-H (II), и свидетельствующие о взаимодействии извести с золей кремниевой кислоты. Интенсивность пиков, указывающих на содержание гашеной извести, снижается по сравнению с контрольным составом.

Установлено, что при введении добавки золя в известковую смесь наблюдается ускорение набора пластической прочности. Так, спустя 16 ч после затворения пластическая прочность состава с добавкой золя кремниевой кислоты (отношение И:З = 1:1) составила  $0,0010 \text{ МПа}$ , а у контрольного состава –  $0,0002 \text{ МПа}$ .

С целью ускорения набора прочности и повышения ряда физико-механических свойств отделочных покрытий на основе известковых составов предложено вводить в их рецептуру комплексную модифицирующую добавку, представляющую собой стабилизированный золь кремниевой кислоты и сульфат алюминия.

Установлено, что отделочные слои на основе известковых составов с применением золя кремниевой кислоты характеризуются пониженными деформациями набухания – усадки (рис. 2, 3). Стабилизация деформаций набухания покрытий на основе состава с применением молотого суглинка с добавкой кремнезоля наступает на 9 сут, а контрольного состава (без добавки золя) – на 15 сут. Снижение деформаций набухания состава с добавкой кремнезоля составляет 38 %. Для состава на песке фракции 0,16–0,315 мм с добавкой золя кремниевой кислоты снижение деформаций набухания составляет 13 %. Установлено уменьшение деформаций набухания известковых составов с комплексной модифицирующей добавкой до 50 % в зависимости от гранулометрического состава суглинка.

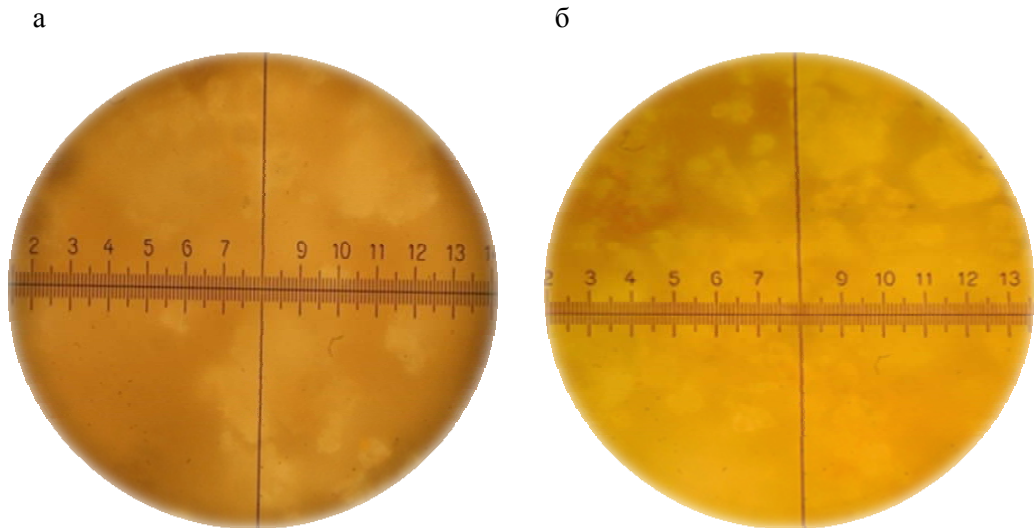


Рис. 1. Микрофотографии поверхности излома покрытий на основе контрольного состава (а) и состава с добавкой золя кремниевой кислоты,  $\times 1000$  (б)

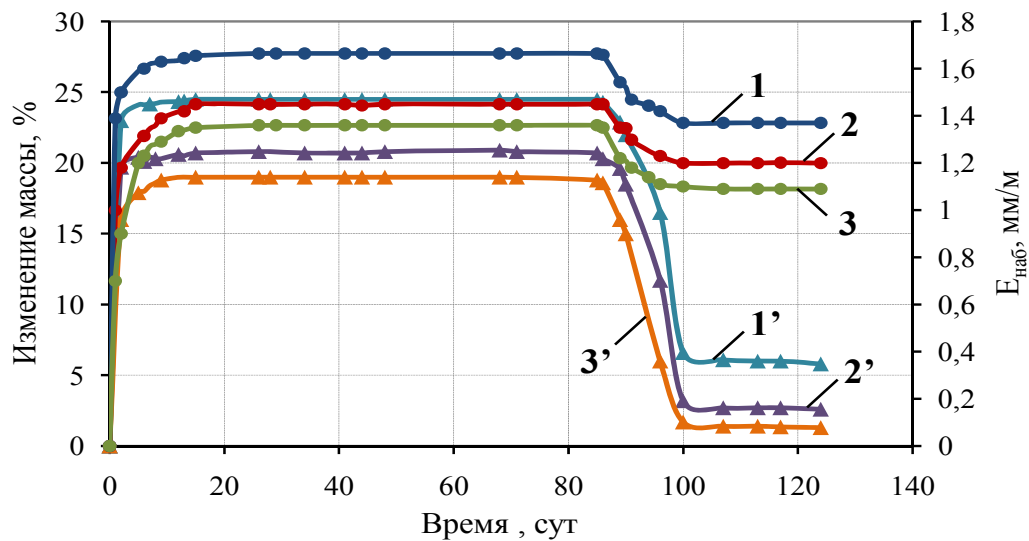


Рис. 2. Влияние добавки золя кремниевой кислоты на деформации набухания – усадки (1–3) и изменение массы (1'–3') декоративно-штукатурных составов:

- 1, 1' – без добавок; 2, 2' – с добавкой кремнезоля;  
3, 3' – с комплексной модифицирующей добавкой

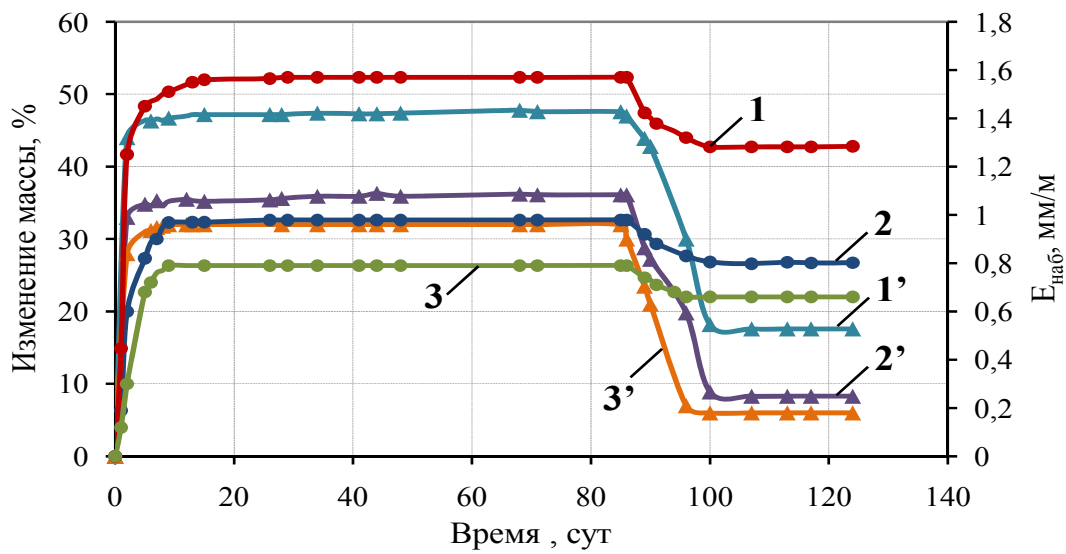


Рис. 3. Влияние добавки золя кремниевой кислоты на деформации набухания – усадки (1–3) и изменение массы (1'–3') красочных составов:  
 1, 1' – без добавок; 2, 2' – с добавкой кремнезоля;  
 3, 3' – с комплексной модифицирующей добавкой

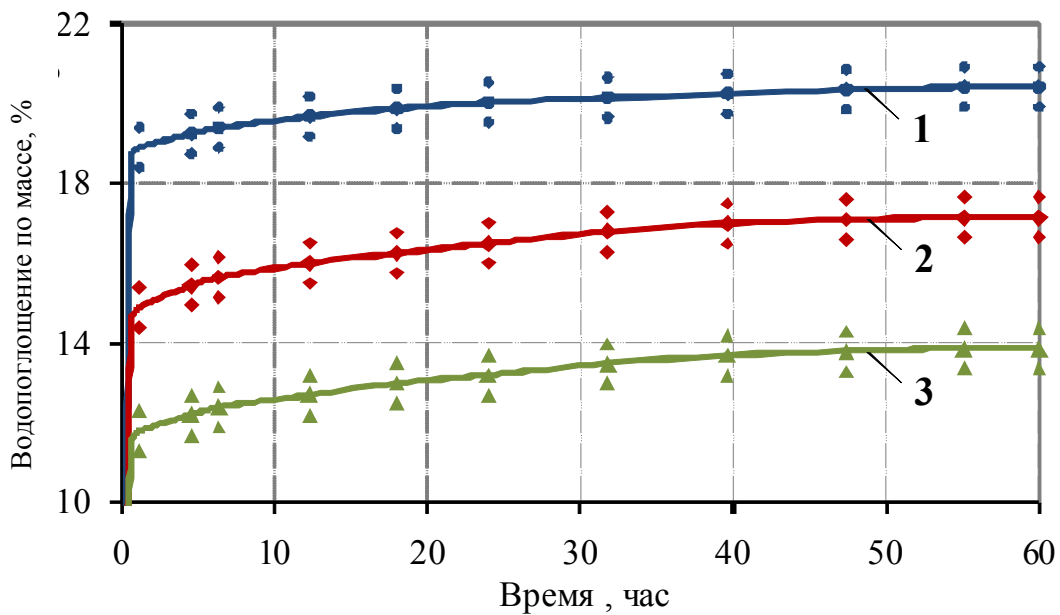


Рис. 4. Кинетика водопоглощения отделочных составов:  
 1 – контрольный состав (И:П=1:3, В/И=1,2, фракция песка 0,16...0,315 мм);  
 2 – то же, 2 %-й золь кремниевой кислоты в рецептуре состава;  
 3 – то же, поверхность обработана 2 %-м кремнезолом

При высыхании наибольшее значение усадочных деформаций характерно для контрольного состава на песке фракции 0,16–0,315 мм в возрасте 125 сут. Установлено уменьшение деформаций усадки известковых составов с комплексной модифицирующей добавкой до 46 % в зависимости от гранулометрического состава суглинка.

Установлено, что в течение первого часа у всех образцов отмечалось интенсивное водопоглощение (рис. 4). В последующем, поглощение воды замедлялось. Вследствие насыщения образцов водой происходила стабилизация показателей водопоглощения в возрасте 40 ч у образцов, содержащих в составе золь кремниевой кислоты, и образцов, поверхность которых обработана 2 %-м золев. У контрольных образцов (песок фракции 0,16–0,315 мм, без добавки) стабилизацию значений водопоглощения наблюдали в возрасте 55 ч. Введение в рецептуру состава (И:З=1:1) 2 %-го золя кремниевой кислоты позволяет снизить водопоглощение на 16 %. При однократной обработке золев кремниевой кислоты поверхности образца на основе контрольного состава наблюдается уменьшение водопоглощения на 32 %. Увлажнение не вызывает видимых повреждений отделочного слоя, поверхность не пачкается, не наблюдаются растрескивание, пузыри.

#### Влияние рецептурных факторов на прочность известковых покрытий

Наименование состава	Предел прочности		Коэффициент трещиностойкости, $K_{тр}$
	при изгибе $R_{изг}$ , МПа	при сжатии $R_{сж}$ , МПа	
Состав И:П = 1:4.; В/И = 1,2, песок	0,38±0,024	0,81±0,052	0,47
Состав И:З:П = 1:1:4, В/И = 1,2, песок, 2 %-й кремнезоль	0,81±0,052	1,54±0,099	0,53
Состав И:З:П = 1:1:4, В/И = 1,2, песок, 2 %-й кремнезоль+ стабилизатор желатин	0,71±0,045	1,45±0,093	0,49
Состав И:З:П = 1:1:4, В/И = 1,2, песок, 2 %-й кремнезоль+ стабилизатор желатин + добавка $Al_2(SO_4)_3$	1,05±0,067	1,68±0,108	0,63
Состав И:П = 1:4, В/И = 1,2, песок, добавка $Ricem$	0,48±0,031	0,86±0,055	0,60
Состав И:Н = 1:2, суглинок, В/И = 2	0,36±0,023	0,76±0,049	0,47
Состав И:Н = 1:3, суглинок, В/И = 2	0,42±0,027	0,85±0,054	0,49
Состав И:Н = 1:4, суглинок, В/И = 2	0,44±0,028	0,95±0,061	0,46
Состав И:З:Н = 1:1:3, суглинок, В/И = 2, 2 %-й кремнезоль	0,93±0,060	1,70±0,109	0,55
Состав И:З:Н = 1:1:3, суглинок, В/И = 2, 2 %-й золь + стабилизатор желатин + добавка $Al_2(SO_4)_3$	1,14±0,073	1,87±0,120	0,61
Состав И:З:Н = 1:1:3, суглинок, В/И = 2, 4 %-й кремнезоль	1,07±0,068	1,98±0,127	0,54

Примечание. Значения доверительного интервала для значений прочности при сжатии и прочности на растяжение при изгибе указаны с надежностью 0,95.

Анализ экспериментальных данных (см. таблицу) свидетельствует, что наиболее трещиностойким является состав на основе немолотого песка фракции 0,16–0,315 мм состава И:П=1:4, В/И=1,2 с содержанием 2 %-го стабилизированного золя и добавки  $Al_2(SO_4)_3$ . Значение коэффициента трещиностойкости составляет  $K_{тр} = 0,63$ . Также наблюдается увеличение коэффициента трещиностойкости у состава И:Н=1:3, В/И=2 на

основе молотого суглинка ( $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) с содержанием 2 %-го стабилизированного золя и добавки  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Значение коэффициента трещиностойкости составляет  $K_{тр} = 0,61$ . Такие составы характеризуются значениями прочности при сжатии  $R_{сж} = 1,68$  и  $R_{сж} = 1,87$ , прочности на растяжение при изгибе  $R_{изг} = 1,05$  и  $R_{изг} = 1,14$  соответственно.

В заключение следует сделать вывод: отделочные слои на основе разработанного состава характеризуются декоративной выразительностью, хорошо совмещаются с поверхностью, ранее окрашенной известковой краской, имеют разнообразную цветовую гамму.

#### Список литературы

1. Куколев, Г.В. Химия кремния и физическая химия силикатов [Текст]: учебник / Г.В. Куколев. – М.: Высш. шк., 1966. – 464 с., ил.
2. Фролов, Ю.Г. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии [Текст]: учеб. пособие / Ю.Г. Фролов, А.С. Гродский. – М.: Химия, 1986. – 216 с., ил.



УДК 628.47.038:69

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Овчаренков Эдуард Августович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная экология». Адрес: 440005, г. Пенза 5, военный городок, д. 192, кв. 16 Тел.: (8412) 54-61-90 E-mail: ie@pguas.ru*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Ovcharenkov Edward Avgustovich**, Candidate of Sciences. Associate Professor of the department «Engineering ecology». Address: 440005, Penza 5, 192, Military camp, ap.16 Tel.: (8412) 54-61-90 E-mail: ie@pguas.ru

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Э.А. Овчаренков

На основе анализа отечественного и зарубежного опыта применения промышленных отходов предложено их использование в производстве строительных материалов.

*Ключевые слова: промышленные отходы, строительные материалы.*

## THE POSSIBILITY TO USE INDUSTRIAL WASTES IN BUILDING INDUSTRY

E.A. Ovcharenkov

The author analyses of domestic and foreign experience in industrial wastes use and suggests their use in building materials production.

*Keywords: industrial waste, construction materials.*

Использование строительных материалов и других неметаллических полезных ископаемых является важнейшим признаком и неотъемлемым атрибутом человеческой цивилизации.

В наше время в связи с бурным ростом численности жителей планеты в промышленно развитых странах возникла и развилась мощная строительная индустрия. Её продукция – города и дороги, стекло и керамика, её база – месторождения нерудного сырья. В этой связи в структуре промышленности ведущих стран мира добыча и использование неметаллических полезных ископаемых (и в первую очередь строительных материалов) играет огромную роль. Около 10 тыс. предприятий, производящих строительные материалы, расположены практически во всех регионах России.

В строительном комплексе важно решить не только проблему переработки собственными строительными отходами, но и проблему переработки отходов других отраслей, поскольку они являются источником дешёвого и качественного сырья. Промышленность строительных материалов является практически единственной, в достаточно широких масштабах, использующей отходы всевозможных производств.

В настоящее время в мире и в России отсутствует единый комплексный подход к проблеме переработки и использования вторичного сырья и отходов промышленности в строительстве. Эта проблема особенно актуальна не только для народного хозяйства, но и в плане сохранности окружающей среды.

Влияние строительного комплекса на состояние окружающей среды определяется значительными объёмами выбросов твёрдых и газообразных веществ в атмосферный

воздух на стадиях добычи сырья (открытым способом), при производстве цемента, асбестоцементных, железобетонных изделий и кровельно-изоляционных материалов.

В последние годы отмечается постепенный рост объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от предприятий, что вызвано наращиванием объемов производства. Основной объем выбросов приходится на долю производства нерудных материалов, цемента, кровельно-изоляционных материалов.

Данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу, об объемах использования воды и сброса сточных вод, использования отходов в промышленности строительных материалов за 2006 год приведены в таблице [1].

На 1259 предприятиях отрасли насчитывается 48 тыс. стационарных источников выбросов загрязняющих веществ, из которых только 56 % являются организованными источниками. В структуре выбросов в атмосферу преобладают твердые вещества (48 %), почти в 2 раза меньше (22 %) оксида углерода, на оксиды азота приходится 14 %. Помимо стационарных источников значительное влияние на состояние атмосферного воздуха оказывают залповые выбросы при производстве взрывных работ и добыче природного сырья открытым способом.

Особенно большие объемы отходов образуются в горно-обогатительной, металлургической, энергетической, машиностроительной, химической, лесной и деревообрабатывающей отраслях народного хозяйства.

В строительной индустрии накоплен значительный положительный опыт использования вторичных продуктов в производстве вяжущих материалов, плотных и пористых заполнителей для бетонов разных видов, в производстве керамических, автоклавных, теплоизоляционных и других строительных материалов и изделий, который, однако, не носит системный характер. Имеется опыт использования отходов металлургической промышленности. Общий объем утилизации шлаков черной металлургии составляет около 60 %, несколько лучше перерабатываются доменные шлаки – порядка 80 %. Вместе с тем использование вторичных продуктов промышленности развивается медленно, что приводит к скоплению этих отходов. Так, например, в отвалах металлургических предприятий Урала, Сибири и центральной части России скопилось более 450 млн т доменных сталеплавильных шлаков. Ежегодно в отвалы отправляется дополнительно более 30 млн т шлака.

Воздействие отходов промышленности строительных материалов на окружающую среду

Название	Ед. изм.	2006 г.
Выброшено вредных веществ, всего	тыс. т	474,0
в том числе: твердых веществ	тыс. т	227,8
жидких и газообразных веществ.	тыс. т	246,2
из них: диоксида серы	тыс. т	25,0
оксида углерода	тыс. т	103,0
оксидов азота	тыс. т	66,6
углеводородов (без ЛОС)	тыс. т	32,5
ЛОС	тыс. т	4,1
Уловлено и обезврежено отходов	%	93,7
Использовано воды, всего	млн м <sup>3</sup>	167,6
Объем оборотной и повторно-последовательно используемой воды	млн м <sup>3</sup>	661,6
Экономия свежей воды	%	84,0
Водоотведение в поверхностные водоемы, всего	млн м <sup>3</sup>	173,2
в том числе:		
загрязненных сточных вод	млн м <sup>3</sup>	108,5
нормативно-чистых	млн м <sup>3</sup>	58,7
нормативно-очищенных	млн м	6,0
Образовалось отходов	млн т	34,0
Использовано и обезврежено отходов	млн т	13,4

С высокой эффективностью шлаки могут быть использованы в качестве заполнителя для бетона вместо щебня, полученного из природного сырья. Удельные капиталъ-

ные вложения в производство литого шлакового щебня в 23 раза меньше, чем щебня из горных пород, шлаковой пемзы – в 1,52 раза меньше, чем керамзита, минераловатных изделий из огненно-жидких шлаков – в 1,6 раза меньше, чем соответствующих изделий из горных пород. В настоящее время в России слабо внедряются результаты прежних научных разработок в части использования отходов производств в строительстве и производстве строительных материалов, практически не ведутся новые исследования.

В то же время только в тепловой энергетике выход золошлаковых отходов ежегодно составляет около 90 млн т и хотя эти вторичные продукты отличаются непостоянным химическим и минеральным составом, золошлаковые отходы могут широко использоваться для изготовления многих строительных материалов, в том числе портландцемента.

Применение золошлаковых отходов ТЭС в бетонах и растворах дает большую экономию цемента, использование горелых шахтных пород в производстве глиняного кирпича не только улучшает его качество, но и снижает расход топлива на обжиг. Объектом особого внимания в целях сохранности окружающей среды являются техногенные продукты машиностроительного комплекса, стоки гальванических производств, представляющие собой в основном растворимые соли цинка, меди и других элементов, а также взвешенные частицы нерастворимых соединений и органических примесей. Огромное количество отходов гальванопроизводства ежедневно после нейтрализации направляются на захоронение, так как их переработка для отрасли обременительна. В то же время ионы тяжелых металлов (хрома, никеля, меди, кадмия, цинка и др.), попадая в окружающую среду, вредно влияют на всё живое, нарушают регуляцию процессов жизнедеятельности организмов. Проблема обезвреживания гальваноотходов в мировой практике не решена.

Неблагополучно обстоят дела с использованием отходов угледобычи. При разработке рудных и угольных месторождений ежегодный объем вскрышных пород достигает сотен миллионов кубометров, однако, их широкое использование в строительстве не организовано.

Существенным резервом увеличения производства и снижения себестоимости нерудных строительных материалов является использование отходов углеобогащения и горнорудной промышленности. До 90-х годов текущего столетия учеными и научными организациями России выполнен большой объем НИР по комплексному использованию вскрышных пород, отходов угле- и рудообогащения. Многие из работ доведены до опытно-промышленного применения, однако внедрение результатов научно-технических разработок в последние годы резко сократилось. Проблемой отходов промышленности занимаются не только в нашей стране, но и во всем мире. Промышленность строительных материалов является наиболее емкой отраслью из отраслей-потребителей промышленных отходов.

Это объясняется крупными масштабами производства строительных материалов. Многие отходы по своему составу и свойствам близки к природному сырью, используемому различными отраслями промышленности строительных материалов, однако значительно дешевле, чем добыча природного.

Методика исследования использования промышленных отходов в строительной индустрии состояла в выявлении отраслей – поставщиков отходов для строительной индустрии, в выявлении видов и анализе экологических свойств отходов, в рассмотрении принципов переработки отходов с учетом передовых технологий зарубежных стран и направлений их применения.

Проблема утилизации отходов в Российской Федерации ставит на повестку дня целый блок вопросов, решить которые можно только в совокупности, привлекая специалистов разного профиля: технологов по производству строительных материалов, медиков, экологов и экономистов. Для выбора оптимального научного решения по утилизации отходов необходимо иметь сведения о характеристике объекта, о составе и количестве отхода как сырьевого ресурса; видеть возможные направления использо-

вания, технические решения по принятому варианту, предполагать народнохозяйственный эффект в сферах производства и потребления.

Ещё в 80-х годах было принято решение об обязательном вводе в строй новых доменных печей только в комплексе с установками для переработки и подготовки шлаков к последующему использованию. Близ металлургических комбинатов построено 20 цементных заводов, вырабатывающих на базе металлургических шлаков отличный шлакопортландцемент [2].

Металлургические шлаки – необходимое сырьё для производства целого ряда материалов: цемента, щебня для строительства дорог, шлаковой пемзы, минеральной ваты и знаменитого своими свойствами шлакоситалла, идущего на изготовление особо прочных и химически стойких труб, панелей, электроизоляторов и электровакуумных приборов.

Лишь шестая часть всех древесных отходов перерабатывается на технологическую щепу для целлюлозно-бумажной промышленности и промышленности строительных материалов, в основном для древесно-стружечных плит (ДСП).

В связи с ужесточением экологических требований использование ДСП ограничено, так как для их изготовления применяют, как правило, токсичные связующие. В то же время ДСП обладают высокими техническими свойствами, и сужение области их применения создает определенный дефицит в материалах с аналогичными свойствами. Поэтому в последнее время особое внимание уделяется разработке строительных материалов на основе отходов деревообработки и экологически чистых вяжущих материалов. Таким материалом является магнезиальное вяжущее, затворенное бишофитом (хлористым магнием) [3].

Многообразные отходы целлюлозно-бумажной промышленности (скоп) в последнее время все чаще привлекают внимание исследователей и производителей. Имея в своем составе целлюлозу и каолин, эти отходы могут быть использованы для изготовления теплоизоляционных, отделочных и конструктивно-теплоизоляционных материалов и деталей.

Решение проблемы переработки и вторичного использования шин имеет важное экологическое и экономическое значение. Такие шины являются источником длительного загрязнения окружающей среды. После снятия их с эксплуатации они, как правило, скапливаются на территориях автохозяйств. Наибольшую опасность, особенно для городов, представляет неконтролируемое сжигание изношенных автопокрышек, поскольку при их горении в атмосферу выделяется целый ряд вредных веществ, а почвенный слой загрязняется токсичными жидкими продуктами сгорания.

По ориентировочным данным, в Москве и Московской области ежегодно выходит из эксплуатации около 50 тыс. т шин. Часть их них перерабатывается в резиновую крошку, которая применяется в различных отраслях промышленности.

Технология изготовления теплоизоляционного материала основывается на дозировке сырья, его перемешивании и формовании плит при небольшом уплотнении.

Применяемые технологические процессы переработки кожи характеризуются образованием значительного количества отходов (50 % исходного сырья), в том числе более 20 % – хромовой стружки. В целом по стране общее количество кожевенных отходов составляет более 400 тыс.т, из которых 100 тыс.т вывозятся в отвалы. Значительную часть кожевенных отходов составляют дубленые отходы – хромовая стружка, обрезь и кожевенная пыль.

В состав отходов входят также белок (70–75 % коллагена), соединения хрома (5–6 %), жиросодержащие вещества, красители, минеральные примеси.

К многотоннажным отходам относятся осадки и шламы, образующиеся при очистке сточных вод промышленных предприятий, в частности нефтешлам. Так, нефтешлам Войковских очистных сооружений (Москва), образующийся в результате очистки сточных вод, поступающих с расположенных рядом предприятий, приближенно можно отнести к очень мелким, сильнозагрязненным пескам.

После демеркуризации стеклянные трубки люминесцентных ламп остаются неиспользованными. Однако, если эти трубки подвергнуть измельчению, полученная

стеклянная крошка, наряду с песком, может служить наполнителем при изготовлении мелкоштучных блоков.

Технология изготовления блоков включает дозирование исходных компонентов, смешивание песка со стеклянной крошкой, цементом и водой, вибропрессование и выдержку в нормальных условиях.

В мировой практике применяются два основных принципа организации переработки тяжелых строительных отходов и некондиционной продукции стройиндустрии:

– переработка образовавшихся отходов на месте их возникновения (на стройплощадке);

– переработка отходов на специальных комплексах.

Первый вариант не позволяет применять высокопроизводительное оборудование, обеспечивающее получение чистого и фракционированного продукта. Кроме того, оно требует особых мер экологической защиты близлежащих жилых домов, исключает возможность непрерывной работы дробильной установки.

Второй вариант предусматривает дополнительные транспортные расходы на доставку отходов к месту переработки, которые компенсируются эффективной работой дробильно-сортировочного комплекса большой мощности, возможностью более глубокой переработки, отбором всех посторонних включений, возможностью организации постоянной логистики и маркетинга, относительно простым решением экологических проблем.

Например, в Германии в каждой земле существуют крупные перерабатывающие комплексы. Только в Берлине их более 20.

Как правило, комплекс состоит из нескольких участков.

Участок приема отходов, где осуществляются их складирование, предварительная сортировка и разделка негабаритных плит или обломков до размеров, которые способна пропустить дробилка. Этот участок обычно обслуживают экскаваторы с гидрокучачками. Участок подготовленного материала, где работают фронтальные погрузчики с емкостью ковша 4–5 м<sup>3</sup>, способные обеспечить непрерывную работу высокопроизводительной дробилки. Перерабатывающая установка включает приемный бункер, дробильный агрегат, магнитный сепаратор и сортировочный узел. На крупных перерабатывающих предприятиях в состав установки входят также дробилка вторичного дробления, более полный набор грохотов\*, система воздушной сепарации легких частиц (остатка утеплителя, обоев, линолеума и др.), а иногда и приспособление для мойки вторичного щебня. Склад готовой продукции может быть укомплектован поворотными конвейерами, отсыпными щебень разбитых фракций в конические отвалы, или автоматизированными силосными складами, где в силосах хранится щебень, распределяемый по фракциям и по прочности, откуда он автоматически отгружается заказчику в заданном процентном соотношении. Обычно комплексы оборудованы автомобильными весами для взвешивания поступающего материала и отпускаемой продукции. В качестве первичных дробильных агрегатов чаще всего используют щековые дробилки, а также роторные агрегаты ударно-отражательного действия, причем последние часто не требуют установки дробилки второй ступени. Работающие за рубежом комплексы не только выполняют важную экологическую и экономическую задачи государственного значения, но также являются высокорентабельными предприятиями. Их доходы складываются из платы за приемку материала на переработку (поставщик экономит транспортные расходы на доставку к месту свалки и плату за свалку) и доходов от продажи вторичного щебня, который дешевле природного и ему обеспечен сбыт. Производительность комплексов в зависимости от их комплектации и загрузки составляет 100–800 тыс. т в год [4].

Всего строительная индустрия спасает от списания в отходы около половины образующихся доменных шлаков. До 60 млн т накопленных в отвалах отходов зол, шлаков, отработанных катализаторов, гальвано-нефешламов могут быть использова-

\* Грохот – большое решето для просеивания измельченной руды, щебня, песка и других сыпучих материалов (толковый словарь русского языка).

ны в строительной индустрии, однако, на сегодняшний день этот вопрос не находит практического решения.

Изделия на основе древесных отходов и магнезиального вяжущего могут применяться для отделки стен и потолков, устройства полов, изготовления столярных изделий. Технология их изготовления проста и мало чем отличается от изготовления ДСП традиционным способом. Основное технологическое оборудование – пресс горячего прессования.

Для изготовления строительных материалов могут быть использованы кожевенные отходы в виде стружки. В качестве связующего были опробованы жидкое стекло, синтетические смолы, каучуковые латексы, белковые клеи, отходы полиэтилена. Жидкое стекло можно использовать лишь при небольших концентрациях, в противном случае происходит образование комков. Карбамидные смолы невозможно применять внутри помещений. Каучуковые латексы создают пленку на поверхности кожи. Использование белковых клеев и отходов полиэтилена дало положительный результат.

Применяя резиновую крошку, можно изготавливать теплоизоляционный материал. При совместном помоле шлама с цементом в шаровой мельнице образуется масса, из которой можно формировать плитки для полов промышленных предприятий и для мощения дорожек садовых участков.

Наиболее важным и перспективным направлением решения проблемы использования вторичных продуктов промышленности является их применение в строительстве и производстве строительных материалов. Долгое время использование скопа сдерживалось его высокой влажностью (до 96 %) и необходимостью больших энергозатрат при изготовлении строительных материалов. Теперь, благодаря разработанным методам сушки материалов токами высокой частоты, этот вопрос частично может быть решен. Многие отходы (древесные, стекольные, бумажные, резинотехнические, кожевенные, полимерные, люминесцентные лампы, гальваношламы, отработанные кислоты и щелочи) могут быть использованы в производстве строительных материалов.

Говоря о проблеме промышленных отходов, следует отметить, что на первом месте по приоритетности стоит проблема охраны окружающей природной среды и здоровья населения, а не те деньги, которые могли бы сэкономить предприятия, используя бесплатные производственные отходы вместо дорогого природного сырья.

#### Список литературы

1. О состоянии и охране окружающей среды РФ в 2004 году [Текст]: государственный доклад. – М.: МНР РФ, АНО «Центр международных проектов», 2005. – 439 с.
2. Кормилицын, В.И. Основы экологии [Текст] / В.И. Кормилицын, Цицкишвили, Ю.И. Яламов. – М.: Недра, 1997. – 265 с.
3. Нестеров, П.М. Охрана окружающей среды [Текст] / П.М. Нестеров, А.П. Нестеров. – СПб.: Высш. шк., 1997. – 280 с.
4. Новиков, Р.А. О механизме регулирования окружающей среды от загрязнения атмосферы строительными материалами [Текст] / Р.А. Новиков // Горный журнал. – 2002. – №3. – С.26–33.

УДК [691.618.93:691.42]:692.23

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Скачков Юрий Петрович,**

доктор технических наук, профессор, советник РААСН, ректор, профессор кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: rector@pguas.ru

**Логанина Валентина Ивановна,**

доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Стандартизация, сертификация и аудит качества»  
Тел.: (8412)92-94-78  
E-mail: \_oda@mail.ru

**Карпова Ольга Викторовна,**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Стандартизация, сертификация и аудит качества»

*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Skachkov Yury Petrovich,**

Doctor of Science, Professor, Adviser of the Russian Academy of Architectural and Building Science, rector, Professor of the department «Building Structures»  
E-mail: rector@pguas.ru

**Loganina Valentina Ivanovna,**

Doctor of Science. Professor. Head of the department «Standardization, Certification and Quality Auditing»  
Tel.: (8412)92-94-78  
E-mail: \_oda@mail.ru

**Karpova Olga Victorovna,**

Candidate of Sciences. Associate Professor of the department «Standardization, Certification and Quality Auditing»

## ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ С ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИКОЙ

Ю.П. Скачков, В.И. Логанина, О.В. Карпова

Приведены сведения о свойствах теплоизоляционных плит из пеностеклокерамики. Подобрана толщина утеплителя для различных вариантов конструктивных решений ограждающих конструкций в зависимости от района строительства. Рассмотрена возможность использования плит из пеностеклокерамики в качестве утеплителя вертикальных ограждающих конструкций.

*Ключевые слова: энергосбережение, утеплитель, сопротивление теплопередаче, многослойная ограждающая конструкция.*

## BUILDING VERTICAL ENCLOSING DESIGNS WITH FOAM GLASS CERAMICS

Y.P. Skachkov, V.I. Loganina, O.V. Karpova

Information on heat-insulation plates made of foam glass ceramics is given. The heater thickness for various enclosing designs depending on the region of construction is selected. The possibility to use plates made of foam glass ceramics as vertical enclosing designs heater is considered.

*Keywords: power savings, heater, resistance to heat transfer, multilayer enclosing designs.*

Энергосбережение при строительстве новых и реконструкции жилых, общественных и промышленных зданий в последнее время стало одной из самых актуальных задач. Рост цен на тепловую энергию и коммунальные услуги выдвигает на передний план жизненно важную задачу по повышению теплозащиты зданий для снижения затрат на отопление в процессе эксплуатации. Тепловой режим конструкции в числе других факторов определяется качеством теплоизоляционного слоя. ООО «Диатомовый комбинат» (г.Инза) предлагает в качестве теплоизоляционного слоя применять

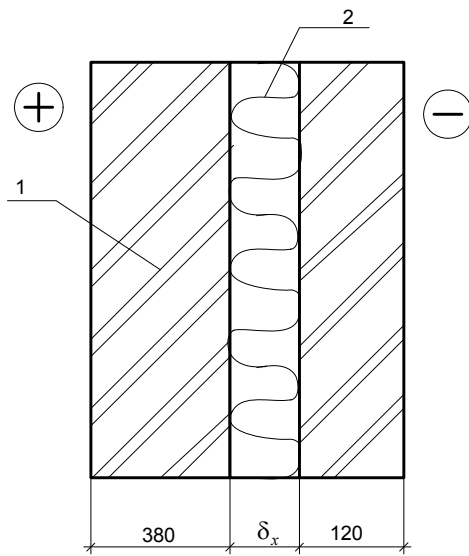
плиты из пеностеклокерамики, изготавливаемые с применением опалкристиобалитовых пород. Пеностеклокерамика имеет следующие характеристики:

- плотность 120-400 кг/м<sup>3</sup>;
- предел прочности при сжатии 0,6-2,5 МПа;
- теплопроводность 0,04-0,09 Вт/(м·°С);
- паропроницаемость 0,01 – 0,03 мг/(м·ч·Па);
- толщина – 0,05 – 0,11 м.

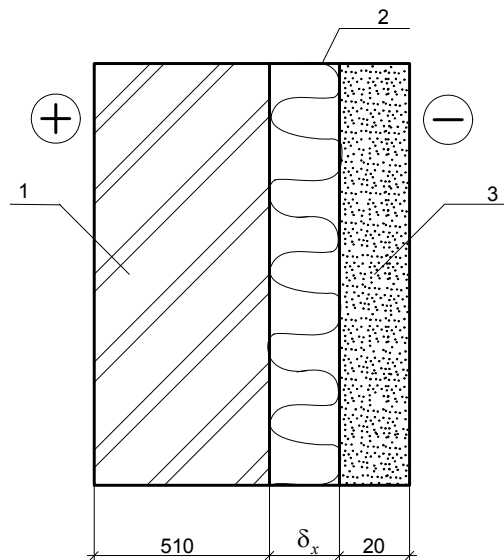
На первом этапе исследования возможности применения плит из пеностеклокерамики в ограждающих конструкциях зданий стояла задача определения толщины теплоизоляционного слоя. Были приняты два традиционно применяемых в строительстве конструктивных решения кирпичной наружной стены, приведенных на рисунке.

При расчете параметры воздуха внутри помещений были выбраны из условий комфортности внутри здания в зависимости от его назначения. Оптимальная температура воздуха внутри помещений жилых и общественных зданий для холодного периода года составляла  $t_{int} = (20 + 2) ^\circ\text{C}$ , а относительная влажность воздуха –  $\varphi_{int} = (55 + 5) \%$  [1,2]. Так как пеностеклокерамика рекомендуется для использования в различных климатических районах, то в качестве наружных климатических параметров для расчетов были выбраны по карте климатического районирования (СНиП 23-01) города, находящиеся в различных зонах влажности: Архангельск, Краснодар, Магадан, Новосибирск, Пенза [3].

а) Вариант I



б) Вариант II



Варианты конструктивного решения наружной стены:

- 1 – кирпичная кладка из сплошного кирпича силикатного (ГОСТ 379) на цементно-песчаном растворе,  $\rho=1800 \text{ кг/м}^3$ ;
- 2 – пеностеклокерамика, используемая в качестве утеплителя,  $\rho=400-120 \text{ кг/м}^3$ ;
- 3 – раствор цементно-песчаный (многослойная штукатурка),  $\rho=1800 \text{ кг/м}^3$

В соответствии с [1] определены условия эксплуатации ограждающих конструкций для этих городов: г. Архангельск – Б; г. Краснодар – Б; г. Новосибирск – А; г. Магадан – Б; г. Пенза – А.

Наружные ограждающие конструкции должны удовлетворять условию [1, 4]

$$R_o \geq R_{reg}, \quad (1)$$

где  $R_{reg}$  – нормируемое сопротивление теплопередаче,  $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ .



Нормируемое значение  $R_{reg}$  определяли по [1], используя формулу

$$R_{reg} = aD_d + b, \quad (2)$$

где  $a, b$  – коэффициенты;  $D_d$  – градусо-сутки отопительного периода,

$$D_d = (t_{int} - t_{ext})z_{ht}, \quad (3)$$

здесь  $t_{int}$  – расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, равная 20 °С;  $t_{ext}$  – средняя температура наружного воздуха, °С (СНиП 23-01);  $Z_{ht}$  – продолжительность отопительного периода, сут (СНиП 23-01).

Для вышеперечисленных городов значения нормируемого сопротивления теплопередаче  $R_{reg}$  составляют:

г.Архангельск	$t_{ext} = -31$	$D_d = 6173$	$R_{reg} = 3,56$
г.Краснодар	$t_{ext} = -19$	$D_d = 2682$	$R_{reg} = 2,34$
г.Новосибирск	$t_{ext} = -39$	$D_d = 6601$	$R_{reg} = 3,71$
г.Магадан	$t_{ext} = -29$	$D_d = 7805$	$R_{reg} = 4,13$
г.Пенза	$t_{ext} = -29$	$D_d = 5072$	$R_{reg} = 3,175$

Сопротивление теплопередаче многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями  $R_o$  определяли по формуле

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ext}}, \quad (4)$$

где  $\alpha_{int}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, принимаемый по СНиП 23-02 и равный 8,7 Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя, м;  $\lambda_i$  – расчетный коэффициент теплопроводности материала  $i$ -го слоя, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), принимаемый в зависимости от условий эксплуатации А или Б;  $\alpha_{ext}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода года, принимаемый по СНиП 23-02 и равный 23 Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Предварительными расчетами установлено, что толщина утеплителя плотностью  $\rho=120$  кг/м<sup>3</sup>, например, для г. Пензы должна быть не менее 0,11 м, что соответствует максимальной его толщине. Поэтому в конструкции кирпичной стены принималась максимально возможная толщина данного утеплителя. Рассмотрим два варианта утепления кирпичной стены с  $\delta_{ут.}=0,11$  м для условий эксплуатации А и Б.

Сопротивление теплопередаче данной конструкции (I вариант конструкции наружной стены) для условий эксплуатации А составляет  $R_o = 3,20$  м<sup>2</sup>·°С/Вт, для условий эксплуатации Б –  $R_o = 2,88$  м<sup>2</sup>·°С/Вт. Рассчитанное сопротивление теплопередаче конструкции (II вариант конструкции наружной стены) для условий эксплуатации А составляет  $R_o = 3,25$  м<sup>2</sup>·°С/Вт, для условий эксплуатации Б –  $R_o = 2,92$  м<sup>2</sup>·°С/Вт.

В условиях эксплуатации А находятся города Пенза и Новосибирск.

**г. Пенза:**

– для I варианта конструкции стены

$R_o = 3,20 > R_{reg} = 3,175$  – условие (1) выполняется;

– для II варианта конструктивного решения стены

$R_o = 3,25 > R_{reg} = 3,175$  – условие (1) выполняется.

**г. Новосибирск:**

– для I варианта конструкции стены

$R_o = 3,20 < R_{reg} = 3,71$  – условие (1) не выполняется;

– для II варианта конструктивного решения стены

$R_o = 3,25 < R_{reg} = 3,71$  – условие (1) не выполняется.

Таким образом, при данных толщинах конструктивных слоев ограждающей конструкции и при данном конструктивном решении стены (см. рисунок) пеностеклокерамика не может быть рекомендована для использования в г.Новосибирске (при максимальной предлагаемой толщине утеплителя 0,11 м). Следует увеличить толщины слоев. Установлено, что увеличение толщины кирпичной кладки из силикатного кирпича с 510 мм до 640 мм при утеплении стены снаружи увеличит  $R_o$  до  $3,41 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , однако  $R_o = 3,41 < R_{reg} = 3,71$ , т.е. условие (1) по-прежнему не выполняется.

В условиях эксплуатации Б находятся города Архангельск, Краснодар, Магадан.

Для **г.Архангельск** (I вариант конструкции стены при толщине утеплителя 0,11 м):

$R_o = 2,88 < R_{reg} = 3,56$  – условие (1) не выполняется;

– для II варианта конструктивного решения стены;

$R_o = 2,92 < R_{reg} = 3,56$  – условие (1) не выполняется.

Для **г.Магадана** (I вариант конструкции стены):

$R_o = 2,88 < R_{reg} = 4,13$  – условие (1) не выполняется;

– для II варианта конструктивного решения стены

$R_o = 2,92 < R_{reg} = 4,13$  – условие (1) не выполняется.

Таким образом, установлено, что рекомендовать плиты из пеностеклокерамики толщиной 0,11 м в качестве утеплителя для всех климатических районов страны возможно только при индивидуальном подходе к выбору конструктивного решения ограждающих конструкций (материала слоев и их толщин) с учетом сложившихся особенностей применения конструктивных решений ограждающих конструкций для различных регионов.

Работа выполнялась в рамках договора с Минобрнауки РФ № 13.G25.31.0092 «Создание высокотехнологичного производства по выпуску пеностеклокерамики на основе опалкристиобалитовых пород».

## Список литературы

1. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий [Текст]. – М.: Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России), 2004. – С.25.
2. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий [Текст]. – М.: Федеральное государственное унитарное предприятие «Центр проектной продукции в строительстве» (ФГУП ЦПП), 2004. – С.139.
3. СНиП 23-01-99 Строительная климатология [Текст]. – М.: Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России), 2000. – С.57.
4. Фокин, Г.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст] / Г.Ф. Фокин; под ред Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. – 5-е изд. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.

УДК 691.31:678.06

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Калашников Владимир Иванович,**

доктор технических наук, профессор кафедры «Технология бетонов, керамики и вяжущих», Заслуженный деятель науки РФ  
Адрес: 440011, г. Пенза, ул. Карпинского д.48, кв. 29  
Тел.: 8-841-242-58-25.

**Скачков Юрий Петрович,**

доктор технических наук, профессор, советник РААСН, ректор, профессор кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: rector@pguas.ru

**Ананьев Сергей Викторович,**

аспирант кафедры «Технология бетонов, керамики и вяжущих»

*ООО «Новые технологии строительства»*

Россия, 660012, г. Красноярск, ул. Семафорная, д.219

**Троянов Игорь Юрьевич,**

генеральный директор

*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Kalashnikov Vladimir Ivanovich,**

Doctor of Sciences, Professor of the department «Concrete, Ceramics and Binding materials Production», Honored worker of a science of the Russian Federation.  
Address: 440011, Penza, 48, Karpinskaya St., ap.29  
Tel.: 8-841-242-58-25.

**Skachkov Yury Petrovich,**

Doctor of Science, Professor, Adviser of the Russian Academy of Architectural and Building Science, rector, Professor of the department «Building Structures»  
E-mail: rector@pguas.ru

**Ananiev Sergey Viktorovich,**

Postgraduate of the department «Concrete, Ceramics and Binding materials Production»

*Open Company «New technology of building»*

Russia, 660012, Krasnoyarsk, 219, Semaforay St.

**Troyanov Igor Yuryevich,**

general director

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФИБРЫ ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНЫХ БЕТОНОВ

В.И. Калашников, Ю.П. Скачков, С.В. Ананьев, И.Ю. Троянов

Рассмотрены оптимальные геометрические параметры проволоочной и плоской фибры, в том числе с анкерными концами для дисперсного армирования высокопрочных и особо высокопрочных бетонов. Отсутствие производства такой тонкой фибры диаметром 0,15–0,20 мм в России сдерживает выпуск особовысокопрочных фибробетонов.

*Ключевые слова: геометрические параметры, фибра, фибробетон, анкер, сцепление, сдвиг, прочность.*

## GEOMETRICAL PARAMETERS OF FIBRE FOR HIGH STRENGTH CONCRETE

V.I. Kalashnikov, Y.P. Skachkov, S.V. Ananiev, I.Y. Troyanov

The authors consider optimum geometrical parameters of wire and flat fibre, including fibre with anchor ends for high strength and super high strength concrete disperse reinforcement. The lack of this kind of thin fibre (0,15–0,20 mm in diameter) production in Russia prevents manufacture of super high strength fibreconcrete.

*Keywords: geometrical parameters, fibre, fibreconcrete, anchor, coupling, shift, durability.*

Перспективы производства дисперсно-армированных высокопрочных и особовысокопрочных бетонов, которые начинают использоваться в передовых странах, и, которые, к сожалению, не востребованы в России, диктуют необходимость экспериментально-теоретического обоснования выбора оптимального геометрического фактора и формы стальной фибры для армирования бетонов. С позиций создания наиболее прочных анизотропных фибробетонных композитов, упрочненных не только в макрообъеме изделия, но и во всех его микрообъемах с низкой степенью дискретного расположения стальных волокон, фибра должна иметь микромасштабный уровень дисперсности. Зарождающиеся и развивающиеся микротрещины в бетонной матрице при средовых (усадочных) и силовых эксплуатационных воздействиях должны быстро гаситься стальными волокнами.

В России тонкие стальные волокна диаметром 0,1–0,2 мм не освоены промышленностью, тем более микрометрические стальные волокна диаметром 20–40 мкм, покрытые тонким слоем стекла толщиной 3,0–4,0 мкм. Технология производства микрометрической фибры разрабатывается в г. Пензе. Обычно фибра изготавливается диаметром 0,3–0,6 мм. Производимая в России и поставляемая из-за рубежа (Италия, Греция) фибра имеет диаметр 0,3–0,7 мм и длину 30–60 мм. Для лучшего сцепления с бетоном и анкерности против выдергивания фибра выпускается волнистой, зигзагообразной, периодического профиля и с анкерными концами различной геометрии.

В идеальном случае фибра должна быть тонкой, короткой, с анкерными концами, которые должны исключать зацепление фибр друг другом, ухудшающее однородное распределение ее в бетоне без образования комков. По нашему мнению, наилучшая геометрия фибры для бетона должна быть в форме гантели.

Такая фибра при заанкеривании ее сферических концов и при надежном её сцеплении цилиндрической части с высокопрочной матрицей бетона может определять в будущем прогресс строительства из дисперсно-армированного железобетона. Возможности такой фибры существенно расширяются, если она будет защищена противокоррозионным слоем. При этом следует ожидать следующих преимуществ:

- существенное увеличение несущей способности изгибаемых конструкций за счет создания обратного выгиба при формировании фибробетона;
- получение особопрочных реакционно-порошковых бетонов, армированных высокопрочной фиброй с пределом текучести 2500–3500 МПа при низких процентах армирования;
- улучшение условий труда и исключение травматизма при бетонировании промышленных полов, дорожных покрытий и всех видов конструкций, когда исключается множество проблем, имеющих место при работе с фиброй диаметром 0,1–0,4 мм с иглообразными концами
- использование электрофизических способов для необходимой ориентации тонких волокон (для достижения изотропности) по длине изделий или в локальных местах его (направленные магнитные поля), а также разжижение реакционно-порошковых бетонных смесей созданием магнитострикционных воздействий.

В настоящее время в малопрочных бетонах фибра диаметром 0,4–0,6 мм не может быть короткой из-за недостаточной площади сцепления и невысокой прочности сцепления бетона со сталью. С целью обеспечения повышенных сопротивлений выдергиванию фибра изготавливается большей длины и имеет на концах анкерные загибы.

Гипотетически можно утверждать, что чем дисперснее матрица бетона и чем мельче песок в бетоне, тем выше должна быть прочность сцепления бетона со сталью. Это обусловлено повышенным числом контактов на единице поверхности сцепления.

Определим прочность сцепления цилиндрической арматуры с бетоном, выраженную через геометрические параметры ее из условия равенства сил, обусловленных сцеплением стержня  $F_c$  и сил разрыва его  $F_p$  от усилий выдергивания. Расчетная схема действующих сил показана на рис. 1.

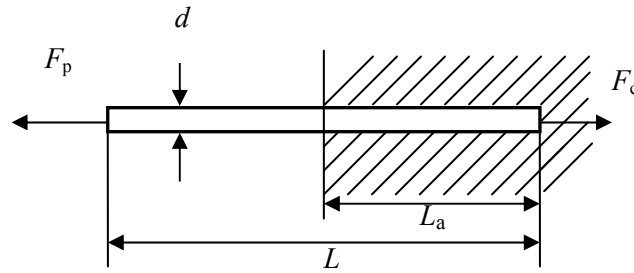


Рис. 1. Расчетная схема действующих сил

При равенстве силы сцепления и силы сопротивления разрыву получаем выражение для прочности при сдвиге:

$$F_p = F_c;$$

$$\frac{\pi d^2}{4} R_p = \pi d \cdot L_a \tau_c^p;$$

$$\tau_c^p = \frac{d R_p}{4 L_a}, \quad (1)$$

где  $R_p$  – прочность стали на разрыв;  $\tau_c^p$  – прочность при сдвиге, обусловленная сцеплением бетона со сталью и равная прочности стали на разрыв;  $L_a$  – длина анкеровки фибры в бетоне.

Оценим, какова должна быть прочность при сдвиге по образующей цилиндра, если используется стальная фибра с  $R_p=700$  МПа при различных диаметрах и длинах анкеровки фибры в бетоне (табл. 1).

Таблица 1

Прочность при сдвиге фибры в бетоне  
исходя из равенства сил выдергивания и разрыва стали

Длина анкеровки, $L_a$ , мм	Прочность при сдвиге, МПа, при диаметре, мм				
	1,0	0,6	0,3	0,15	0,03
3,0	58,3	35,0	17,5	8,75	1,75
5,0	35,0	21,0	10,5	5,25	1,05
30,0	5,83	3,50	1,75	0,87	0,17

Как следует из табл. 1, если фактическое сопротивление выдергиванию при сдвиге больше сопротивления разрыву, т.е.  $\tau_c^\Phi \geq \tau_c^p$ , то фибра будет разрываться; при  $\tau_c^\Phi \leq \tau_c^p$  фибра будет выдергиваться. Кроме того, для тонкой фибры легче обеспечить более низкое фактическое сопротивление при сдвиге, обусловленное сцеплением бетона со сталью при невысокой прочности бетона.

Многие ученые [1, 2] полагают, что прочность фибробетонов при растяжении зависит от среднего расстояния между геометрическими центрами проволок и длиной их. Исходя из рассмотрения идеализированной топологии фибры в бетонах, среднее расстояние между геометрическими центрами волокон не зависит от длины, а зависит от диаметра волокон  $d$  и степени армирования  $\mu$  по объему. Хотя некоторые ученые связывают среднее расстояние между центрами волокон (центр оси цилиндра) не только с указанными параметрами, но и длиной волокон. Специалисты единодушны в том, что при уменьшении расстояния между фибрами до определенного предела

прочность композиции существенно возрастает, хотя объемное содержание волокон в ней может оставаться неизменным при использовании более тонких волокон. Это положение является чрезвычайно важным и перспективным в реакционно-порошковых фибробетонах высокой прочности при условии использования сверхвысокопрочных волокон и обеспечении надежного сцепления их с матрицей. Простые расчеты прочности при растяжении фибробетона, исходя из правила аддитивности, показывают, что при использовании сталей с пределом текучести от 500 до 3000 МПа, расход последней может быть уменьшен более, чем в 5 раз при равной прочности фибробетона при растяжении, с обеспечением высокого сцепления фибры с матрицей и анкерровкой ее концов.

Для дисперсно-армированных бетонов в настоящее время используется стальная фибра с различными геометрическими параметрами. Диапазон диаметров и длины проволочной фибры чрезвычайно широк, а основной геометрический параметр – отношение длины к диаметру – изменяется от 50 до 200, а для микрофибры диаметром 10–40 мкм он достигает 400–500. Для увеличения сопротивления выдергиванию используется фибра с анкерующими концами в виде отрезков проволоки, концы которых выполнены с загибами различной конфигурации [3] или с изгибами по длине: зигзагообразными, волнообразными и т.п. [4]. Фибра с анкерными концами (головками на концах), в том числе плавной сферической или каплеобразной формы [5, 6], является самой совершенной. Но выпуск её, вследствие сложности изготовления, по нашим сведениям, не освоен производством.

В последнее время используется плоская фибра с овальным, прямоугольным или трапециевидным сечением и ленточная витая. Все конструктивные решения направлены на увеличение площади сцепления плоской фибры по сравнению с проволочной, снижению расхода ее при применении особо высокопрочной стали. Около 10 фирм Японии выпускают стальную фибру, причем около половины ее плоской – из листа, или из фрезерованного сляба. Имеются отечественные предприятия, выпускающие резаную фибру из тонкого стального листа и фрезерованную из сляба (города Москва, С-Петербург, Магнитогорск, Челябинск, Курган). Фибра трапециевидного сечения имеет длину 25–32 мм, ширину – до 3 мм и толщину – 0,2–0,6 мм [7]. В этой работе сообщается, что фибра, резанная из тонкого холодноотянутого листа, выпускаемая в Магнитогорске, имеет значительно более широкий ассортимент: ширину 0,4–0,6 мм, толщину от 0,3 до 1 мм и длину от 30 до 40 мм.

Как следует из геометрических параметров плоской фибры, диапазон отношений ширины  $b$  к толщине  $\delta$  сильно варьирует. Какое из этих соотношений является оптимальным при одинаковой длине цилиндрической и плоской фибры – неизвестно. По логике, величина отношения поверхности пластины  $S_n$  к поверхности цилиндра  $S_{ц}$ , с одной стороны, должна быть максимальна, т.е. фибра должна быть тонколенточной. С другой стороны, такая фибра сложна в изготовлении и современные технологии ориентированы на производство фибры с невысокими отношениями  $b/\delta$ .

Следует полагать, что наиболее эффективной фиброй должна быть фибра с анкерующими концами, исключаяющими зацепление фибр между собой и, вследствие этого, комкование. Для плоской фибры обеспечить анкерные окончания значительно проще.

Отсутствие информации по исследованию оптимального соотношения толщины и ширины плоской фибры способствовало проведению сравнительной оценки соотношения полных площадей плоской и цилиндрической фибры, а следовательно, площадей сцепления фибры с бетоном при одинаковом проценте армирования бетонов. Для этого используем строгие геометрические расчеты, основанные на равенстве объемов цилиндра и пластинки при их равных фиксированных длинах. Примем, что объемы цилиндра  $V_{ц}$  и пластинки  $V_n$  равны, как и их длины  $l_{ц}=l_n$ , тогда

$$\frac{\pi d^2}{4} l_{ц} = \delta \cdot b \cdot l_n,$$

где  $b$  и  $\delta$  – соответственно, толщина и ширина пластинки.

Из этого равенства толщина пластины, выраженная через диаметр, равна

$$b = \frac{\pi d^2}{4\delta} = 0,785 \frac{d^2}{\delta}. \quad (2)$$

Полная поверхность цилиндра будет

$$S_{\text{ц}} = \pi \cdot d \cdot l + \frac{\pi d^2}{2}.$$

Полная поверхность пластинки

$$S_{\text{п}} = 2bl + 2b\delta + 2\delta l.$$

Отношение поверхности пластинки к поверхности цилиндра

$$\frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{ц}}} = \frac{\pi d^2 l / 2\delta + \pi d^2 / 2 + 2\delta l}{\pi d l + \pi d^2 / 2}. \quad (3)$$

Подставляя (2) в (3), получим

$$\frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{ц}}} = \frac{\pi l d^2 / \delta + \pi d^2 / 2 + 4\delta l}{2\pi d l + \pi d^2}. \quad (4)$$

При малых поперечных сечениях торцевыми поверхностями цилиндра и пластинки можно пренебречь. Тогда выражение (3) значительно упрощается:

$$\frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{ц}}} = \frac{2bl + 2\delta l}{\pi d l} = \frac{2(b + \delta)}{\pi d} = 0,637 \frac{b + \delta}{d}. \quad (5)$$

Расчеты соотношений площадей поверхности плоской и цилиндрической фибр при длине 10 мм и различных толщинах, при равных степенях армирования с цилиндрической фиброй разных диаметров, приведены в табл. 2. Значения  $S_{\text{п}}/S_{\text{ц}}$  в затемненных прямоугольниках таблицы, близкие к 1,122, определяют границу перехода от квадратичного сечения к прямоугольному. Выше этой границы ширина прямоугольника « $b$ » трансформируется в толщину « $\delta$ ».

На рис. 2 представлено изменение  $S_{\text{п}}/S_{\text{ц}}$  в зависимости от диаметра заменяемой проволочной фибры плоской при различной толщине (ширине) ее. Все кривые имеют точки минимакса при значении  $S_{\text{п}}/S_{\text{ц}}=1,122$ , т.е., когда ширина фибры равна толщине и прямоугольное сечение трансформируется в квадратное. В этом случае для квадратного сечения, используя (2) и (4), имеем:

$$b = \frac{d}{2} \sqrt{\pi} = 0,886 \cdot d; \quad (6)$$

$$\frac{S_{\text{к}}}{S_{\text{ц}}} = \frac{4b(2l + b)}{\pi d(2l + d)}. \quad (7)$$

Из табл.2 видно, что эффективность плоской фибры при  $l = 10$  мм, по мере увеличения сцепления по сравнению с проволочной при значениях  $\delta$  от 0,02 до 0,4 мм, может меняться от значения, близкого к единице (фибра почти квадратного сечения), до 12,24 при значении  $\delta = 0,02$  мм. Для увеличения площади сцепления бетона с плоской фиброй по сравнению с проволочной в 2–4 раза необходимо, чтобы ширина фибры превышала ее толщину в 10–50 раз.

Соотношение площадей поверхности плоской и цилиндрической фибры

$d_{ц}$ , мм	Соотношение площадей поверхности плоской и цилиндрической фибры $S_{п}/S_{ц}$ и толщины фибры $b$ при $\delta$ , мм (длина 10 мм)													
	0,02		0,03		0,05		0,1		0,2		0,3		0,4	
	$S_{п}/S_{ц}$	$b$	$S_{п}/S_{ц}$	$b$	$S_{п}/S_{ц}$	$b$	$S_{п}/S_{ц}$	$b$	$S_{п}/S_{ц}$	$b$	$S_{п}/S_{ц}$	$b$	$S_{п}/S_{ц}$	$b$
0,02	1,137	0,0157	1,288	0,0105	1,792	0,0063	3,282	0,0031	6,414	0,0016	9,579	0,0010	12,752	0,0008
0,03	1,174	0,0353	1,137	0,0236	1,361	0,0141	2,271	0,0071	4,316	0,0035	6,411	0,0024	8,519	0,0018
0,04	1,318	0,0628	1,144	0,0419	1,196	0,0251	1,791	0,0126	3,280	0,0063	4,836	0,0042	6,409	0,0031
0,05	1,504	0,0981	1,215	0,0654	1,137	0,0393	1,523	0,0196	2,669	0,0098	3,898	0,0065	5,148	0,0049
0,06	1,710	0,1413	1,318	0,0942	1,130	0,0565	1,360	0,0283	2,269	0,0141	3,278	0,0094	4,311	0,0071
0,07	1,929	0,1923	1,438	0,1282	1,154	0,0769	1,259	0,0385	1,991	0,0192	2,840	0,0128	3,718	0,0096
0,08	2,155	0,2512	1,570	0,1675	1,197	0,1005	1,195	0,0502	1,789	0,0251	2,516	0,0167	3,276	0,0126
0,09	2,385	0,3179	1,709	0,2120	1,253	0,1272	1,157	0,0636	1,638	0,0318	2,267	0,0212	2,935	0,0159
0,10	2,619	0,3925	1,853	0,2617	1,317	0,1570	1,136	0,0785	1,521	0,0393	2,072	0,0262	2,664	0,0196
0,11	2,856	0,4749	2,002	0,3166	1,387	0,1900	1,128	0,0950	1,431	0,0475	1,915	0,0317	2,446	0,0237
0,12	3,094	0,5652	2,152	0,3768	1,463	0,2261	1,130	0,1130	1,359	0,0565	1,788	0,0377	2,266	0,0283
0,13	3,333	0,6633	2,305	0,4422	1,541	0,2653	1,139	0,1327	1,303	0,0663	1,682	0,0442	2,115	0,0332
0,14	3,573	0,7693	2,460	0,5129	1,623	0,3077	1,154	0,1539	1,258	0,0769	1,594	0,0513	1,988	0,0385
0,15	3,814	0,8831	2,615	0,5888	1,707	0,3533	1,173	0,1766	1,223	0,0883	1,520	0,0589	1,879	0,0442
0,16	4,055	1,0048	2,772	0,6699	1,793	0,4019	1,197	0,2010	1,195	0,1005	1,457	0,0670	1,786	0,0502
0,17	4,297	1,1343	2,929	0,7562	1,880	0,4537	1,223	0,2269	1,173	0,1134	1,404	0,0756	1,705	0,0567
0,18	4,539	1,2717	3,087	0,8478	1,968	0,5087	1,252	0,2543	1,156	0,1272	1,358	0,0848	1,635	0,0636
0,19	4,781	1,4169	3,246	0,9446	2,058	0,5668	1,283	0,2834	1,144	0,1417	1,319	0,0945	1,573	0,0708
0,20	5,023	1,5700	3,405	1,0467	2,148	0,6280	1,315	0,3140	1,136	0,1570	1,286	0,1047	1,519	0,0785
0,25	6,236	2,4531	4,203	1,6354	2,607	0,9813	1,499	0,4906	1,133	0,2453	1,179	0,1635	1,328	0,1227
0,30	7,446	3,5325	5,004	2,3550	3,075	1,4130	1,702	0,7065	1,172	0,3533	1,135	0,2355	1,221	0,1766
0,35	8,652	4,8081	5,804	3,2054	3,546	1,9233	1,916	0,9616	1,235	0,4808	1,127	0,3205	1,163	0,2404
0,40	9,855	6,2800	6,602	4,1867	4,019	2,5120	2,137	1,2560	1,312	0,6280	1,142	0,4187	1,134	0,3140
0,50	12,244	9,8125	8,192	6,5417	4,965	3,9250	2,588	1,9625	1,492	0,9813	1,210	0,6542	1,131	0,4906

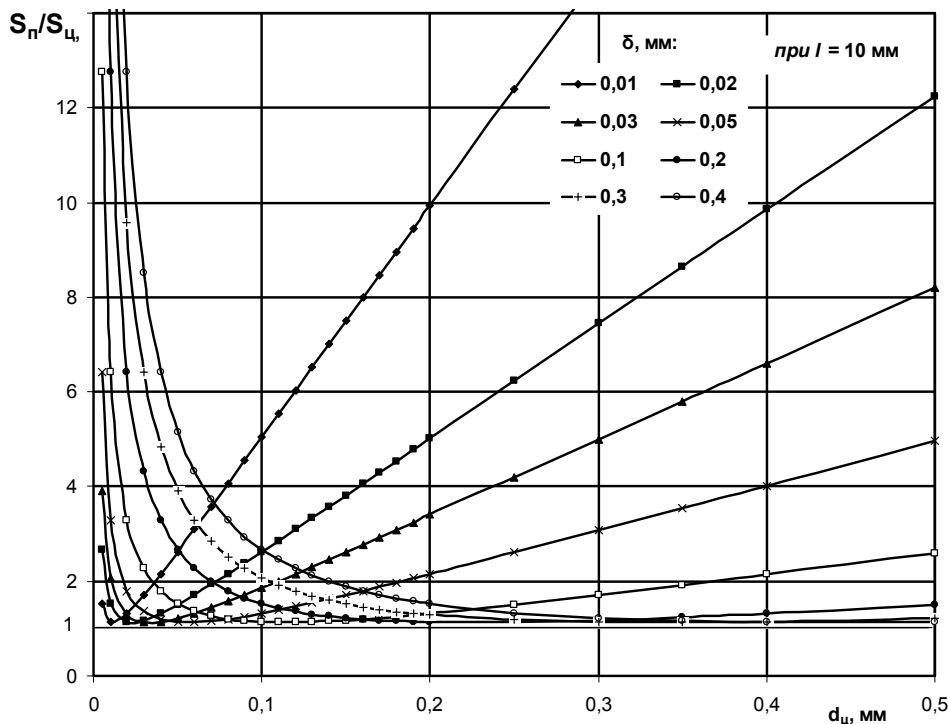


Рис. 2. Зависимость  $S_{п}/S_{ц}$  от  $d_{ц}$  и  $\delta$



При реальных отношениях  $b/\delta$ , равных 2–5, площадь сцепления плоской фибры можно увеличить в 1,2–1,5 раза по сравнению с проволочной.

Установленные закономерности можно использовать для плоской фибры любой длины.

#### Список литературы

1. Bindiganavile V., Banthia N., Aarup B/ Impact response of ultra-high-strength fiber-reinforced cement composite. // ACI Materials Journal. – 2002. – Vol. 99, №6. – pp. 543-548.
2. Schnachinger J, Schuberrt J, Stengel T, Schmidt K, Heinz D, Ultrahochfester Beton – Bereit Für die Anwendung? Schriftenreihe Baustoffe. Fest – schrift zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-ing. Peter Schliessl. Heft 2. 2003. С. 267-276.
3. Патент Франции № 2061681 кл. Е 04 С5/00. опублик. 1971.
4. Патент США № 2677955. Кл. 52-659, опублик. 1948.
5. Патент США № 3953953. Кл. 52-659, опублик. 1973.
6. Виленсон А.Р. Арматурный элемент для дисперсного армирования и способ его изготовления. А.с. 715747. Заявлено 09.11.77. Опубликовано 15.02.80. Бюллетень № 6.
7. Бадертдинов, И.Р. Сталефибробетон на основе челябинской фибры [Текст]/ И.Р. Бадертдинов, М.Г. Габидулин, Л.С. Рахимов // XV Академические чтения РААСН. МНТК «Достижения и проблемы материаловедения и модернизации строительной индустрии». Казань: Изд-во КазГАСУ. – 2010. – С. 285–287.

УДК 639.03; 639.05

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Романенко Игорь Иванович,**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и автоматизация производства»

Адрес: 440011, г. Пенза, ул. Карпинского д.33, кв. 51  
Тел.: 8-902-205-78-58  
E-mail rom1959@yandex.ru**Калашников Владимир Иванович,**

доктор технических наук, профессор кафедры «Технология бетонов, керамики и вяжущих»

Адрес: 440011, г. Пенза, ул. Карпинского д.48, кв. 29  
Тел.: 8-841-242-58-25**Петровнина Ирина Николаевна,**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Механизация и автоматизация производства»

Адрес: 440064, г. Пенза, ул. Ладожская, д.141, кв.52  
Тел.: 8-841-240-65-51  
E-mail: petrovnina.irina@yandex.ru**Пинт Эдуард Михайлович,**

кандидат технических наук, профессор кафедры «Механизация и автоматизация производства»

Адрес: 440046, г. Пенза, ул. Мира, д.59, кв.54  
Тел.: 8-841-244-00-52**Романенко Мария Игоревна,**

студентка гр. ЭУС-31

Адрес: 440011, г. Пенза, ул. Карпинского д.33, кв. 51  
Тел.: 8-902-205-78-58  
E-mail: rom1959@yandex.ru*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Romanenko Igor Ivanovich,**

Candidate of Sciences. Associate Professor of the department «Production Mechanization and avtomatization»

Adress: 440011, Penza, 33, Karpinskaya St., ap.51  
Tel.: 8-902-205-78-58  
E-mail rom1959@yandex.ru**Kalashnikov Vladimir Ivanovich,**

Doctor of Sciences, Professor of the department «Concrete, Ceramics and Binding materials Production».

Adress: 440011, Penza, 48, Karpinskaya St., ap.29  
Tel.: 8-841-242-58-25**Petrovnina Irina Nikolaevna,**

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Production Mechanization and avtomatization»

Adress: 440011, Penza, 141, Ladogskay St., ap.52  
Тел.: 8-841-240-65-51  
E-mail: petrovnina.irina@yandex.ru**Pints Edward Mihajlovich,**

Candidate of Sciences, Professor of the department «Production Mechanization and avtomatization»

Adress: 440011, Penza, 59, Mira St., ap.54  
Тел.: 8-841-244-00-52**Romanenko Maria Igorevna,**

the student of the gr.ЭУС-31

Adress: 440011, Penza, 33, Karpinskaya St., ap.51  
Тел.: 8-902-205-78-58  
E-mail rom1959@yandex.ru

## ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ БЕТОНОВ

И.И. Романенко, В.И. Калашников, И.Н. Петровнина,  
Э.М. Пинт, М.И. Романенко

Рассмотрена возможность изготовления шлакощелочных бетонов на доломитизированных заполнителях и песках, содержащих активный микрокремнезем.

*Ключевые слова: шлакощелочные бетоны, заполнитель, образование трещин, разрушение.*

## INFLUENCE OF THE FILLERS NATURE ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SLAG-ALKALI CONCRETE

I.I. Romanenko, V.I. Kalashnikov, I.N. Petrovnina,  
E.M. Pint, M.I. Romanenko

The authors consider the possibility of producing slag-alkali concrete on dolomites fillers and sands containing active micro flint.

*Keywords: slag-alkali concrete, filler, cracks formation, destruction.*

Проблема получения тяжелого бетона из местного сырья и побочных продуктов металлургического производства является актуальной. Ингредиенты бетона, а также технологические приемы изготовления весьма существенно влияют на его свойства. Наряду с традиционными показателями удобоукладываемости бетонной смеси и прочности бетона рассматривается и трещиностойкость.

Результаты исследований о влиянии природы и химического состава крупного заполнителя на свойства бетонов на основе шлакощелочных и шлакоминеральных вяжущих практически отсутствуют или освещение их в научной литературе недостаточно.

Изделия и конструкции из шлакощелочного бетона являются необходимыми элементами промышленного и многоэтажного гражданского строительства. Поэтому в настоящее время проблема повышения качества шлакощелочного бетона путем совершенствования методов проектирования его состава является весьма значительной.

При существующих подходах к проектированию составов бетона нельзя не учитывать природу заполнителей. Физико-механические свойства заполнителя и его минералогический состав существенно влияют на свойства бетона как в раннем возрасте твердения, так и с течением длительного времени.

Целью данной работы является установление влияния вида крупного и мелкого заполнителей на прочность шлакощелочных бетонов. Мнения ученых [1, 2, 3] о том, какие из видов заполнителей эффективнее применять в бетоне, не совпадают. Поэтому первоначально нами решался именно этот вопрос.

Для исследований использовались следующие материалы: молотый граншлак Новолипецкого металлургического комбината с удельной поверхностью  $3200 \text{ см}^2/\text{г}$ , плотность шлака  $2,9 \text{ г/см}^3$ ; щебни гранитные с маркой по дробимости Д1200-1400 Павловского месторождения; щебни доломитовые с маркой по дробимости Д800-Д1000 Ивантеевского карьера; мелкий заполнитель – песок Богословского карьера с  $M_{кр}=1,5-1,54$  и песок мелкий Сурский с модулем крупности  $M_{кр} = 1,16-1,25$  с водопотребностью 8 %, плотность песка  $2,65 \text{ г/см}^3$ ; активатор твердения – NaOH (Щ) и жидкое стекло (Ж.С.) – силикатный модуль  $M_c=1,6$ , плотность  $1,56 \text{ г/см}^3$ ; вода затворения – водопроводная, питьевая.

Образцы изготавливались в виде кубиков размерами  $100 \times 100 \times 100$  мм в тройчатках. Бетонная смесь с осадкой конуса 6–9 см (П-2) приготавливали как в смесителе принудительного перемешивания объемом 20 л, так и вручную. После укладки бетонной смеси в формы она уплотнялась на лабораторной виброплощадке. Время уплотнения 10 с. Часть образцов после выдержки в течение 2 часов на воздухе при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  и влажности воздуха 90 % подвергалась пропариванию в лабораторной автоматической камере по режиму 2+6+3 и температуре изотермической выдержки  $85 \text{ }^\circ\text{C}$ . Остальная часть образцов твердела на воздухе в течение 7 суток и затем была погружена в воду.

Составы предлагаемых для испытаний бетонов представлены в таблице. Проведенные исследования позволили ответить на некоторые вопросы о влиянии природы заполнителя на прочность бетона в различное время твердения. Чтобы получить прочный и высококачественный бетон на основе портландцемента, необходим песок, не содержащий глинистых и пылевидных частиц. Применение шлакощелочного вяжущего снимает это ограничение: в отличие от гидроксида кальция соединения щелочных металлов взаимодействуют с этими частицами и образуются щелочные гидроалю-

мосиликаты, обладающие вяжущими свойствами. Наличие глинистых фракции в песке в этом случае не ухудшают, а улучшают физико-механические свойства бетона.

№ п/п	Природа крупного заполнителя	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> , кг					Р/Щ	Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	Прочность бетона на сжатие, МПа в возрасте, сут			
		шлак	щебень	песок	NaOH+Ж.С. (Щ:Ж.С.=1:1)	вода			ТВО		нормальное твердение	
									1	28	7	7 суток твердения в нормальных условиях и затем водное твердение до 28 суток
1	Доломит	330	1430	730	50,0	178	0,54	2718	20,3	25,81	18,22	16,3
2	Гранитный	330	1430	730	50,0	165	0,5	2705	27,1	37,4	24,8	34,6
3	Доломит	377	1032	716	37,7	132	0,35	2310	17,2	21,4	12,5	разрушились
4	Гранитный	388	1182	738	38,8	136	0,35	2350	19,6	23,9	10,3	20,9
5	Гранитный	425	1155	690	42,6	170	0,4	2312	26,6	35,7	30,04	31,86
6	Доломит	425	1155	690	42,6	180	0,42	2493	20,08	28,9	21,5	19,88
7	Гранитный	550	1150	570	33,0	170	0,31	2473	47,9	68,2	45,5	46,9
8	Доломит	550	1150	570	33,0	170	0,31	2473	34,54	46,7	33,5	30,1
9	Песок Сурский	520	-	1560	33,0	160	0,31	2273	25,5	20,0	25,0	12,1
10	Песок Богословский	520	-	1560	33,0	160	0,31	2273	23,7	30,8	25,3	26,0

На составах 9 и 10 таблицы была проанализирована возможность применения двух видов мелкого заполнителя в шлакощелочных бетонах. Образцы мелкозернистых бетонов после тепловлажностной обработки осматривались на предмет образования трещин и других видов дефектов. Наличие опаловидного кремнезема в Сурском песке привело к образованию ослабленных зон в виде мелких светлых пятен, которые в дальнейшем начинают увеличиваться в размерах.

Особенно это заметно при водном режиме твердения образцов. С течением времени показатель предела прочности на сжатие снижается в среднем на 28–36 % по сравнению с показателями образцов, твердевших в камере нормального твердения 28 суток. Ослабленные места легко удаляются грифелем карандаша. Бетоны, изготовленные на Богословском песке, таких дефектов не имеют, поскольку в них нет опаловидного кремнезема. Показатели прочности бетонов на Богословском песке после ТВО через сутки по сравнению с бетонами на Сурском песке ниже на 6,7 %. Однако при дальнейшем твердении наблюдается снижение прочности, тогда как бетоны состава 10 (см. таблицу) продолжают набирать прочность.

Одной из причин, вызывающих образование и развитие трещин в бетонах, является его расширение вследствие реакции щелочей вяжущего с заполнителями. Первой причиной, приводящей к деструкции бетона, является реакция между щелочами вяжущего и реакционноспособным кремнеземом заполнителя. Реакционноспособными модификациями кремнезема являются опал (аморфный), халцедон (скрытокристаллический, волокнистый) и тридимит (кристаллический).

Нами было проведено исследование по изучению миграции  $\text{Na}_2\text{O}$  при диффузии воды в порах за счет ее испарения с открытых поверхностей. В результате обнаружено, что значительная часть щелочи шлакощелочного бетона не связана с твердой фазой и быстро переходит в воду затворения, мигрирует с ней в пористой системе шлакощелочного камня. Примерно 30–35 % связывается после тепловлажностной обработки, и к 10 годам хранения образцов бетона свободной щелочи остается около 40 %.

Однако часть щелочи, связанной в твердой фазе, не способна к миграции даже при большом избытке воды, диффундирующей через шлакощелочной камень. В работе [3] авторами было установлено, что в начале гидратации вяжущего, щелочи мигрируют в виде гидроксидов. Миграция щелочей в результате испарения поровой воды приводит к обогащению поверхностных слоев изделий щелочами, что служит причиной ускорения реакций между щелочами и активными кремнеземистыми заполнителями в поверхностных слоях и их последующего разрушения (рис.1).

а



б



Рис. 1. Этапы деструкции шлакощелочного бетона:

а – образование высолов на поверхности бетона за счет миграции щелочей в результате испарения поровой воды; б – реакция между щелочами и активными кремнеземистыми заполнителями в поверхностных слоях, приводящие к разрушению поверхности бетона

Подобные явления отмечает Старк Д. в работе [2], посвященной исследованию взаимодействия щелочей с кремнеземом в бетонах на основе портландцемента.

Взаимодействие между реакционноспособным  $\text{SiO}_2$  в заполнителе и поровой жидкостью шлакощелочного камня, содержащей ионы  $\text{OH}^-$  и  $\text{Na}^+$ , представляет собой реакцию двух типов: реакцию нейтрализации слабокислого силанового радикала и реакцию разрыва силоксановой связи ( $\text{Si-O-Si}$ ) с образованием геля силиката щелочного металла ( $\text{Si-O-Na}$ ). Слой геля образуется на поверхности заполнителя, содержащего реакционноспособный  $\text{SiO}_2$ . С течением времени гель проникает во внутренние слои заполнителя, вызывая снижение его твердости и расширение. Реакция идет в глубь заполнителя.

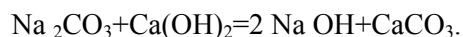
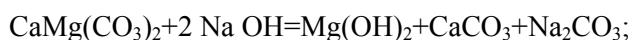
Авторами [3] установлено, что величина расширения зависит от В/Ц отношения: расширение увеличивается при повышении В/Ц с 0,28 до 0,40 и достигает максимума при В/Ц =0,40. При повышении В/Ц повышается пористость и, следовательно, коэффициент диффузии  $\text{Na}^+$ . С увеличением содержания вовлеченного воздуха на 4 % расширение снижается на 40 %.

Таким образом, нами принято решение о дальнейшем применении Богословского песка в исследованиях шлакощелочных бетонов (составы 1-8, см. таблицу) с целью исключения взаимодействия щелочей вяжущего с реакционноспособным  $\text{SiO}_2$ .

Результаты представленные в таблице, показали, что бетоны, изготовленные на доломитовом щебне, после твердения в воде саморазрушились. Их покрывала сплошная сеть трещин в виде паутин, отделяющих каждую частицу крупного заполнителя от основного массива бетона. У образца, извлеченного из воды, щебень легко отделялся от основного массива, образец рассыпался, хотя до погружения в воду предел прочности составлял 12,5 МПа.

Совсем другая картина наблюдается при изготовлении бетонов на гранитном щебне. Условия твердения идентичны. Бетон не разрушился при твердении в воде. Прочность образцов бетона на сжатие в возрасте 28 суток составляла 23,9 МПа, что на 12,6 % меньше прочности бетона, прошедшего ТВО.

Менее изучена реакция между щелочью шлакощелочного камня и заполнителем из карбонатных пород – глинистым доломитовым известняком. Предполагается, что механизм реакции связан с разложением доломита, сопровождающимся образованием  $Mg(OH)_2$  и расширением вследствие взаимодействия  $Mg_2CO_3$  с  $Ca(OH)_2$ . Для этой реакции характерно наличие реакционного слоя в виде кольца на поверхности заполнителя, отсутствие геля и наличие продуктов вторичной реакции:



По нашим представлениям, процесс деструкции шлакощелочного бетона происходит в результате щелочной реакции заполнителя. Сначала реакция идет с образованием вокруг крупного заполнителя прожилок коллоидного силиката, затем происходит заполнение контактной зоны гелевидными продуктами на границе пор и матрицы, что впоследствии приводит к образованию сетчатых трещин на поверхности бетонных конструкций. Результатом этих реакций является отслаивание наружной поверхности бетона при неоднородном распределении щелочи в объеме бетона. Данная реакция особенно быстро протекает при попеременном высушивании и увлажнении, а также при хранении бетона в воде. Внутренние напряжения разрывают сплошность среды, что и приводит к саморазрушению образца, хранившегося в воде с поверхности (рис. 2).



Рис. 2. Разрыв сплошности шлакощелочной матрицы вокруг доломитизированного заполнителя и образование поверхностных трещин

Образцы бетонов № 1, 6, 8 (см. таблицу) после 5 месяцев хранения во влажных условиях с поверхности покрылись сеткой трещин вокруг заполнителя, что привело к снижению сцепления заполнителя со шлакощелочной матрицей. Происходит выкрашивание крупного заполнителя из бетона.

Применение доломитизированных заполнителей и песков, содержащих активный микрокремнезем, не всегда приемлемо для приготовления бетонов на шлакощелочных и шлакоминеральных вяжущих, поскольку эти бетоны сразу после их приготовления обладают высокими показателями pH среды.

Необходимо разработать ГОСТ на возможность применения доломитовых заполнителей для бетонов на основе шлакощелочных и шлакоминеральных вяжущих и разработать методику оценки их реакционной способности с учетом их физико-механических и химических характеристик.

#### Список литературы

1. Glasser L.S.D. Osmotic Pressure and the Swelling of Gels. Осмотическое давление и набухание гелей. //Cem. and Concr. Res. – 1979. – №4. – Pp.515–517.
2. Stark David, Bhattu Muhammad S.Y. Alkali-silica Reactivity: Effect of Alkali in Aggregate on Expansion. Взаимодействие щелочей с кремнеземом: влияние щелочей заполнителя на расширение. //Alkalies Concr. Symp., Los Angeles, Calif., 25 June, 1985. – Philadelphia, Pa. – 1986. – Pp.16–30.
3. Uchicawa Hiroshi, Uchida Shunichiro, Ogawa Kenji. Diffusion of alkaline ions in hardened cement paste with the additives of ground granulated blast furnace slag and fly ash. Диффузия щелочных ионов в цементном камне, содержащем шлак или золу-уноса //Онода кэнкю хококу = J. Res. Onoda Cem. Co. – 1985. – №113. – Pp.1–9.

*Институт химии твердого тела и  
механохимии СО РАН*

Россия, 630128, г. Новосибирск,  
пр. Кутателадзе, д.18

**Варенцов Валерий Константинович,**  
доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник  
E-mail: vvk@ngs.ru

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Кошев Александр Николаевич,**  
доктор химических наук, профессор,  
заведующий кафедрой «Информационные  
системы и компьютерное моделирование»  
Тел.: (8412) 49-61-52  
E-mail: ankoshev@rambler.ru

*Institute of Chemistry of Hard Materials and  
Mechanical Chemistry*

Russia, 630128, Novosibirsk,  
18, Kutateladze St.

**Varentsov Valeriy Konstantinovich,**  
Doctor of Science. Professor,  
Senior researcher  
E-mail: vvk@ngs.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Koshev Alexander Nicolaevich,**  
Doctor of Science in Chemistry, Professor,  
Head of the department «Information  
systems and computer modelling»  
Tel.: (8412) 49-61-52  
E-mail: ankoshev@rambler.ru

## НАНОМАТЕРИАЛЫ: ЭЛЕКТРОДНАЯ ОБРАБОТКА И НАНЕСЕНИЕ НА ПОВЕРХНОСТЬ НАНОМАТЕРИАЛОВ МЕТАЛЛОВ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ

В.К. Варенцов, А.Н. Кошев

Рассматривается возможность применения электрохимических методов для электродной обработки углеродных наноматериалов: нановолокон (УНВ) и нанотрубок (УНТ), а также нанесения на их поверхность металлов и их соединений. Результатами поисковых исследований доказывается перспективность нанесения на УНВ и УНТ меди, никеля, диоксида марганца посредством электролиза и электросорбции из водных растворов электролитов. Разработаны математические модели, позволяющие изучать процессы осаждения металлов на УНТ и УНВ с учетом параллельно протекающих процессов, в частности восстановления кислорода и ионов водорода, а также учитывающие изменение электропроводности материала электрода при осаждении металла или сплава металлов.

*Ключевые слова: наноматериал, углеграфитовое нановолокно, нанотрубка, электролиз, электросорбция, металл, математические модели, оптимизация.*

## NANOMATERIALS: ELECTROCHEMICAL PROCESSING OF NANOMATERIALS AND ELECTRODEPOSITION ON THEIR SURFACE METALS AND THEIR COMPOUNDS

V.K. Varentsov, A.N. Koshev

The authors consider the possibility of using electrochemical methods for carbon nanomaterials electrode processing: nanofibers (CNFs) and nanotubes (CNT), as well as metallization of the surface. The results have shown the possibility of putting copper, nickel, di-manganese hydroxide on CNF and CNT by aqueous solutions electrolysis. They have developed mathematical models of metals deposition on CNTs and CNFs with parallel reaction of oxygen and hydrogen reduction taking into account some changes of electrode material electroconductivity at metals and metals alloys sedimentation..

*Keywords: nanomaterial, carbon and graphite nanofibers, nanotubes, electrolysis, electrosorption, metal, mathematical models, optimization.*



Углеродные нановолокна и нанотрубки находят применение в процессах, связанных с нанесением на их поверхность металлов и их соединений: суперконденсаторы, катализаторы, композиционные материалы [1]. Известно использование нановолокон для повышения качества бетона, а также разработки композитов на основе строительных материалов с наполнителями из нановолокон [2]. Одним из возможных методов нанесения металлов и их соединений на поверхность УНВ и УНТ является электрохимический. Преимущество электрохимических методов заключается в возможности тонкого управления процессом за счет режима электролиза, состава электролита, токового и гидродинамического режима, а также конструкционного оформления электродной системы.

Одной из серьезных проблем при нанесении металлов на углеродные материалы, в том числе на нанотрубки и нановолокна, или при непосредственном использовании УНВ и УНТ в композиционных материалах является обеспечение хорошей адгезии с поверхностью углеродного материала. Для этих целей применяют различные методы активации поверхности УНВ и УНТ, в том числе химические, в частности сильные окислители, например концентрированные кислоты (серную, азотную или их смеси), что приводит к значительной потере массы углеродных наноматериалов [3].

Представляет научный и практический интерес применение электрохимических методов с целью как электродной обработки углеродных наноматериалов, так и нанесения на их поверхность металлов и их соединений. Электрохимические методы показали свою перспективность для решения аналогичных задач с электродами из углеродных волокнистых материалов [4–6].

Нами проводились исследования по электрохимической модификации нановолокон и нанотрубок и нанесению металлов на их поверхность. С целью функционализации поверхности наноматериалов они обрабатывались в растворе серной кислоты в специальной электрохимической ячейке в проточном электролите. После электрохимической поляризации образцы УНВ тщательно отмывались дистиллированной водой от фонового электролита. Осаждение металлов осуществлялось из электролитов, применяемых в гальваническом производстве, со значительно более низкой концентрацией ионов металлов в растворе. При проведении исследований использовались методики, ранее разработанные для модификации углеродных волокнистых материалов электролизом в растворах электролитов [4–6].

Результатами поисковых исследований показана возможность нанесения на УНВ и УНТ меди, никеля, дигидроксида марганца электролизом и электросорбцией из водных растворов электролитов. Приведенные на рис. 1 и 2 микрофотографии осадков меди и никеля свидетельствуют об эффективности применения электрохимических методов для осаждения металлов на УНТ.

Как видно из рис. 1 и 2, осадок металла может полностью или частично закрывать поверхность наноматериала. Хорошее сцепление осадка с поверхностью УНТ обеспечивается за счет предварительной функционализации поверхности УНТ электролизом в растворе электролита. Интересным представляется сравнение морфологии меди, осажденной электролитически на УНТ и углеродный волокнистый материал (УВМ) (рис. 3). На УВМ четко видны кристаллы меди различных размеров, в то время как на УНТ кристаллической меди не обнаруживается. Это, видимо, свидетельствует о существенном влиянии размера углеродного материала, на который электролитически осаждается металл, на морфологию осадка.

Функционализация поверхности УНВ и УНТ электролизом в растворе серной кислоты позволила существенно увеличить содержание кислорода на поверхности наноматериалов (данные микрорентгеноспектрального анализа), что и обеспечило хорошее сцепление осадка с поверхностью углеродного материала. Наряду с повышением содержания кислорода обнаружено присутствие серы, что свидетельствует об образовании интеркаляционных соединений в поверхностном слое УНР.

Очевидно, что для получения осадков металлов и их соединений определенных размеров и обеспечения сплошности покрытия на поверхности УНВ и УНТ необходимо выполнение специальных теоретических исследований, включающих физико-мате-

матическое моделирование как самого электрохимического процесса, так и конструкции электрохимического реактора, проведение электрохимических исследований с целью изучения закономерностей электрохимических процессов на УНВ и УНТ, а также определение особенностей электродных процессов на УНВ и УНТ в совокупности с конструкционным оформлением электрохимического процесса.

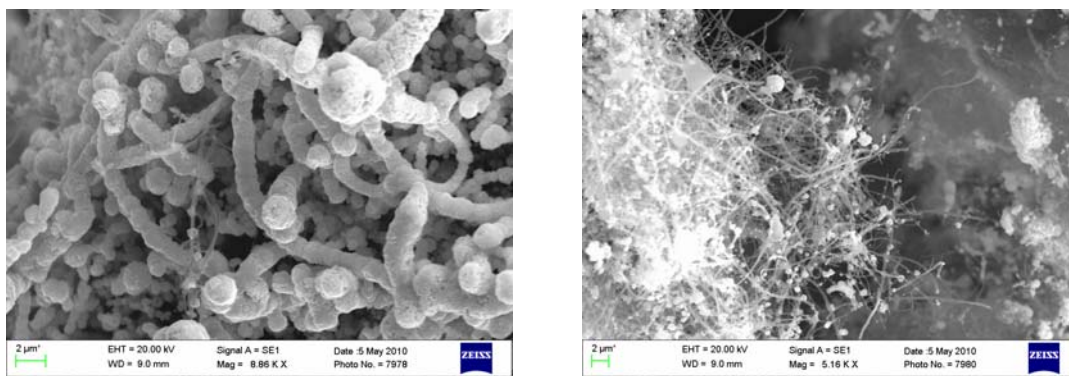


Рис. 1. Микрофотографии нанотрубок с электролитически осажденной медью

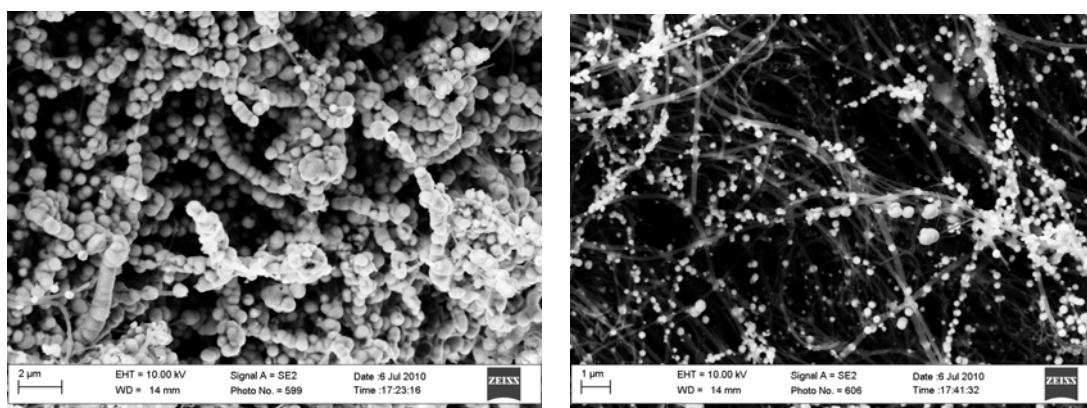


Рис. 2. Микрофотографии нанотрубок с осадком никеля

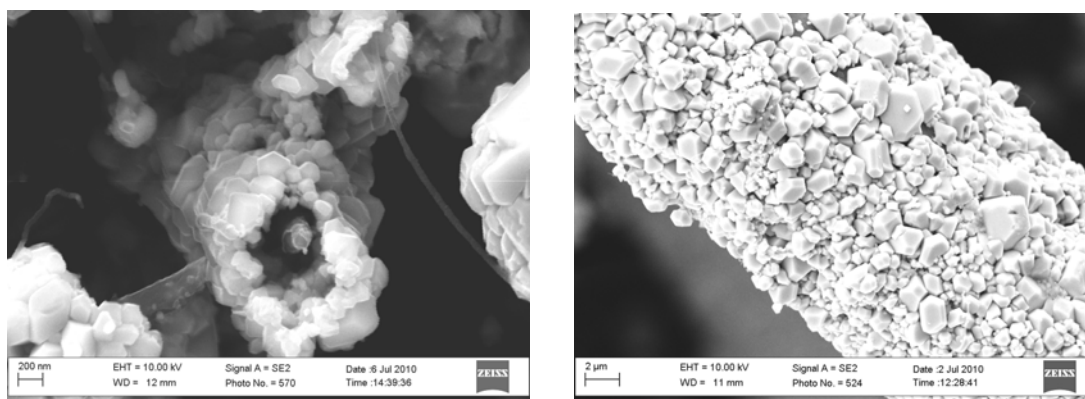


Рис. 3. Микрофотографии углеродного волокнистого материала с электролитически осажденной медью

Результаты уже проведенных исследований свидетельствуют о перспективности электрохимического воздействия на УНВ и УНТ с целью как нанесения на их поверхность металлов и их соединений, так и функционализации поверхности УНВ и УНТ и получения интеркаляционных соединений [7, 8].

Электроды из нановолокон и нанотрубок, используемые в виде электродов, представляют собой трехмерную электродную систему. Для теоретического описания окислительно-восстановительных процессов в проточных трехмерных электродах, в частности электродах из волокнистых углеродных материалов, применяются методы

физико-математического моделирования. Нами разработаны математические модели, позволяющие изучать процессы осаждения металлов с учетом параллельно протекающих реакций, в частности восстановления кислорода и ионов водорода, а также учитывающие изменение электропроводности материала электрода при осаждении металла или сплава металлов [8]:

$$F \partial z_k C_k / \partial t = \nabla \bullet \left[ - \frac{\chi_T \chi_{ж}}{\chi_T + \chi_{ж}} \nabla E \right] + S_V j_{Sk}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial C_k}{\partial r} = - \frac{S_V}{|v| z_k F} j_{Sk}, \quad (2)$$

$$j_{Sk}(x) = j_{0k} \frac{\exp(\alpha_k z_k F (E - \varphi_{Rk}) / RT) - \exp((\alpha_k - 1) z_k F (E - \varphi_{Rk}) / RT)}{1 + j_{0k} \exp(\alpha_k z_k F (E - \varphi_{Rk}) / RT) / z_k F K_m C_k}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial E}{\partial n}(t) \Big|_{\sigma_K} = J(t) \rho_T; \quad \frac{\partial E}{\partial n}(t) \Big|_{\sigma_A} = -J(t) \rho_{ж}; \quad \frac{\partial E}{\partial n}(t) \Big|_{\sigma_{II}} = 0; \quad C(t) \Big|_{\sigma_{II}} = C_0. \quad (4)$$

В приведенных уравнениях  $E$  – потенциал электрического поля, В;  $C_k$  – концентрация  $k$ -го электроактивного компонента, моль/см<sup>3</sup>;  $J$  – габаритная плотность тока, А/см<sup>2</sup>;  $j_{Sk}$  – парциальная плотность тока, А/см<sup>2</sup>/см;  $S_V$  – удельная реакционная поверхность, см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>;  $v$  – линейная скорость протока, см/с;  $K_m$  – коэффициент массопереноса;  $\chi_T$  – удельная электропроводность электрода, См/см;  $\chi_{ж}$  – удельная электропроводность электролита, См/см;  $L$  – толщина электрода, см;  $x, y, z$  – координаты произвольной точки электродного пространства;  $\tau$  – текущее время электролиза, с;  $n$  – направление нормали к границе реакционной области  $\sigma = \sigma_K + \sigma_A + \sigma_{II} + \sigma_{III}$  (слагаемые в последней сумме обозначают внешние поверхности электрода, которые в общем случае характеризуются соответственно следующими составляющими: токоподводом, токоотводом, изолятором и поверхностью электрода, через которую организован поток электролита);  $\nabla \bullet$  – символ дивергенции вектора.

Схема одного из вариантов ориентации проточного трехмерного электрода в пространстве показана на рис. 4.

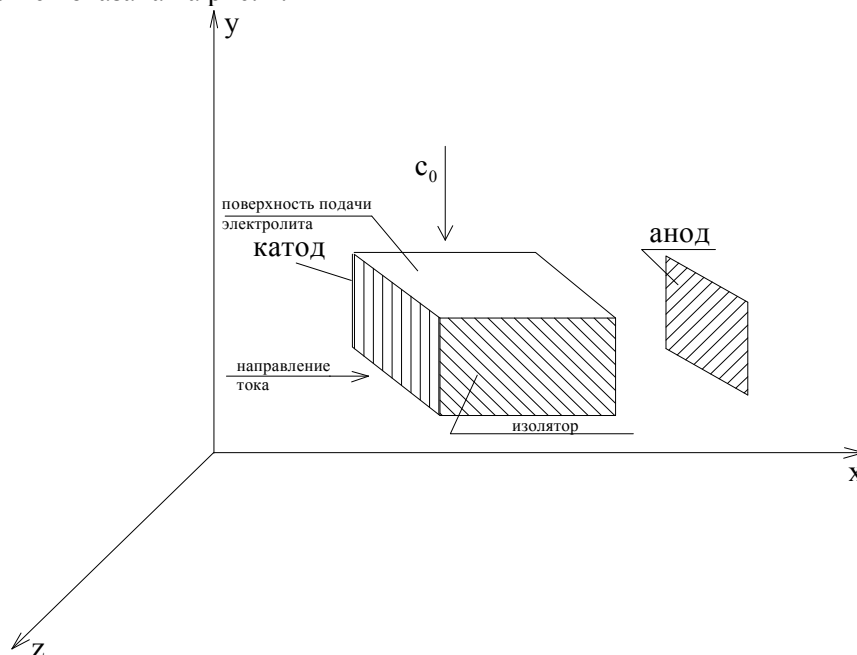


Рис. 4. Схема проточного трехмерного электрода

Система уравнений (1)–(4) дает возможность рассчитывать распределение потенциала, плотности тока и концентрации электроактивного вещества в объеме пористого электрода, а также ставить и решать задачи по оптимальной организации электрохимического процесса.

Задача оптимального управления электрохимическим процессом в проточных трехмерных электродах с использованием методов математического моделирования нами уже успешно решается [9]. Представляется перспективным применение разработанных подходов, алгоритмов и методов для исследования электрохимических процессов в электродах из УНВ и УНТ. Однако понятно, что при решении этих задач необходимо учитывать специфику УНВ и УНТ, обусловленную их малыми размерами, что, очевидно, может сказаться на кинетике и гидродинамике электродных процессов.

Таким образом, применение электрохимических методов для электродной обработки УНВ и УНТ, а также для нанесения на их поверхность металлов и их соединений является перспективной задачей, связанной с разработкой современных наноматериалов. Процессы нанесения на УНВ и УНТ меди, никеля, диоксида марганца посредством электролиза и электросорбции из водных растворов электролитов, принципиальная возможность которых показана в данной работе, позволят создавать наноматериалы с заданными свойствами, а разработка и использование математических моделей – оптимизировать процессы их получения.

#### Список литературы

1. Раков, Э.Г. Нанотрубки и фуллерены [Текст] / Э.Г. Раков. – М.: Логос, 2006. – 374 с.
2. Голубков, В.В. Строительные материалы с углеродными нановолокнами [Текст] / В.В. Голубков, Э.Г. Раков // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технологии, конструкционные и функциональные материалы (в том числе наноматериалы) и технологии их производства: материалы Седьмой междунар. конф. (Владимир, 17-19 ноября 2010). – С. 99.
3. Фиалков, А.С. Углерод. Межслоевые соединения и композиты на его основе [Текст] / А.С. Фиалков. – М.: Аспект-Пресс, 1997. – 718 с.
4. Варенцов, В.К. Электрохимические процессы и аппаратура с объемно-пористыми проточными электродами для извлечения металлов из разбавленных растворов [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / В.К. Варенцов. – Свердловск, 1990. – 452 с.
5. Варенцов В.К., Варенцова В.И. // Электрохимия. – 2001. – Т.37, № 7. – С. 811–820.
6. Варенцов В.К., Варенцова В.И. // Химия в интересах устойчивого развития. – 2000. – Т.8. – С. 353–362.
7. Варенцов, В.К. Электрохимическая модификация волокнистых и наноматериалов в водных растворах электролитов [Текст] / В.К. Варенцов, В.И. Варенцова, И.А. Батаев, И.С. Чуканов // Современные методы в теоретической и экспериментальной электрохимии: тез. докл. II Междунар. науч.-практ. конф. (Плес, Ивановская обл., 21-25 июня 2010 г.). – С. 110.
8. Варенцов, В.К. Модификация волокнистых углеродных материалов электролизом в водных растворах электролитов [Текст] / В.К. Варенцов, В.И. Варенцова, И.А. Батаев // Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология, конструкционные и функциональные материалы (в том числе наноматериалы) и технологии их производства: материалы Седьмой междунар. конф. (Владимир, 17-19 ноября 2010 г.). – С.62–63.
9. Кошев А.Н., Чиркина М.А., Варенцов В.К. // Электрохимия. – 2007. – Т. 43, № 11. – С. 1372.
10. Гвоздева И.Г., Кошев А.Н., Варенцов В.К. // Управление большими системами: электрон. сб. науч. тр. / Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – 2010. – Вып. 29.

УДК 004/94,519.62,519.67,519.688,51-74

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Смирнов Владимир Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и математическое моделирование»  
Тел.: (8412)42-33-75  
E-mail: kkatarn@rambler.ru

**Данилов Александр Максимович**, доктор технических наук, профессор, советник РААСН, зав. кафедрой «Математика и математическое моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Круглова Альбина Николаевна**, старший преподаватель кафедры «Математика и математическое моделирование»  
Тел.: (8412)42-33-75  
E-mail: albinakruglova@yandex.ru

*Московский государственный строительный университет*

Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, тел./факс: +7 (495) 781-80-07

**Королев Евгений Валерьевич**, доктор технических наук, профессор, директор НОЦ НТ  
Тел.: (495)287-49-14  
E-mail: korolev\_ev@rambler.ru

*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Smirnov Vladimir Alekseevich**, Candidate of Sciences, Associate Professor of the department «Mathematics and Mathematical Modeling»  
Tel.: (8412)42-33-75  
E-mail: kkatarn@rambler.ru

**Danilov Alexander Maksimovich**, Doctor of Science. Professor. Adviser of the Russian Academy of Architectural and Building Science. Head of the department «Mathematics and Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Kruglova Al'bina Nicolaevna**, The senior Lecturer of the department «Mathematics and Mathematical Modeling»  
Tel.: (8412)42-33-75  
E-mail: albinakruglova@yandex.ru

*Moscow State University of Civil Engineering*

Russia, 129337, Moscow, 26, Yaroslavskoe shosse, tel./fax: +7 (495) 781-80-07

**Korolev Evgeniy Valeryevich**, Doctor of Science, Professor, Head of E&Rc NT  
Tel.: (495)287-49-14  
E-mail: korolev\_ev@rambler.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КАРКАСОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТОВ: РАСЧЁТНАЯ СХЕМА И РЕАЛИЗАЦИЯ

В.А. Смирнов, А.М. Данилов, Е.В. Королев, А.Н. Круглова

Предлагается расчётная схема моделирования макроструктуры каркасного композита специального назначения. Обсуждаются особенности реализации расчётной схемы.

*Ключевые слова: метод частиц, композиционные материалы специального назначения.*

## SIMULATION OF CONSTRUCTION COMPOSITES FRAMES: COMPUTATIONAL METHOD AND IMPLEMENTATION

V.A. Smirnov, A.M. Danilov, E.V. Korolev, A.N. Kruglova

Computational method for framed composites simulation is offered. The characteristics of the proposed method implementation are discussed.

*Keywords: particle system simulation, special-purpose composites.*

Оценки природных запасов углеводородов свидетельствуют о том, что при существующих темпах промышленного роста особое внимание следует уделить атомной энергетике. Задача защиты персонала и оборудования от смешанного гамма-нейтронного излучения и от негативных воздействий радиоактивных отходов решается путем применения металлических, полимерных и композиционных защитных строительных материалов. Новым перспективным направлением является создание радиационно-защитных металлобетонов [1], являющихся композиционными строительными материалами каркасной структуры. Каркасный композит представляет собой совокупность склеенных друг с другом зёрен крупного заполнителя, пустоты между которыми заполнены мастикой. Физико-технические свойства каркасных композитов определяются свойствами клея, заполнителей и мастики; особенностями взаимодействия на границах «заполнитель – клеевой слой» и «каркас – мастика»; характером геометрической упаковки заполнителей в каркасе [1, 2].

Эффективным методом анализа сложных систем является *математическое моделирование*. Моделирование сочетает достоинства теоретических и экспериментальных методов и позволяет исследовать процессы структурообразования композиционного материала при различных сочетаниях рецептурно-технологических факторов его изготовления и условий эксплуатации.

### 1. Моделирование каркасных композитов. Метод частиц

Методологической основой моделирования структуры и свойств каркасного композита является *системно-структурный подход*. Циклический трёхэтапный процесс моделирования – от модели в терминах предметной области через вычислительный эксперимент к предметной интерпретации – на каждом структурном уровне (микроструктура клеевой и пропиточной композиции, макроструктура каркасного композита) конкретизируется необходимыми исходными данными (вероятностные законы распределения дисперсных фаз, параметры технологических режимов уплотнения каркаса, временные зависимости динамической вязкости клеевой композиции, температурные зависимости динамической вязкости пропиточного материала и др.) и расчётными процедурами – реализациями вычислительно-логических алгоритмов (рис. 1).



Рис. 1. Алгоритм моделирования композита

К настоящему времени известно большое число теоретических положений и практических схем расчёта укладки частиц (как правило, полидисперсных сфер). В то же время цель разработки этих схем – выработка методики, направленной на получение каркаса с малой пустотностью. Основным недостатком известных схем является то, что они не учитывают динамического характера процесса уплотнения. Вид и характеристики технологических воздействий на материал каркаса и клеевую композицию также не учитываются. Это затрудняет количественные оценки параметров порового пространства каркаса.

Преодоление недостатков возможно при использовании *метода частиц* вместе с *динамической моделью формирования каркаса*. Высокая общность и универсальный характер моделей, используемых в методе частиц, придают широту спектру его практических приложений [1, 3...5].

Для каркасных композитов вычислительный эксперимент включает два этапа: *моделирование крупнопористого каркаса* и *моделирование процесса пропитки*.

Движение структурных единиц каркаса происходит под действием сил тяжести и контактного взаимодействия (представлены центрально-симметричным полем отталкивания), а также сил взаимодействия с границами расчётной области. В процессе моделирования имеется возможность детального учёта технологических воздействий на материал каркаса (представлены соответствующими слагаемыми сил взаимодействия с границами).

Полученные результаты (пропиточная способность, определяемая сформировавшейся структурой каркаса) используются для моделирования движения пропиточной композиции в поровом пространстве каркаса. Каркас как система частиц фиксируется. Моделью процесса пропитки является либо закон Дарси, либо более общие уравнения Навье – Стокса (при интегрировании используется бессеточный *метод сглаженных частиц*) [3].

## 2. Расчётная схема моделирования крупнопористого каркаса

Требования, предъявляемые к каркасу композиционного материала, являются взаимоисключающими. С одной стороны, необходимо обеспечить формирование каркаса с высокой структурной прочностью, что возможно для высокоплотных каркасов (плотная упаковка, высокое среднее значение координационного числа). С другой стороны, требуется высокая фильтрующая способность (связана с необходимостью последующей пропитки).

Закон движения частиц в дисперсной системе:

$$m_i \ddot{\mathbf{r}}_i - k_i (\dot{\mathbf{r}}_i - \mathbf{v}_i) = -\nabla U_i, \quad i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -й частицы;  $\mathbf{r}_i = (x_i; y_i; z_i)$  – её координаты;  $k_i$  – коэффициент, определяемый диссипативными свойствами дисперсионной среды;  $\mathbf{v}_i$  – скорость дисперсионной среды в точке  $\mathbf{r}_i$ ;  $U_i$  – потенциал в точке  $\mathbf{r}_i$ .

Потенциал парного взаимодействия представляем выражением с заданным числом минимумов, соответствующих положениям равновесия; здесь принимаем его в виде потенциала Леннарда-Джонса [3]:

$$U(r_{ij}) = U_0 \left( \left( \frac{r_0}{r_{ij}} \right)^{12} - 2 \left( \frac{r_0}{r_{ij}} \right)^6 \right), \quad (2)$$

где  $r_{ij}$  – расстояние между поверхностями частиц;  $U_0$  – характерная энергия взаимодействия;  $r_0$  – расстояние, соответствующее положению равновесия.

Представим потенциал в правой части (1) в виде:

$$U_i = U_{i,b} + U_{i,g} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N U_{ij,p}, \quad (3)$$

где  $U_{i,b}$  – потенциал взаимодействия с границами;  $U_{i,g}$  – гравитационный потенциал;  $U_{ij,p}$  – потенциал парного взаимодействия;  $N$  – число частиц.

Потенциал взаимодействия с границами области выбираем из условия финитного характера движения частиц:

$$U(r_{i,b}) = U_0 \frac{r_0}{|r_{i,b}|}, \quad (4)$$

где  $r_{i,b}$  – расстояние от поверхности частицы до граничной поверхности;  $U_0, r_0$  – параметры, по порядку совпадающие с соответствующими величинами в выражении (2) потенциала парного взаимодействия.

Принимая скорость частицы  $\mathbf{v}_i = \dot{\mathbf{r}}_i$  за новую переменную, записываем (1) в виде системы  $6N$  обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = v_{i,x} \\ \dot{y}_i = v_{i,y} \\ \dot{z}_i = v_{i,z} \\ \dot{v}_{i,x} = \frac{1}{m_i} \left( k(v_{i,x} - V_x) - \frac{\partial U}{\partial x} \right), \quad i = \overline{1, N}, \\ \dot{v}_{i,y} = \frac{1}{m_i} \left( k(v_{i,y} - V_y) - \frac{\partial U}{\partial y} \right) \\ \dot{v}_{i,z} = \frac{1}{m_i} \left( k(v_{i,z} - V_z) - \frac{\partial U}{\partial z} \right) \end{cases} \quad (5)$$

где  $N$  – число частиц.

При моделировании используем:  
модуль силы парного взаимодействия

$$F_{ij} = F_{ij}(r_{ij}) = \frac{\partial}{\partial r} U(r_{ij}) \quad (6)$$

(сила действует вдоль прямой, соединяющей центры  $i$ -й и  $j$ -й частиц);  
модуль силы взаимодействия с границей области

$$F_{i,b} = \frac{\partial}{\partial r} U(r_{i,b}) \quad (7)$$

(сила действует вдоль проходящей через  $i$ -ю частицу нормали к границе области);  
силу тяжести

$$\mathbf{F}_{i,g} = m_i \mathbf{g}; \quad (8)$$

силу вязкого трения (действует со стороны дисперсионной среды)

$$\mathbf{F}_{i,e} = 6\pi\eta \odot R_i (\mathbf{v} - \dot{\mathbf{r}}_i), \quad (9)$$

где  $\mathbf{g}$  – ускорение свободного падения;  $R_i$  – радиус  $i$ -й частицы (рис. 2).

Величины (6)...(9) связаны с соответствующими потенциалами в правой части (3).



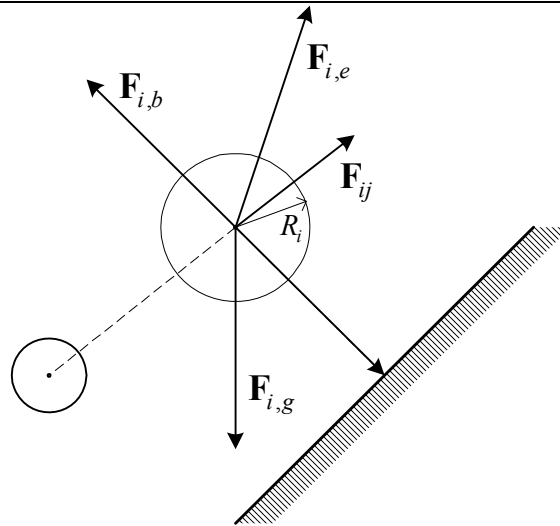


Рис. 2. Силы, учитываемые в процессе моделирования

При моделировании процесса формирования крупнопористого каркаса динамическая вязкость  $\eta'$  в соотношении (9) является расчётной величиной, которую не следует отождествлять с вязкостью  $\eta$  клеевой композиции. Адекватной моделью будет такая, в которой свойства клеевой композиции оказывают влияние на движение частицы только под влиянием сил, действующих со стороны ближайших к ней частиц. Учёт этих сил может быть выполнен следующим образом. Пусть частицы каркаса окружены слоями клеевой композиции толщиной  $d_g$  (рис. 3). Примем, что искомая сила  $\mathbf{F}_{ij,f}$ ,  $j = \overline{1, N}$ , подчиняется закону вязкого трения Ньютона и отлична от нуля в случае ненулевой площади  $S_{ij}$ , по которой перекрываются слои клеевой композиции. Для площади  $S_{ij}$  справедливо (рис. 4):

$$\begin{aligned}
 S_{ij} &= \pi h^2, \\
 \begin{cases} d_i + d_j = d, d = |\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j| \\ d_i^2 + h^2 = r_i^2, d_j^2 + h^2 = r_j^2, \\ r_i = R_i + d_g, r_j = R_j + d_g \end{cases} \\
 h^2 &= r_i^2 - d_i^2 = r_i^2 - \frac{1}{4d^2} (r_i^2 - r_j^2 + d^2)^2, \\
 S_{ij} &= \pi \left( (R_i + d_g)^2 - \frac{1}{4d^2} \left( (R_i + d_g)^2 - (R_j + d_g)^2 + (\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j)^2 \right)^2 \right). \quad (10)
 \end{aligned}$$

Сила  $\mathbf{F}_{ij,f}$  действует в плоскости сечения  $S_{ij}$  и пропорциональна проекции  $\mathbf{v}_{i,t}$  скорости частицы  $\mathbf{v}_i$  на плоскость сечения (рис. 5):

$$\mathbf{F}_{ij,f} = - \frac{S_{ij} \eta \mathbf{v}_{i,t}}{r_{ij} - R_i - R_j}. \quad (10)$$

Проекция  $\mathbf{v}_{i,t}$  равна:

$$\mathbf{v}_{i,t} = \mathbf{v}_i - \mathbf{v}_{i,n},$$

где  $\mathbf{v}_{i,n} = (\mathbf{v}_i \cdot \mathbf{r}_{ij,0}) \mathbf{r}_{ij,0}$  ( $\mathbf{r}_{ij,0} = \frac{\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j}{r_{ij}}$  есть орт вектора  $\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j$ , соединяющего центры  $j$ -й и  $i$ -й частиц).

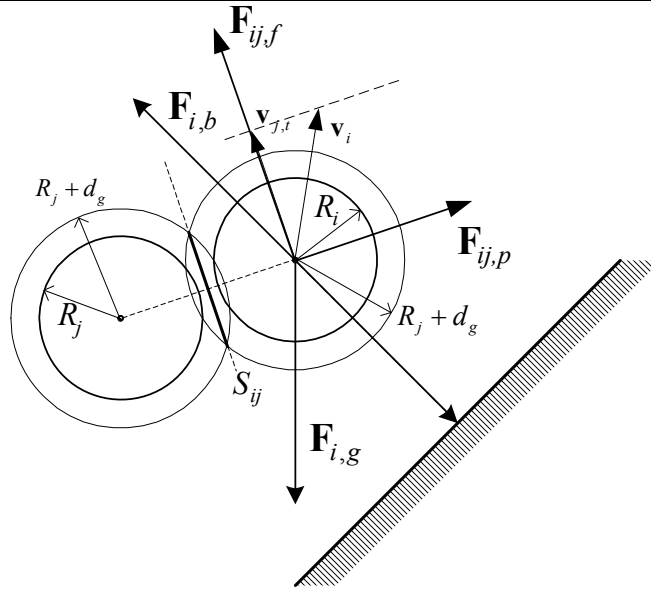


Рис. 3. К учёту сил, действующих на частицу со стороны ближайших к ней частиц

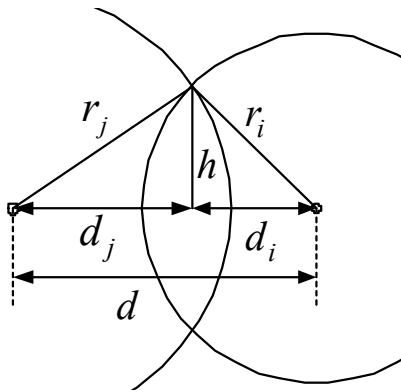


Рис. 4. К определению площади перекрытия слоёв клеевой композиции

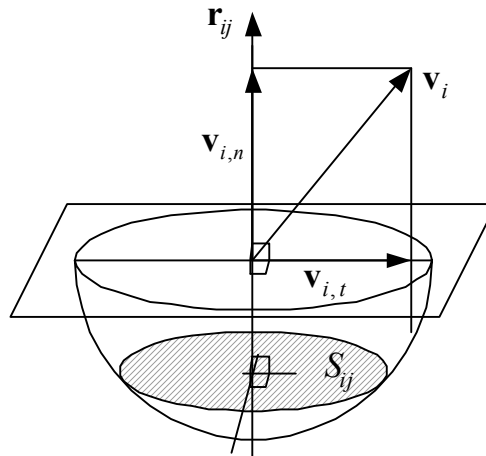


Рис. 5. К определению направления силы вязкого трения

При нахождении силы  $\mathbf{F}_{i,b}$  взаимодействия частицы с граничными поверхностями все ограничивающие моделируемый объём плоскости представляются уравнениями в нормальной форме. Разместив достаточное количество граничных плоскостей, можно учесть взаимодействие частиц с границей сложной конфигурации; из соображения вычислительной эффективности целесообразно использовать явное выражение сил взаимодействия частицы с криволинейными граничными поверхностями.

После всех преобразований систему (5) приведём в виду:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{r}}_i = \mathbf{v}_i \\ \dot{\mathbf{v}}_i = \mathbf{g} + \frac{1}{m_i} \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \mathbf{F}_{ij} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N \mathbf{F}_{ij,f} + \mathbf{F}_{i,b} + \mathbf{F}_{i,e} \right) \end{cases} \quad (11)$$

или

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}, t), \quad (12)$$

где  $\mathbf{x} = (\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_N, \mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_N)$  – радиус-вектор системы частиц в  $6N$ -мерном фазовом пространстве.

## 3. Реализация расчётной схемы

Моделирование является начальной стадией цикла разработки изделия или технологии. Этим обусловлено наличие большого числа коммерческих пакетов программ автоматизированного проектирования (CAD/CAE), включающих средства численного исследования свойств материалов и конструкций. Отдельные подзадачи моделирования методом частиц можно решить средствами коммерческих пакетов, но *доступ к необходимой информации о характеристиках каркаса в процессе численного моделирования затруднён*.

Доступны библиотеки процедур, содержащие реализации метода частиц. К сожалению, в большинстве случаев *затраты времени исследователя на сопряжение программных интерфейсов существенно превышают затраты времени на анализ и реализацию вычислительного ядра метода частиц на универсальном алгоритмическом языке; реализации расчётной схемы (1)...(12) до настоящего времени не известны*.

Для численного решения (12) при выбранных начальных условиях предлагается использовать метод вложенных форм (для которого характерны достаточная вычислительная эффективность при сохранении высокой точности, а также простота реализации адаптивного шага по времени). Расчётная схема реализована в автономном программном обеспечении, укрупнённая схема которого представлена на рис. 6. Вычисление правой части (12) выполняется с использованием параллельного программирования (обработка в нескольких нитях исполнения).



Рис. 6. Программное обеспечение численного анализа

Вычислительное ядро реализовано на языке ANSI C. На платформе Windows оно дополняется реализованным на Delphi интерфейсом пользователя. Интерфейсный блок взаимодействует с ядром через сформулированные на проблемно-ориентированном языке описания задач моделирования.

Геометрия расчётной области представляется описанием составных объектов [6]. Исходные данные, на основании которых моделируются начальные условия для системы частиц, представляющих каркас композиционного материала, включают: число частиц; плотность распределения, которому подчинены радиусы и массы частиц; характер распределения координат частиц (кубическая или гексагональная решётка, фиксированные координаты) или плотность распределения координат; минимальное допустимое расстояние между отдельными частицами.

Результаты вычислительного эксперимента представляются ядром в текстовой форме, в том числе – на языке пакета 3D Studio MAX (может быть использован для визуализации конфигураций частиц).

## Заключение

Даётся схема применения методов и средств имитационного моделирования, используемая при решении задачи разработки каркасных композиционных материалов.

Моделирование макроструктуры каркасного композита выполняется с учётом сил, действующих на частицы каркаса через слои клеевой композиции. Расчётная схема реализована в автономном программном обеспечении.

Анализ результатов численного эксперимента [1] свидетельствует об адекватности предложенной расчётной схемы.

## Список литературы

1. Королёв, Е.В. Радиационно-защитные композиты вариативно-каркасной структуры на основе расплавов [Текст]: монография / Е.В. Королёв, А.П. Самошин, О.В. Королева, В.А. Смирнов. – Пенза: Изд-во ПГУАС, 2010. – 247 с.
2. Королёв, Е.В. Структура и свойства крупнопористых каркасов для радиационно-защитных материалов [Текст] / Е.В. Королёв, О.В. Королёва, А.П. Самошин, В.А. Смирнов // Известия КазГАСУ. – Казань, 2010. – №1(13). – С. 308–315.
3. Королёв, Е.В. Метод молекулярной динамики: моделирование композитов каркасной структуры [Текст] / Е.В. Королёв, В.А. Смирнов, О.В. Королёва, А.Н. Гришина // Вісник Одеської Державної Академії Будівництва та Архитектури. Вип. 39, ч. 1. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2010. – С. 399–403.
4. Поттер, Д. Вычислительные методы в физике [Текст] / Д. Поттер. – М.: Мир, 1975. – 394 с.
5. Frenkel, D. Understanding Molecular Simulation: From Algorithms to Applications [Text] / D. Frenkel, B. Smit. – San Diego: Academic Press, 2002. – 442 p.
6. Данилов, А.М. Моделирование систем частиц: постановка начальных условий [Текст] / А.М. Данилов, Е.В. Королёв, В.А. Смирнов // Труды VI Международной конференции SICPRO-2007. – М.: ИПУ РАН, 2007. – С. 1463...1473.

УДК 691.17:519.85:51-74

Мордовский государственный университет  
им. Н. П. Огарева  
Россия, 430000, г. Саранск,  
ул. Советская, д. 24,  
тел./факс: (8342) 47-71-56

**Низина Татьяна Анатольевна,**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»,  
советник РААСН  
Тел.: 8(8342) 47-71-56  
E-mail: nizinata@yandex.ru

**Зимин Александр Николаевич,**  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»

*The Mordvian State University named after  
N.P. Ogaryov*  
Russia, 430000, Saransk, 24, Soviet St.,  
tel./ fax: (8342) 47-71-56

**Nizina Tatyana Anatolevna,**  
Doctor of Science, professor of the  
department «Building designs», Adviser of the  
Russian Academy of Architectural  
and Building Sciences  
Tel.: (8342) 47-71-56  
E-mail: nizinata@yandex.ru

**Zimin Alexander Nikolaevich,**  
Postgraduate of the department «Building  
designs»

## НАПОЛНЕННЫЕ ЭПОКСИУРЕТАНОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Т.А. Низина, А.Н. Зимин

Приведены результаты экспериментальных исследований по разработке наполненных эпоксипуретановых композитов в качестве защитных покрытий строительных конструкций.

*Ключевые слова: эпоксипуретановые композиты, эпоксидное и уретановое связующие, модификаторы, наполнители.*

## FILLED EPOXYURETHANE COMPOSITE BUILDING MATERIALS

T.A. Nizina, A.N. Zimin

The results of experimental studies on the development of filled epoxyurethane composites as structures protective coatings are given.

*Keywords: epoxyurethane composites, epoxy and urethane binder, modifiers, fillers.*

Полимерные составы на основе эпоксидных связующих активно применяются в качестве защитно-декоративных покрытий на объектах гражданского и промышленного строительства. Однако покрытия, получаемые на основе низковязких эпоксидных связующих и аминных отвердителей, имеют низкую эластичность, что приводит к необходимости их дополнительной модификации.

Одним из наиболее перспективных направлений разработки эффективных защитных покрытий с повышенными деформационно-прочностными характеристиками является модификация эпоксидных связующих уретановыми олигомерами. Эпоксипуретановые связующие, получаемые в процессе совмещения эпоксидов и уретанов, обладают комплексом улучшенных характеристик. Анализ проведенных ранее исследований на основе метода последовательного симплекс-планирования [1] показал, что введение в состав эпоксидных композитов уретановых модификаторов позволяет повысить предел прочности при растяжении и изгибе, а также относительное удлинение при растяжении на 27...34 %. Экспериментальные исследования подтвердили перспективность выбранного способа модификации составов на основе эпоксидного связующего ЭД-20 полиуретановыми композициями, состоящими из различных комбинаций масло касторовое:Совермол 815 (1...3 отн. ед.). Отношение полиуретанового связующего к эпоксидному (У:ЭО) варьировалось в интервале от 0 до 0,8; содержание отвердителя ПЭПА составляло 7...13 % от массы эпоксидного связующего.

Анализ полигонов частот [2] позволил выявить области исследуемых факторов, дающих оптимальные решения: отношение У:ЭО=0,02...0,26; соотношение масло кас-

торовое:Совермол 815=1,3...3; содержание отвердителя ПЭПА от 7 до 11,2 %. Установлено, что наибольшее модифицирующее воздействие на эпоксидные композиты оказывает введение до 20 % уретановых связующих; поэтому дальнейшие исследования были проведены для составов с соотношением У:ЭО≤0,2.

Оптимизация составов на основе метода скаляризации [3] с целью повышения прочностных характеристик эпоксидных композитов при растяжении и изгибе с одновременным обеспечением показателей предела прочности при сжатии не ниже показателей, свойственных контрольному немодифицированному составу ( $R_{p,тр.еб.} = 32,48$  МПа;  $R_{изг,тр.еб.} = 34,6$  МПа;  $R_{сж,тр.еб.} = 108,9$  МПа), показала, что целевая функция

$$q(x_1, x_2, x_3) = \min \left\{ \frac{R_p}{R_{p,тр.еб.}}, \frac{R_{изг.}}{R_{изг,тр.еб.}} \right\}$$

достигает максимальных значений для композитов с содержанием уретановых связующих 2...12 % от массы эпоксидного связующего и соотношением масло касторовое:Совермол 815=1,9...3. Выявлено, что с повышением количества отвердителя ПЭПА с 7 до 9,4 % происходит уменьшение области компромиссных составов, а также снижение максимума целевой функции.

Ниже приводятся результаты исследований наполненных эпоксиуретановых композитов с повышенными упругопрочностными характеристиками. Варьируемыми факторами являлись: соотношение У:ЭО ( $x_1$ ), степень наполнения ( $x_2$ ), содержание мела ( $v_1$ ), маршалита ( $v_2$ ) и резиновой крошки ( $v_3$ ) в смеси наполнителей (см. таблицу). Для наглядности изображения влияния вида наполнителя на изменение физико-механических характеристик композитов использовалась модель, основанная на применении треугольных диаграмм Розенбома – Гиббса.

Уровни варьирования переменных факторов

Структурные параметры	Уровни варьирования			Максимальное содержание наполнителей в смеси (100 %) на100 мас. ч. смолы ЭД-20, мас. ч.		
	-1	0	+1	$v_1$	$v_2$	$v_3$
$x_1$ – соотношение У:ЭО, отн. ед.	0	0,05	0,1	мел	маршалит	резиновая крошка
$x_2$ – степень наполнения, %	25	50	75	160	220	40

Изолинии влияния для полиномиальных моделей

$$y = b_1 \cdot v_1 + b_2 \cdot v_2 + b_3 \cdot v_3 + b_{12} \cdot v_1 \cdot v_2 + b_{13} \cdot v_1 \cdot v_3 + b_{23} \cdot v_2 \cdot v_3 + c_{11} \cdot v_1 \cdot x_1 + c_{21} \cdot v_2 \cdot x_1 + c_{31} \cdot v_3 \cdot x_1 + c_{12} \cdot v_1 \cdot x_2 + c_{22} \cdot v_2 \cdot x_2 + c_{32} \cdot v_3 \cdot x_2 + c_{121} \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot x_1 + c_{131} \cdot v_1 \cdot v_3 \cdot x_1 + c_{231} \cdot v_2 \cdot v_3 \cdot x_1 + c_{122} \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot x_2 + c_{132} \cdot v_1 \cdot v_3 \cdot x_2 + c_{232} \cdot v_2 \cdot v_3 \cdot x_2,$$

описывающих изменение упругопрочностных характеристик эпоксиуретановых композитов в зависимости от структурных параметров, приведены на рис. 1–3 (диаграммы «треугольники на квадрате» показывают влияние на характеристики соотношения наполнителей при фиксированных уровнях параметров  $x_1$  и  $x_2$  (см. рис. 1); диаграммы «квадраты на треугольнике» иллюстрируют изменение характеристик в зависимости от соотношения уретанового и эпоксидного связующих и степени наполнения при определенной комбинации наполнителей (см. рис. 2); изоповерхности влияния мела, маршалита и резиновой крошки и их доли в смеси наполнителей в зависимости от степени наполнения и соотношения У:ЭО (см. рис. 3)).

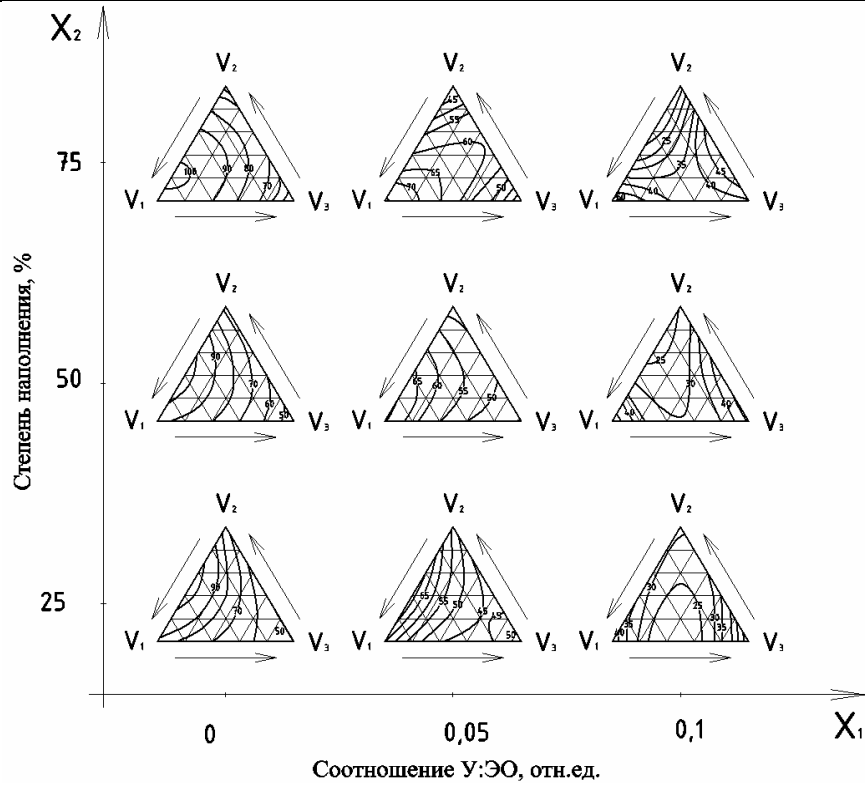


Рис. 1. Диаграмма «треугольники на квадрате» изменения предела прочности при сжатии эпоксиуретановых композитов в зависимости от структурных параметров (МПа)

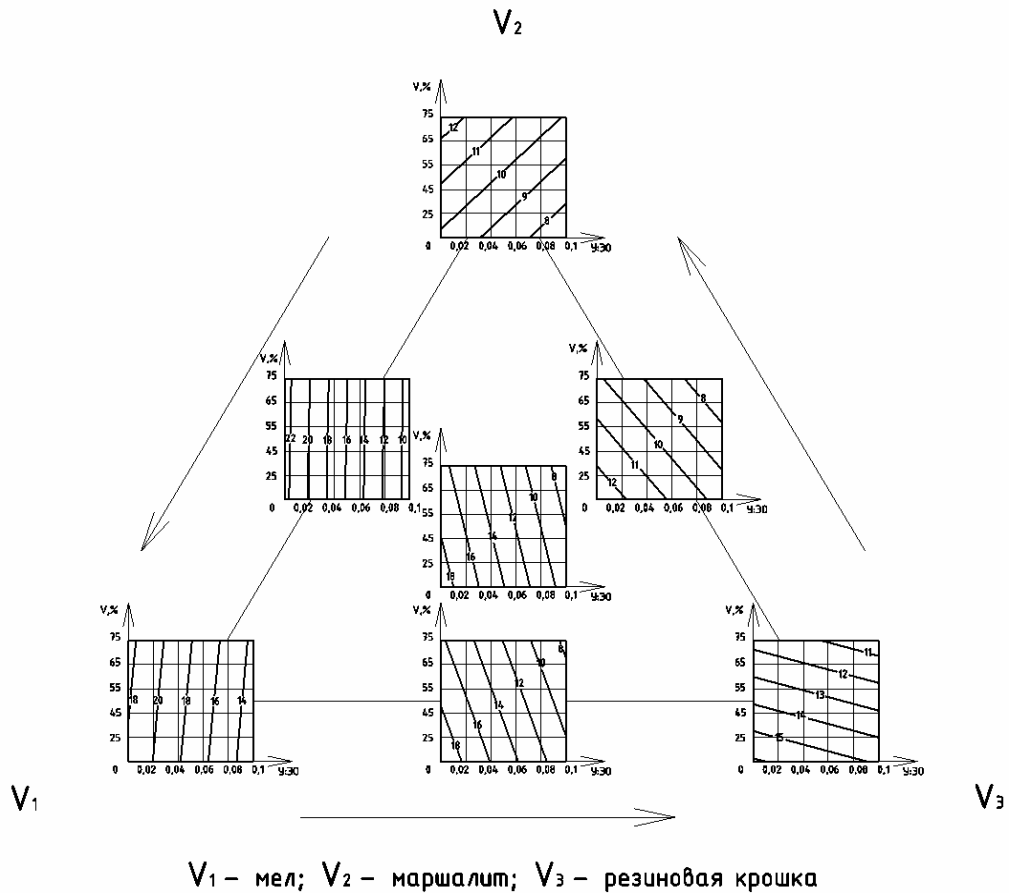


Рис. 2. Диаграмма «квадраты на треугольнике» изменения предела прочности при изгибе эпоксиуретановых композитов в зависимости от структурных параметров (МПа)

Из рис. 1 следует, что вид и количество наполнителя оказывают существенное влияние на свойства полимерных композитов. Плотность эпоксиуретановых композитов повышается с ростом степени наполнения и доли маршалита в смеси наполнителей. Увеличение в составе эпоксиуретановых композитов количества эпоксидной смолы ведет к повышению, а содержания полиуретанового связующего и доли резиновой крошки в смеси наполнителей – к снижению предела прочности при сжатии (см. рис. 1, 3, а-в).

Наблюдается (см. рис. 2) повышение предела прочности при изгибе в случае наполнения эпоксиуретановых композитов мелом и комбинацией мел:маршалит при соотношении наполнителей 70:30 %. Предел прочности при растяжении достигает максимальных значений при степенях наполнения от 25 до 75 %, соотношении наполнителей мел:маршалит = 50:50 % для композитов, не содержащих уретановых связующих, а также при 25 %-й степени наполнения составов резиновой крошкой и соотношении У:ЭО = 0,1 (см. рис. 3, г-е).

Наибольшие значения относительного удлинения при растяжении зафиксированы для эпоксиуретановых композитов при 25 %-й степени наполнения резиновой крошкой и относительном содержании уретанового связующего У:ЭО=0,1, а также для эпоксидных композитов с 75 %-й степенью наполнения и соотношением наполнителей мел : маршалит = 50:50 %. Для составов, наполненных мелом и комбинацией «мел + резиновая крошка», наблюдается увеличение модуля упругости при сжатии с уменьшением степени наполнения и повышением соотношения У:ЭО.

На основе метода экспериментально-статистического моделирования выполнялся анализ влияния уретанового модификатора на свойства разрабатываемых композитов. В данном случае оптимизация велась по величине, определяемой как отношение характеристики композита с уретановым модификатором к аналогичному параметру состава без модификатора. Изолинии, построенные по максимальным относительным значениям исследуемых параметров, достигаемым при различных комбинациях наполнителей, свидетельствуют о возможности повышения предела прочности и относительного удлинения при растяжении, соответственно, на 36 и 25 % (рис. 4).

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее оптимальным наполнителем для получения эпоксиуретановых композитов с высокими упругопрочностными показателями является мел или комбинация наполнителей мел + маршалит при соотношении наполнителей (50...70) : (30...50) %. Введение в состав эпоксиуретановых композитов от 60 до 80 % резиновой крошки позволяет существенно повысить деформативные характеристики (относительное удлинение при растяжении и предельную сжимаемость при сжатии), однако это приводит к значительному снижению прочностных параметров.

2. Максимальный эффект повышения предела прочности и относительного удлинения при растяжении зафиксирован для композитов со степенью наполнения 75 % и соотношением уретанового и эпоксидного связующих, равным 0,1. Наибольший прирост предела прочности при сжатии для этой области исследования составляет 14 %.



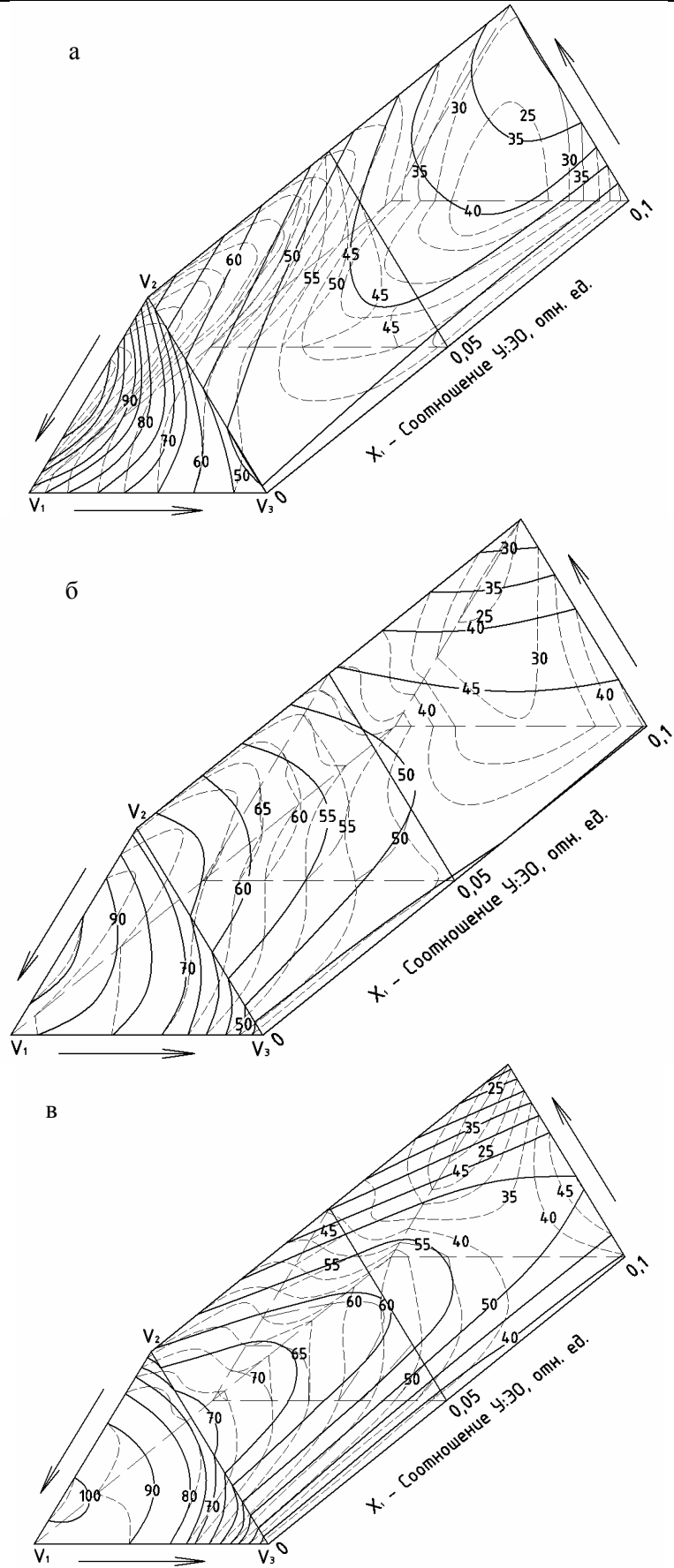


Рис. 3. Изоповерхности изменения пределов прочности при сжатии (а, б, в), МПа, эпоксиуретановых композитов в зависимости от степени наполнения – 25 (а), 50 (б), 75 % (в) (начало)

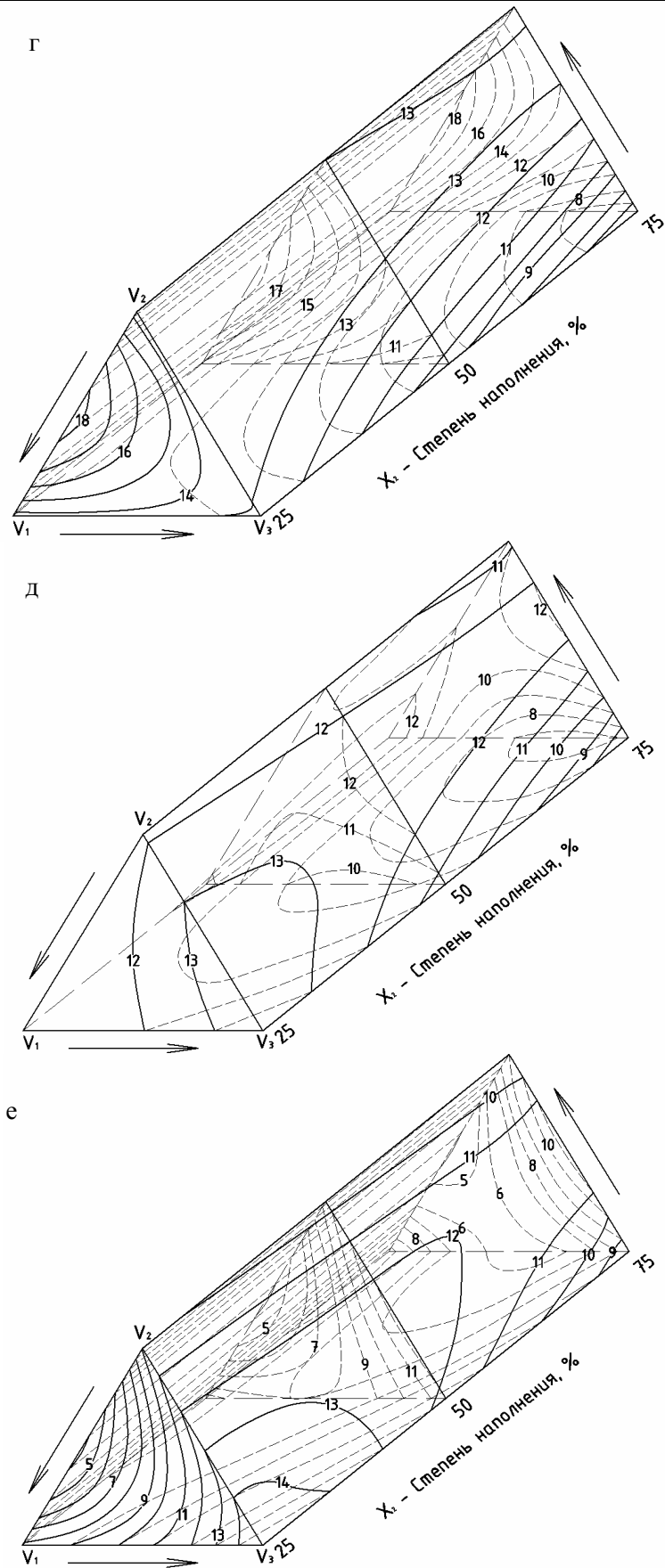


Рис. 3. Изоповерхности изменения пределов прочности при растяжении (г, д, е), МПа, эпоксиретановых композитов в зависимости от соотношения У:ЭО – 0 (г), 0.05 (д), 0.1 (е) (окончание)

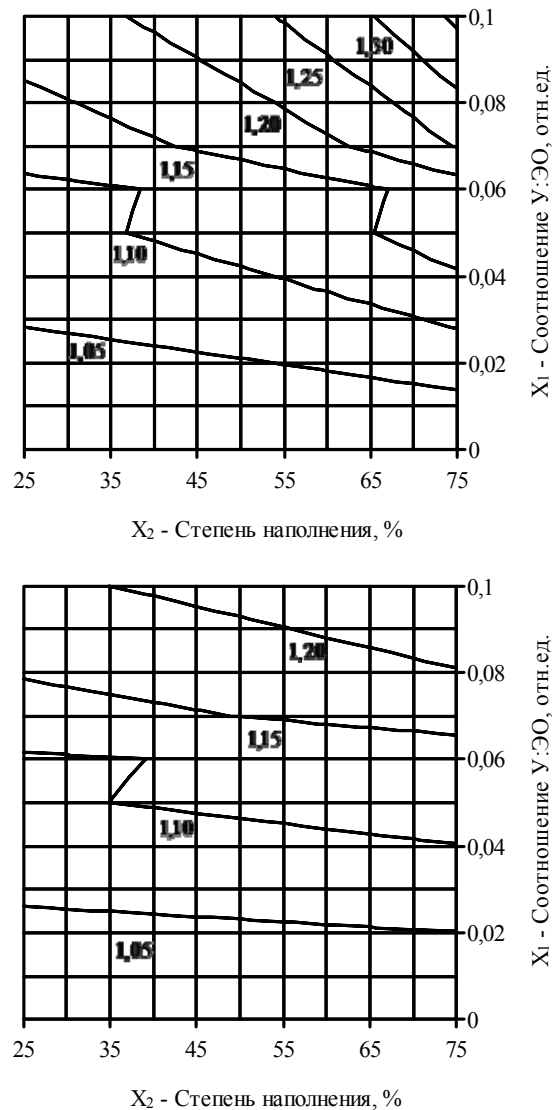


Рис. 4. Изолинии изменения максимальных относительных значений предела прочности и относительного удлинения при растяжении в зависимости от структурных параметров

Проведенные исследования позволили выявить оптимальное содержание уретанового модификатора в составе эпоксиуретановых связующих. Разработаны высоконаполненные эпоксиуретановые составы, обладающие повышенным комплексом деформационно-прочностных характеристик по сравнению с немодифицированными эпоксидными композитами.

#### Список литературы

1. Низина, Т.А. Результаты экспериментальных исследований эпоксиуретановых композитов [Текст] / Т.А. Низина, А.Н. Зимин // Актуальные вопросы строительства: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – С. 123–128.
2. Низина, Т.А. Применение концепции полей свойств материалов для оценки эффективности движения в симплекс-планировании [Текст] / Т.А. Низина, А.Н. Зимин // Актуальные вопросы строительства: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2008. – С. 129–133.
3. Гарькина, И.А. Преодоление неопределенностей целей в задаче многокритериальной оптимизации на примере разработки сверхтяжелых бетонов для защиты от радиации [Текст] / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев, В.А. Смирнов // Строительные материалы. – 2006. – № 9. Сер. Наука. – № 8. – С. 23–26.

УДК 547:551.3.051

*ООО «Диатомовый комбинат»*Россия, 432700, Ульяновск, ул. Кузнецова, 4б,  
тел.: 8 (8422) 42-08-35**Никифоров Евгений Александрович,**кандидат экономических наук,  
председатель совета директоров  
Тел.: 8(8422)70-90-32  
E-mail: 709032@rambler.ru**Рябов Георгий Константинович,**кандидат технических наук,  
доцент, директор по науке  
и научно-техническому развитию  
Тел.: 8(8422)70-81-65  
E-mail: ryabov.g@mail.ru*ООО «Научно-технологический центр»*Россия, 432700, г.Ульяновск, ул. Кузнецова, 4б,  
тел.: (8422) 42-08-39**Убаськина Юлия Александровна,**кандидат химических наук,  
ведущий специалист.  
Тел.: 89033373803.  
E-mail: baseou@mail.ru**Фетюхина Екатерина Геннадьевна,**ведущий специалист.  
E-mail: kato-cat@yandex.ru*Company limited liability «Diatom Plant»*Russia, 432700, Ulyanovsk, 4b, Kuznetsova St.  
tel.: 8 (8422) 42-08-35**Nikiforov Evgeny Aleksartdrovich,**Candidate of Science in Economic,  
Chairman of the Board of Directors  
Tel.: 8(8422)70-90-32  
E-mail: 709032@rambler.ru**Ryabov Georgy Konstantinovich,**Candidate of Science, Associate Director  
for Science and Getting Started-Technical  
Development  
Tel.: 8(8422)70-81-65  
E-mail: ryabov.g@mail.ru*Research and Development Center*Russia, 432700, Ulyanovsk, 4b,  
Kuznetsova St.  
tel.: (8422) 42-08-39**Ubaskina Julia Aleksartdrovna,**Candidate of Science in Chemistry,  
leading expert.  
Tel.: 89033373803.  
E-mail: baseou@mail.ru**Fetyuhina Catherine Gennadevna,**leading expert.  
E-mail: kato-cat@yandex.ru

## УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ ДИАТОМИТА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Е.А. Никифоров, Ю.А. Убаськина, Г.К. Рябов, Е.Г. Фетюхина

Приведены результаты изучения структуры диатомита с целью определения возможности его использования при производстве пеностеклокерамических теплоизоляционных изделий. Установлено, что структурные элементы диатомита при минимальной термической обработке (до ~400 °С) приобретают размеры наночастиц с сохранением мезопор. В результате диатомит приобретает устойчивость к действию кислот и щелочей.

*Ключевые слова: диатомит, пеностеклокерамика, теплоизоляционные изделия.*

## REGARDING DIATOMITE SPECIAL STRUCTURE IN THE PRODUCTION OF FOAMGLASSCERAMIC THERMAL INSULATION PRODUCTS

Е.А. Nikiforov, Y.A. Ubaskina, G.K. Ryabov, E.G. Fetyuhina

The authors give some research results of diatomite structure to determine its possible use for manufacture of foamglassceramic thermal insulation products. It is established that at minimal thermal processing (up to ~ 400 °C) the diatomite structural elements acquire the dimensions of nanoparticles with mesopores. As a result diatomite possesses resistance to acids and alkalis.

*Keywords: diatomite, foamglassceramic, thermal insulation products.*

Потребность в новых наукоемких технологиях затрагивает и использование полезных ископаемых, разработка которых нуждается в постоянном усовершенствовании. Это относится не только к нефти и газу, но и к месторождениям различных минеральных пород. На сегодняшний день существует проблема использования огромных залежей высококлассного кремнистого сырья, первичным и наиболее ценным из которого является диатомит. Применение диатомита в настоящее время в основном обусловлено его физико-механическими свойствами: способностью к сорбции (адсорбция, фильтрация, катализ), низкой температурой плавления – 1500...1600 °С (относительно кварцевого песка) (производство кирпича, силикат-глыбы, гранулированного сорбента), низкой теплопроводностью (производство теплоизоляционных материалов). Несмотря на дешевизну сырья (~45...60 руб./кг), применяется диатомит весьма ограниченно вследствие малой изученности его физико-химических свойств и структуры. Вместе с тем углубленные исследования структуры и свойств диатомита выявляют имеющиеся бесспорные достоинства, раскрывающие широкие возможности его использования при производстве ячеистого стекла, состоящего из множества мелких замкнутых пузырьков шарообразной и полиэдрической формы и называемого пеностеклокерамикой. Пеностеклокерамика – легкий негорючий неорганический теплоизоляционный материал на основе диатомита. Ключевой научно-технической проблемой является создание промышленной технологии производства конструкционно-теплоизоляционных изделий из пеностеклокерамики с достижением заданных параметров – прочности, плотности, паропроницаемости, теплопроводности – на основе диатомита. При этом предусматривается разработка специальных технологий, в основе которых лежат процессы, идущие на наноуровне, что становится возможным с учетом особенностей применяемого сырья и нестандартного оборудования. Ключевые технологические проблемы при производстве пеностеклокерамики связаны с созданием принципиально новых технологий, включающих обработку сырья на наноуровне, разработку режимов гранулирования, сушки, вспучивания и отжига, измерение показателей качества полуфабрикатов и готовой продукции на разных стадиях производства пеностеклокерамики.

Диатомит представляет собой мезопористую (по классификации ИЮПАК, предложенной М. Дубининым) кремнистую породу, состоящую из скелетов диатомей размером до 0,5 мм с диапазоном диаметра пор 10...35 нм. Недостатки диатомита как материала для нанотехнологий настолько очевидны, что вопрос использования этой кремнистой породы в данной области в настоящее время практически не рассматривается. Это и неодинаковый состав частиц по форме и размерам, превышающим 100 нм, и загрязненность минеральными примесями (кристаллами солей Ca, Na, Fe, Al), органическими веществами (до 9 % [1]). Все это не способствует изучению направлений и способов применения диатомита для нанопромышленности.

Все известные методы улучшения состава диатомита связаны с молекулярной биологией. Успешные попытки создания диатомей искусственным выращиванием их в чужеродных средах [2] со скелетами заданных форм и размеров [3] и т.д. представляют небольшое узконаправленное, дорогое производство, в отличие от использования дешевых полезных ископаемых, кремнистых пород, имеющих в большом количестве и доступных для добычи. Наше исследование посвящено изучению возможности применения данного природного сырья в современных нанотехнологиях. Кремнезем диатомита представляет собой инертный материал, устойчивый к колебаниям температуры. По рентгенограмме диатомита можно определить, что кремнезем кремнистых пород имеет аморфную природу (рис. 1).

Ультраструктура каждой частицы диатомита обусловлена жизнедеятельностью диатомеи, она сформирована благодаря действию белков – силлафинов [3, 4], то есть биологически предопределена. Наиболее полно процесс формирования кремнеземной составляющей диатомеи описан в [5]. Именно этим обстоятельством обусловлены особенности кремнезема кремнистых пород. Отсутствие дальнего порядка и невозможность выделения монокристалла в структуре диатомового скелета не позволяют говорить о кристаллической или даже псевдокристаллической решетке.

Диатомовые скелеты состоят из рентгеноаморфного опала, обладающего изотропностью и интенсивной микротрещиноватостью, свидетельствующей о его коллоидной природе [6]. Однако сохранение матричной структуры диатомового скелета обусловлено возрастанием числа межмолекулярных Si–O–Si-связей, образующихся при постепенном удалении влаги.

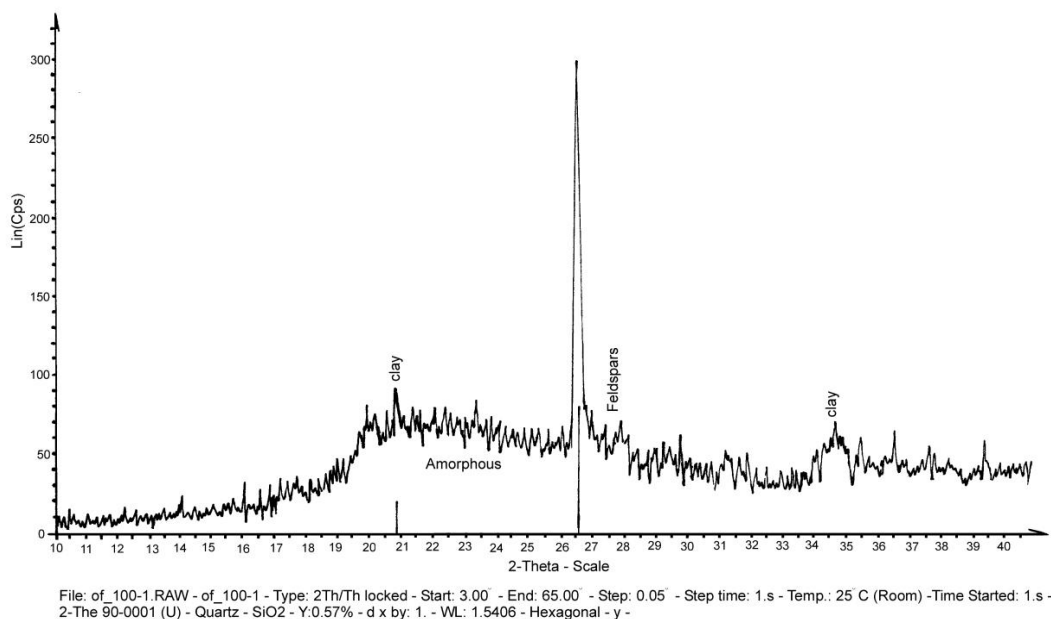


Рис. 1. Рентгенограмма кремнезема диатомита

На ИК-спектрах диатомита, сделанных для проб, прокаленных при разных температурах, можно заметить постепенное увеличение пиков данных связей при повышении температуры (моделирование процесса высыхания). При этом следует учитывать различие в процессах медленной и быстрой сушки. При прокаливании диатомита интенсивность пика при  $559\text{ см}^{-1}$  убывает и появляется пик  $521\text{ см}^{-1}$ , что обусловлено деформационными колебаниями циклов, в которых угол Si–O–Si меньше  $140^\circ$ . Сдвиг полосы при  $521\text{ см}^{-1}$  в сторону больших частот свидетельствует в пользу возрастания углового напряжения в Si–O–Si-структурах, что можно трактовать как следствие дегидратации Si–OH-групп на поверхности образца с образованием Si–O–Si-связей, входящих в малые циклы на поверхности диатомита. Об этом можно судить и из рассмотрения области валентных колебаний  $\nu$  Si–O ( $900\text{--}1300\text{ см}^{-1}$ ). Сравнение этих областей позволяет выявить некоторые изменения, происходящие при воздействии высоких температур ( $850\text{ }^\circ\text{C}$ ) на структуру кремнеземной составляющей диатомита. Так, при прокаливании диатомита наблюдается увеличение интенсивности пика при  $1229\text{--}1234\text{ см}^{-1}$ , что также свидетельствует об образовании Si–O–Si-связей, в которых угловое и валентное напряжение приводит к увеличению частоты как валентных, так и деформационных колебаний. Биогенная структура диатомита обуславливает аномальные свойства кремнезема диатомита, по сравнению с искусственно полученным аморфным диоксидом кремния и мелкокристаллическим кварцем. Как показывают результаты наших исследований, кремнезем диатомита ограниченно растворим в растворах щелочи (до 37 %) и в полифенолах (32 %-я растворимость в растворе пирокатехина), по сравнению с аморфным кремнеземом, полученным искусственным путем (78 %-е растворение в растворе пирокатехина, 98 %-е растворение в растворе щелочи), устойчив к действию кислот в диапазоне pH 1...3 [7]. Кристаллические формы кремнезема практически нерастворимы в данных растворах при нормальных условиях без дополнительного диспергирования. Матричная структура диатомита, сформированная почти 10 млн. лет назад, сохраняет при прокаливании пористую структуру, о чем свидетельствует микроскопический анализ прокаленных образцов диатомита (рис. 2).

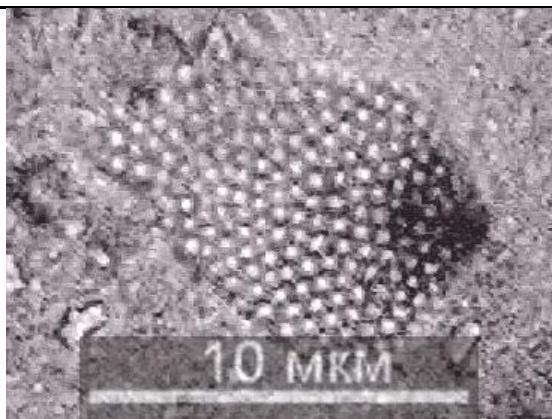


Рис. 2. Фотография части диатомового скелета. Диатомит прокален при 300 °С

Между тем данные об изменении сорбции диатомитом при изменении температуры прокаливания, а также соответствующие ИК-спектры прокаленных образцов показывают увеличение количества Si–O–Si-связей, что косвенно свидетельствует об удалении влаги, упрочнении структуры, указывает на наличие процесса силикатообразования, который начинается с момента нагревания диатомита и заканчивается при 800...900 °С. На этом этапе из диатомита удаляется гигроскопическая, кристаллизационная и химически связанная вода. Повышение температуры действует на диатомовые скелеты, вызывая их разрушение.

Часть минеральных кристаллов в твердом состоянии реагирует с кремнеземом, превращает его в соответствующие силикаты. Закономерности процесса адсорбции метиленового синего диатомитом с увеличением температуры его прокаливания приведены на рис. 3. Изменение структуры диатомита при прокаливании отражается и на его растворимости. Растворимость диатомита при прокаливании обусловлена термической деструкцией частиц породы (возрастание степени измельчения) в пределах температур от 100 до 400 °С, появлением реакционноспособных силоксановых связей и агломерацией частиц в крупные элементы при 500...1000 °С. Причем при температуре от 500 до 850 °С одновременно идут процессы измельчения и спекания частиц, а при дальнейшем повышении температуры – в основном процессы спекания.

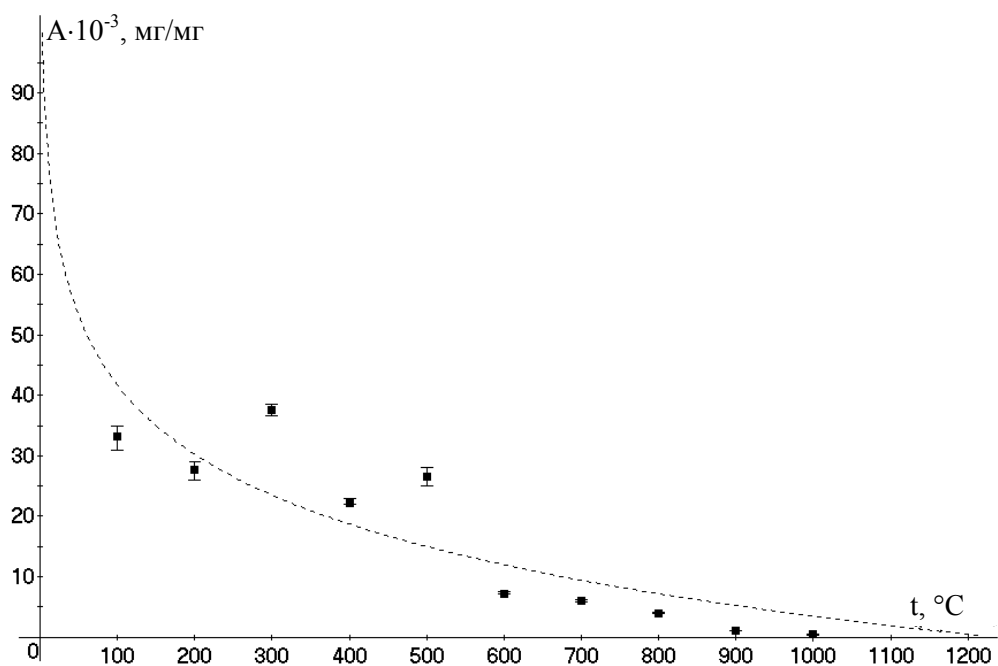


Рис. 3. Изменение адсорбции индикатора метиленового синего на диатомите в зависимости от температуры

Таким образом, результаты нашего исследования позволяют сделать вывод о том, что диатомит представляет собой уникальный по свойствам материал. Его структурные элементы при минимальной термической обработке (до ~400 °С) приобретают размеры наночастиц с сохранением мезопор, с устойчивостью к действию кислот и щелочей (в достаточно широком диапазоне pH) и с низкой растворимостью (52 мг/л против 120 мг/л аморфного кремнезема [7]). Следовательно, можно с уверенностью говорить о возможности использования диатомита при создании пеностеклокерамики, что является особенно актуальным для регионов, где расположены крупнейшие месторождения диатомита.

#### Список литературы

1. Кремнистые породы СССР [Текст] / отв. ред. У.Г. Дистанов. – Казань: Татарское кн. изд-во, 1976. – 412 с.
2. Jeffryes, C. Metabolic Insertion of Nanostructured TiO<sub>2</sub> into the Patterned Biosilica of the Diatom *Pinnularia* sp. by a Two-Stage Bioreactor Cultivation Process Clayton [Text] / C. Jeffryes, T. Gutu, J. Jiao, G. L. Rorrer // ACS Nano. – 2008. – № 2 (10). – P. 2103–2112.
3. Poulsen, N. Silica morphogenesis by alternative processing of silaffins in the Diatom *Thalassiosira pseudonana* [Text] / N. Poulsen, N. Kröger // J. Biol. Chem. – 2004. – № 279. – P. 42993–42999.
4. Sumper, M. Silica formation in Diatoms: the function of long-chain polyamines and silaffins [Text] / M. Sumper, N. Kröger // J. Mater. Chem. – 2004. – № 14. – P. 2059–2065.
5. Zurzolo, C. Exploring Bioinorganic Pattern Formation in Diatoms. A Story of Polarized Trafficking [Text] / C. Zurzolo, C. Bowler // Plant Physiol. – 2001. – V. 127. – P. 1339–1345.
6. Фролов, В.Т. Литология [Текст]: учебное пособие / В.Т. Фролов. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – Кн.1. – 336 с.
7. Убаськина, Ю.А. Разработка методов синтеза органических производных кремния на основе биогенного кремнезема [Текст]: дис. ... канд. хим. наук / Ю.А. Убаськина. – Ульяновск: УлГУ, 2003. – 136 с.



УДК 535.32

Московская международная академия  
бизнеса и управления  
(филиал в г.Протвино)

Россия, 142280, Московская обл.,  
г. Протвино, Молодежный проезд, д.2

**Савченкова Мира Викторовна**,  
кандидат физико-математических наук,  
ассистент кафедры «Информатика»

*Липецкий государственный педагогический  
университет*

Россия, 398020, г. Липецк, ул. Московская, д. 30,  
тел.: (4742) 32-83-03

**Колосков Дмитрий Николаевич**,  
ассистент кафедры электроники и  
телекоммуникаций  
E-mail: dnk1905@bk.ru

*Московский государственный технический  
университет им. Баумана*

Россия, 107005, г. Москва,  
ул. 2-я Бауманская, д. 5,  
тел.:(095)261-1743; факс: (095) 2679893

**Бреховских Владимир Валерьевич**,  
студент гр. Ф-62  
E-mail: fedorov@intered.mgtu.ru

*International academy of Business &  
management Protvino branch*

Russia, 142280, Moscow Region,  
Protvino, 2, Molodezhny proezd

**Savchenkova Mira Viktorovna**,  
Candidate of Science in Physics and Mathematics,  
assistant of the department «Informatics»

*Lipetsk State Pedagogical University*

Russia, 398020, Lipetsk, 30, Moscovskay St.,  
tel.: (4742) 32-83-03

**Koloskov Dmitry Nikolaevich**,  
Assistant of the department «Electronics and  
Telecommunications»  
E-mail: dnk1905@bk.ru

*Bauman Moscow State Technical University*

Russia, 107005, Moscow,  
5, 2-ya Baumanskay,  
tel.: (095) 261-1743; fax: (095) 2679893

**Brekhovskikh Vladimir Valeryevich**,  
student of group F-62  
E-mail: fedorov@intered.mgtu.ru

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ ОПАЛОВЫХ МАТРИЦ И НАНОКОМПОЗИТОВ ИЗ КУБИЧЕСКИХ УПАКОВОК ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАНОСФЕР

М.В. Савченкова, Д.Н. Колосков, В.В. Бреховских

Предложены математические модели оптических фильтров, построенные при помощи автономных блоков в виде прямоугольных параллелепипедов с диэлектрическими наносферами и виртуальными каналами Флоке на основе опаловых матриц и нанокomпозитов из кубических упаковок диэлектрических наносфер двуокиси кремния. Получены результаты математического расчета зависимостей коэффициента прохождения электромагнитного излучения через оптический фильтр от частоты при различной толщине фотонного кристалла.

*Ключевые слова: дифракция, коэффициент прохождения, опаловая матрица, оптический фильтр, фотонный кристалл, нанокomпозиты.*

## MATHEMATICAL MODELING OF OPTICAL FILTERS BASED ON OPAL MATRICES AND NANOCOMPOSITES FROM THE CUBIC PACKAGES OF DIELECTRIC NANOSPHERES

M.V. Savchenkova, D.N. Koloskov, V.V. Brekhovskikh

Mathematical models of optical filters based on opal matrices from cubic packages of dielectric nanospheres of silica are given. Mathematical models are constructed using autonomous units in the form of rectangular parallelepipeds with dielectric nanospheres and virtual Floquet channels. Mathematical calculation results of the transmission coefficient of electromagnetic radiation through an optical filter dependency on the frequency for different thickness of a photonic crystal are given.

*Keywords: diffraction, transmission coefficient, opal matrix, optical filter, photonic crystal, nanocomposites.*

В настоящее время за рубежом интенсивно ведутся исследования по разработке и созданию тактического лазерного оружия для вывода из строя оптико-электронных приборов (лазерных дальномеров, приборов ночного видения и т.д.), а также для поражения органов зрения операторов оптических приборов. Наиболее вероятное поражение зрения операторов оптических систем от лазерного оружия противника представляется возможным на длинах волн  $\lambda = 1,06$  мкм ( $f = 283$  ТГц) и  $\lambda = 0,53$  мкм ( $f = 566$  ТГц). Одно из направлений защиты от тактического лазерного оружия – это использование оптических фильтров частотно-заградительного типа, которые не пропускают (отражают) электромагнитную энергию в узкой полосе частот вблизи частот  $f = 283$  ТГц ( $\lambda = 1,06$  мкм) и  $f = 566$  ТГц ( $\lambda = 0,53$  мкм). Перспективным направлением решения этой задачи является использование в оптических фильтрах фотонных кристаллов на основе опаловой матрицы из наносфер двуокиси кремния [1].

Технология изготовления фотонных кристаллов на основе опаловой матрицы из наносфер двуокиси кремния в настоящее время достаточно отработана [1]. Оптические свойства фотонных кристаллов (полосы непропускания электромагнитной энергии) зависят от периода решетки опаловой матрицы и от размера диэлектрических наносфер, а глубина запрещенной зоны – от толщины фотонного кристалла и совершенства его структуры [2]. Для того чтобы изготовить оптический фильтр с требуемыми свойствами, необходимо провести математическое моделирование прохождения лазерного излучения через фотонный кристалл на электродинамическом уровне строгости.

Рассмотрим дифракцию плоской однородной электромагнитной волны с амплитудой  $c_1^+$  и частотой  $f$  на фотонном кристалле в виде плоского диска радиуса  $D$  и толщиной  $d$  при угле падения излучения, равном  $90^\circ$  (рис. 1). В результате дифракции электромагнитной волны на фотонном кристалле появляются отраженная волна с амплитудой  $c_1^-$  и прошедшая волна с амплитудой  $c_2^-$ .

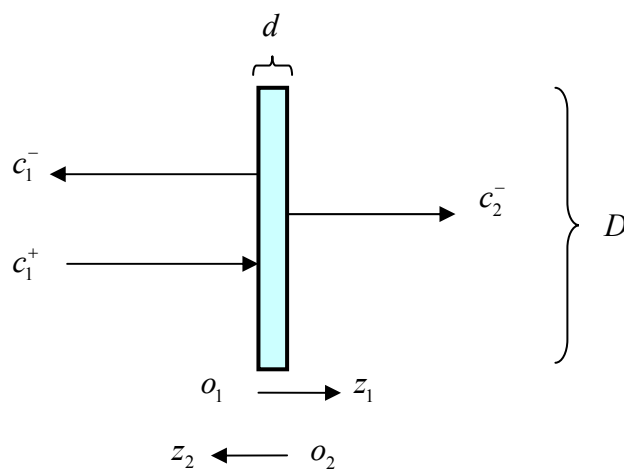


Рис. 1. Дифракция электромагнитной волны на фотонном кристалле:  
 $c_1^+$  – амплитуда падающей волны;  $c_1^-$  – амплитуда отраженной волны;

$c_2^-$  – амплитуда прошедшей волны;  $o_1 z_1, o_2 z_2$  – локальные системы координат

Прохождение электромагнитной волны через фотонный кристалл на различных частотах характеризуется коэффициентом прохождения, который определяется:

$$k_{\text{пр}} = \frac{|c_2^-|}{|c_1^+|}. \quad (1)$$

Коэффициент прохождения принимает значения от  $k_{\text{пр}} = 0$  (полное отражение от фотонного кристалла – запрещенная фотонная зона) до  $k_{\text{пр}} = 1$  (полное прохождение через фотонный кристалл – зона пропускания).

Математическую модель фотонного кристалла на основе опаловой матрицы из наносфер двуокиси кремния будем строить при помощи декомпозиционного подхода [3]. Область фотонного кристалла на основе опаловой матрицы (рис. 2,б) расчленим условными границами на подобласти – автономные блоки в виде однотипных прямоугольных параллелепипедов (см. рис.2) с диэлектрическими наносферами и каналами Флоке на гранях [4].

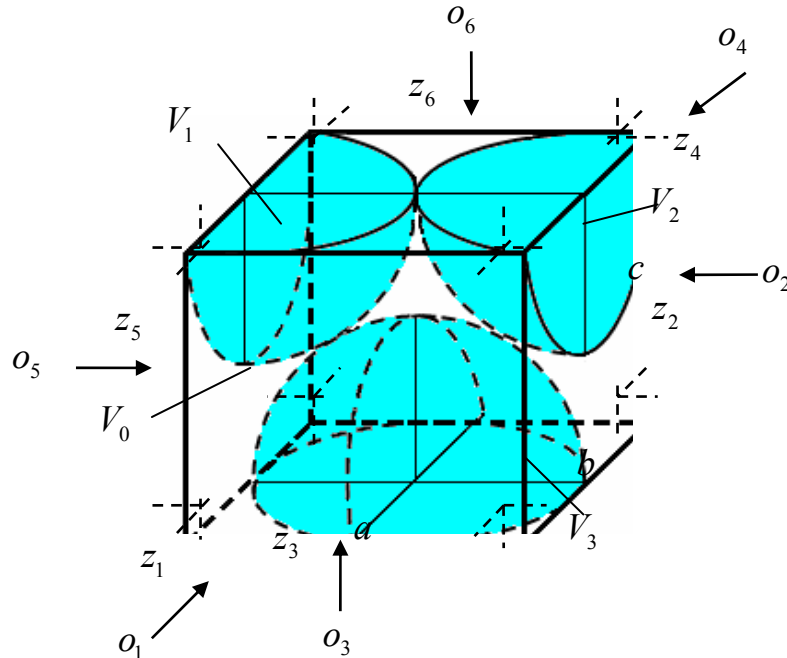


Рис. 2. Автономный блок в виде прямоугольного параллелепипеда с виртуальными каналами Флоке на гранях:

$V_0$  – основная область;  $V = V_1 \cup V_2 \cup V_3$  – области диэлектрических наносфер;  
 $V_0 - V$  – межсферическое пространство;  $o_\alpha z_\alpha$  ( $\alpha = 1, 2, \dots, 6$ ) – локальные системы координат для входных сечений  $S_\alpha$  (граней);  $a, b, c$  – геометрические размеры параллелепипеда

Дескриптор (в линейном приближении это матрица рассеяния  $\mathbf{R}$  [5]) автономного блока с каналами Флоке определяем в результате решения краевой задачи дифракции для уравнений Максвелла с электродинамическими граничными условиями. Краевая задача электродинамики для автономного блока (см. рис.2), содержащего диэлектрические наносферы, и каналами Флоке на гранях формулируется следующим образом.

Электромагнитное поле в области  $V$  (диэлектрические наносферы) автономного блока должно удовлетворять уравнениям Максвелла:

$$\begin{cases} \text{rot } \vec{H} = i\omega \varepsilon_0 \varepsilon_v \vec{E}, \\ \text{rot } \vec{E} = -i\omega \mu_0 \mu_v \vec{H}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\varepsilon_0, \mu_0$  – электрическая и магнитная постоянные  $\varepsilon_v, \mu_v$  – относительная диэлектрическая и магнитная проницаемости наносфер.

На гранях автономного блока (входные сечения  $S_\alpha$ ) электромагнитное поле удовлетворяет условиям неасимптотического излучения [6].

$$a_{k(\alpha)} + b_{k(\alpha)} = \int_{S_\alpha} (\vec{E}_\alpha \times \vec{h}_{k(\alpha)}) \cdot d\vec{S}_\alpha + \int_{S_\alpha} (\vec{e}_{k(\alpha)} \times \vec{H}_\alpha) \cdot d\vec{S}_\alpha, \quad (3)$$

$$k = 1, 2, \dots, \alpha = 1, 2, \dots, 6,$$

где  $\vec{e}_{k(\alpha)}, \vec{h}_{k(\alpha)}$  – электрическая и магнитная составляющие компонентов собственных волн каналов Флоке;  $k$  – номер моды собственной волны;  $\alpha$  – номер грани параллелепипеда;  $a_{k(\alpha)}, b_{k(\alpha)}$  – коэффициенты рядов Фурье.

Здесь представления электрического ( $\vec{E}_\alpha$ ) и магнитного ( $\vec{H}_\alpha$ ) полей на гранях параллелепипеда составят:

$$\vec{E}_\alpha = \sum_{k=1}^{\infty} a_{k(\alpha)} \vec{e}_{k(\alpha)}, \quad \vec{H}_\alpha = \sum_{k=1}^{\infty} b_{k(\alpha)} \vec{h}_{k(\alpha)}. \quad (4)$$

Для решения этой краевой задачи применим проекционный метод [6]. В качестве базисных функций  $\{\vec{E}_k\}, \{\vec{H}_k\}$  используем системы собственных функций прямоугольного резонатора с однородно-периодическими граничными условиями на гранях резонатора. Собственные частоты  $\omega_k$  и собственные функции  $\{\vec{E}_k\}, \{\vec{H}_k\}$  резонатора определяются из решения следующей краевой задачи для уравнений Максвелла:

$$\left. \begin{aligned} \text{rot } \vec{H}_k &= i \omega_k \epsilon_0 \epsilon_v \vec{E}_k; \\ \text{rot } \vec{E}_k &= -i \omega_k \mu_0 \mu_v \vec{H}_k, \end{aligned} \right\} \text{ в области } V_0, \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \vec{E}_k(S_1) &= \vec{E}_k(S_4), \quad \vec{H}_k(S_1) = \vec{H}_k(S_4); \\ \vec{E}_k(S_2) &= \vec{E}_k(S_5), \quad \vec{H}_k(S_2) = \vec{H}_k(S_5); \\ \vec{E}_k(S_3) &= \vec{E}_k(S_6), \quad \vec{H}_k(S_3) = \vec{H}_k(S_6). \end{aligned} \right\} \text{ на гранях,}$$

где  $\epsilon_v, \mu_v$  – относительная диэлектрическая и магнитная проницаемости среды диэлектрических наносфер. Геометрические размеры прямоугольного резонатора (область  $V_0$ ) совпадают с геометрическими размерами автономного блока (см. рис.2).

Применяя метод Галеркина, из проекционной формы и условий неасимптотического излучения (3) получаем матрицу рассеяния автономного блока  $\mathbf{R}$ .

Задачу дифракции на фотонном кристалле решаем при помощи декомпозиционного вычислительного алгоритма на основе метода автономных блоков с каналами Флоке [4], модифицированного с целью учета диэлектрических наносфер. В декомпозиционной схеме моделирования фотонного кристалла все автономные блоки являются однотипными, что позволяет использовать вычислительный алгоритм многоуровневой рекомпозиции блоков (рис.3), который существенно сокращает время расчетов на компьютере.

Многоуровневая рекомпозиция автономных блоков в виде прямоугольных параллелепипедов с диэлектрическими наносферами заключается в следующем. Два однотипных автономных блока объединяются в один блок в виде прямоугольного параллелепипеда (фрагмент 1 рис.3). Два виртуальных канала Флоке на гранях этого автономного блока преобразуются в один виртуальный канал. В результате преобразования получаем автономный блок с шестью виртуальными каналами на гранях (фрагмент 2 рис.3), затем процесс повторяется (фрагменты 3, 4 рис.3).

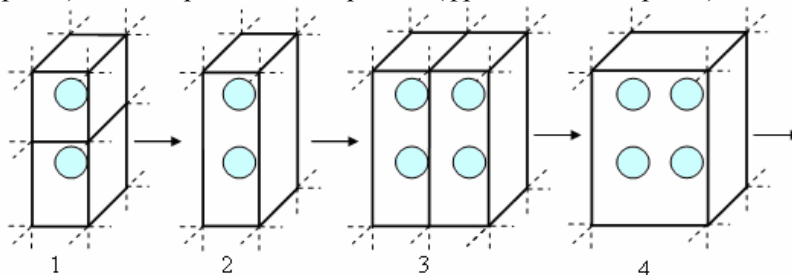


Рис. 3. Многоуровневая рекомпозиция автономных блоков в виде прямоугольных параллелепипедов с диэлектрическими наносферами:  
1, 2, 3, 4 – фрагменты рекомпозиции

Результаты электродинамического расчета коэффициента прохождения оптического излучения через фотонный кристалл в зависимости от радиуса наносфер  $r$  при различной толщине фотонного кристалла  $d = 2rN$  (различного числа слоев  $N$ ) показаны на рис. 4. Как следует из результатов математического моделирования, положение запрещенной фотонной зоны зависит от радиуса наносфер  $r$  (периода решетки опаловой матрицы), и непрохождение лазерного излучения через фотонный кристалл вблизи частоты  $f = 283$  ТГц ( $\lambda = 1,06$  мкм) наблюдается при радиусах наносфер от 128 до 142 нм. Чем больше толщина фотонного кристалла (число слоев  $N$ ), тем меньше коэффициент прохождения, а следовательно, и лучше защита от лазерного излучения. При этом разброс размеров наносфер (радиусов  $r$ ) не должен превышать 5 %.

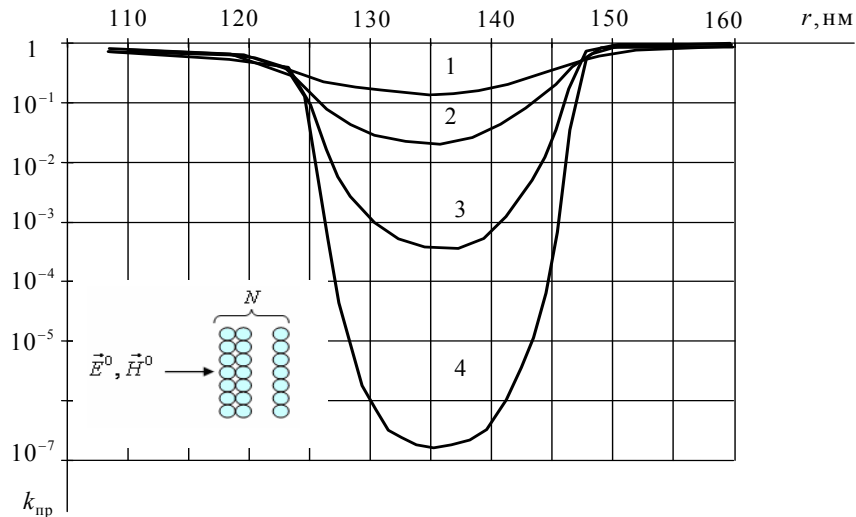


Рис.4. Коэффициент прохождения оптического излучения через 3-D фотоннокристаллическую структуру в зависимости от радиуса наносфер  $r$  при различной толщине фотонного кристалла  $d = 2rN$ :  $f = 283$  ТГц ( $\lambda = 1,06$  мк); наносфера  $\text{SiO}_2$  ( $\epsilon_1 = 4,6 - i5 \cdot 10^{-4}$ ,  $\mu_1 = 1$ ); межсферическое заполнение ( $\epsilon_2 = 1$ ,  $\mu_2 = 1$ ;  $D = 10$  мм); кривая 1 –  $N = 8$ , 2 –  $N = 16$ , 3 –  $N = 32$ , 4 –  $N = 64$

Рассчитанные зависимости коэффициента прохождения оптического излучения через фотонный кристалл от частоты при различной толщине фотонного кристалла  $d = 2rN$  (различном числе слоев  $N$ ) показаны на рис. 5. Как следует из результатов математического расчета, приведенных на рисунке, оптический фильтр на основе фотонного кристалла имеет запрещенные фотонные зоны (полосы непропускания для лазерного излучения) на частотах  $f = 283$  ТГц ( $\lambda = 1,06$  мкм) и  $f = 566$  ТГц ( $\lambda = 0,53$  мкм), в остальной части частотного спектра он практически пропускает электромагнитные волны.

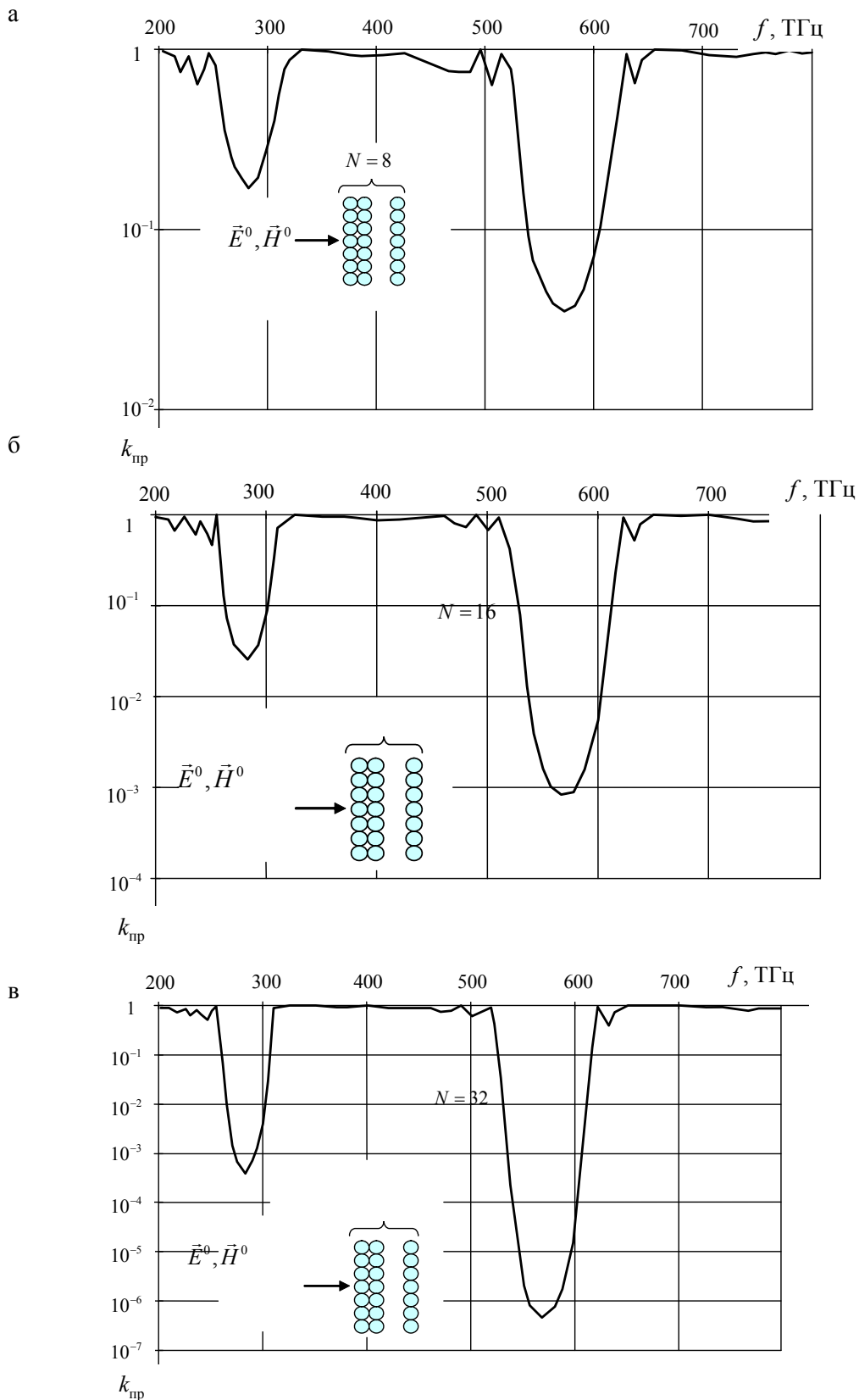


Рис. 5. Спектральные зависимости коэффициента прохождения оптического излучения через фотонный кристалл при различной толщине  $d = 2rN$  фотонного кристалла (начало): а –  $N = 8$ ; б –  $N = 16$ ; в –  $N = 32$ ; г –  $N = 64$ ; наносфера  $\text{SiO}_2$  ( $\epsilon_1 = 4,6 - i5 \cdot 10^{-4}$ ,  $\mu_1 = 1$ ),  $r = 135$  нм; межсферическое заполнение ( $\epsilon_2 = 1$ ,  $\mu_1 = 1$ ;  $D = 10$  мм)

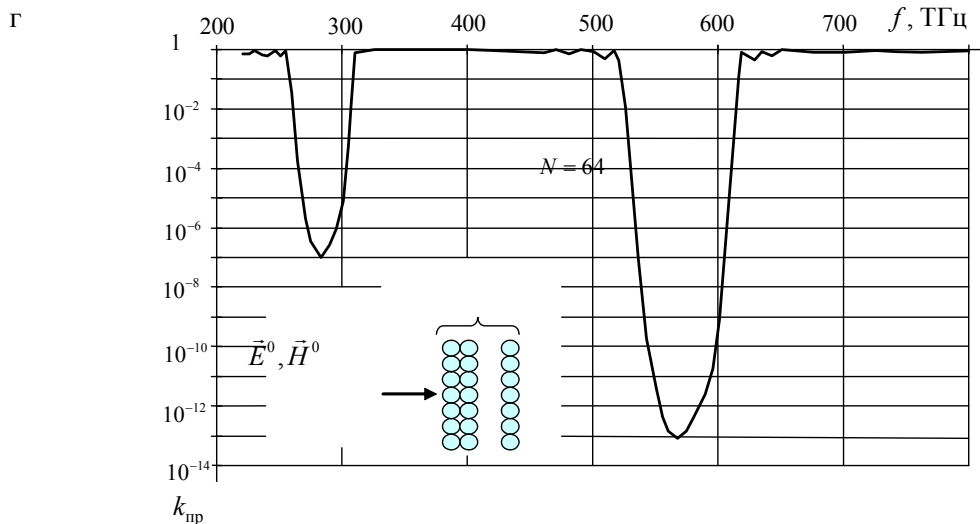


Рис. 5. Спектральные зависимости коэффициента прохождения оптического излучения через фотонный кристалл при различной толщине  $d = 2rN$  фотонного кристалла (окончание): а –  $N = 8$ ; б –  $N = 16$ ; в –  $N = 32$ ; г –  $N = 64$ ; наносфера  $\text{SiO}_2$  ( $\epsilon_1 = 4,6 - i5 \cdot 10^{-4}$ ,  $\mu_1 = 1$ ),  $r = 135$  нм; межсферическое заполнение ( $\epsilon_2 = 1$ ,  $\mu_1 = 1$ ;  $D = 10$  мм)

Степень защиты от лазерного излучения с помощью оптического фильтра существенно зависит от толщины фотонного кристалла – чем больше толщина, тем надежнее защита. Однако необходимо отметить, что изготовление фотонных кристаллов толщиной  $d = 2rN$  с числом слоев  $N = 64$  и выше сопряжено со значительными технологическими трудностями. Время изготовления таких наноконструкций – несколько недель, при этом структура решеток может иметь значительные дефекты. Оптический фильтр на фотонном кристалле на основе опаловой матрицы с гексагональной решеткой из наносфер  $\text{SiO}_2$  диаметром 270 мкм (разброс по диаметру не более 5 %) с толщиной  $N = 32$  надежно защищает зрение операторов оптических приборов от тактического лазерного оружия частот  $f = 283$  ТГц ( $\lambda = 1,06$  мкм) и  $f = 566$  ТГц ( $\lambda = 0,53$  мкм). Поток световой энергии, оцениваемый по зрительному ощущению, от целей снижается в два раза, при этом оператор практически не видит зеленый цвет и частично желтый. Ведение боевых действий с применением в оптических приборах фотонных кристаллов, очевидно, требует дополнительной подготовки оператора (снайпера, наводчика орудия и т.д.).

#### Список литературы

1. Исследование опаловых матриц и наноконструкций на их основе [Текст] / М.И. Самойлович [и др.] // Высокие технологии в промышленности России (материалы и устройства функциональной электроники и микрофотоники). Коллективная монография. – М.: ОАО ЦНИТИ «Техномаш», 2004. – Ч. 3. – С.257–363.
2. Горелик, В.С. Оптические и диэлектрические свойства наноструктурированных фотонных кристаллов, заполненных сегнетоэлектриками и металлами [Текст] / В.С. Горелик // Физика твердого тела. – 2009. – Т. 51. – Вып. 7. – С. 1252–1258.
3. Никольский, В.В. Декомпозиционный подход к задачам электродинамики [Текст] / В.В. Никольский, Т.И. Никольская. – М.: Наука. 1983. – 297 с.
4. Голованов, О.А. Автономные блоки с виртуальными каналами Флоке и их применение для решения прикладных задач электродинамики [Текст] / О.А. Голованов // Радиотехника и электроника. – 2006. – Т.51. – № 12. – С.1423–1430. Journ. of Communications Technology and Electronics, 2006, Vol. 51, No. 3, pp. 1338–1345.
5. Голованов, О.А. Построение дескрипторов нелинейных универсальных автономных блоков с каналами Флоке итерационным методом на основе проекционной модели [Текст] / О.А. Голованов, Г.С. Макеева, А.А. Туманов // Известия вузов. Поволжский регион. Естественные науки. – 2006. – №. 5 (26). – С. 157–166.
6. Никольский, В.В. Проекционные методы в электродинамике [Текст] / В.В. Никольский // Прикладная электродинамика: сб. научно-методических статей. – М.: Высш. шк., 1977. – С. 4–23.

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

## BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 539.4

Саратовский государственный технический университет    *Saratov State Technical University*

Россия, 410054, г.Саратов,  
ул.Политехническая, 77,  
тел.: +7 (8452) 998905

Russia, 410054, Saratov,  
77, Politehnicheskay St.,  
tel.: +7 (8452) 998905

**Овчинников Илья Игоревич**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Мосты и транспортные  
сооружения»  
Адрес: 410054, г.Саратов, ул.Б.Садовая,  
д.82/90, кв.36  
Тел.: +7 (8452) 567213  
E-mail: BridgeArt@mail.ru

**Ovchinnikov Ilya Igorevich**,  
Candidate of Sciences.  
Associate Professor of the departmen «Bridges  
and transport constructions».  
Address: 410054, Saratov, 82/90,  
B.Sadovay St., ap.36.  
Tel.: +7 (8452) 567213  
E-mail: BridgeArt@mail.ru

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЯВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ХЛОРИДНОЙ АГРЕССИИ

И.И. Овчинников

Рассматривается задача прогнозирования кинетики развития коррозионной трещины в защитном слое бетона вследствие появления и увеличения в объеме продуктов коррозии на арматурных стержнях. Учитываются нелинейные разномодульные свойства бетона, влияние поврежденности на процесс его деформирования. Получены основные соотношения, описан алгоритм решения, проведена верификация.

*Ключевые слова: коррозия, хлориды, агрессивная среда, коррозионная трещина, поврежденность.*

### MODELING THE CORROSIVE CRACKS FORMATION PROCESS IN THE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES ELEMENTS IN CONDITIONS OF CHLORIDE AGGRESSION

I.I. Ovchinnikov

The author examines the task of corrosive crack development kinetic prognostication in protective concrete layer due to the substances of corrosion formation and expanding in volume on re-bars. Non-linear different modulus concrete properties, damaged influence on the process of its deformation are taken into account. Basic correlations are got, computation algorithm is described, model verification is conducted.

*Keywords: corrosion, chlorides, aggressive environment, corrosive crack, damages.*



Рассматривается процесс образования и роста коррозионной трещины в защитном слое железобетонного элемента вследствие постепенного увеличения давления продуктов коррозии на арматурных стрежнях под влиянием хлоридсодержащей среды.

Используются следующие предположения, позволяющие сделать модель процесса более корректной:

1) хлоридсодержащая среда проникает в армированный конструктивный элемент по закону активированной диффузии:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \operatorname{div} D \operatorname{grad} C, \quad (1)$$

создавая в объеме конструктивного элемента концентрационное поле  $C(r, \theta, z)$ . В уравнении (1)  $t$  – время,  $D$  – коэффициент диффузии, зависящий от концентрации среды, напряженно-деформированного состояния и уровня поврежденности в точке конструктивного элемента с координатами  $r, \theta, z$ .

2) бетон считается нелинейно-упругим, разносопротивляющимся, его свойства зависят от концентрации хлоридов  $C$  в рассматриваемой точке;

Физические соотношения в предположении, что  $r, \theta, z$  – главные оси, принимаются в виде

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{1}{\Psi_j} [\sigma_r - \nu_j (\sigma_\theta + \sigma_z)], \\ \varepsilon_\theta &= \frac{1}{\Psi_j} [\sigma_\theta - \nu_j (\sigma_r + \sigma_z)], \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{\Psi_j} [\sigma_z - \nu_j (\sigma_r + \sigma_\theta)]. \end{aligned} \quad (2)$$

В этих выражениях  $\varepsilon_r, \varepsilon_\theta, \varepsilon_z$  – компоненты тензора деформаций;  $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$  – компоненты тензора напряжений;  $\Psi(\varepsilon_{ii}, \Pi, C)$  – функция интенсивности деформаций, поврежденности и концентрации среды;  $\nu_j$  – коэффициент поперечной деформации

$$\Psi(\varepsilon_{ii}, \Pi, C) = \left[ \frac{\sigma_{ii}(\varepsilon_{ii}, \Pi, C)}{\varepsilon_{ii}} \right]_j, \quad (3)$$

$$\nu_j(\varepsilon_{ii}, \Pi, C) = \frac{1}{2} - \frac{1 - 2\nu_0}{2E_0} \Psi_j(\varepsilon_{ii}, \Pi, C). \quad (4)$$

Здесь  $\nu_0, E_0$  – коэффициент поперечной деформации и модуль упругости при малых линейных деформациях,  $j = 1$  при растяжении и  $j = 2$  при сжатии. Зависимость между интенсивностями напряжений  $\sigma_{ii}$  и деформаций  $\varepsilon_{ii}$  принимается в виде [1]

$$\begin{aligned} (\sigma_{ii})_j &= [A_j(C) \varepsilon_{ii}^{k_j} - B_j(C) \varepsilon_{ii}^{n_j}] \exp(-\lambda \Pi), \quad j = 1 \text{ при } \sigma_0 \geq 0; \\ & \quad j = 2 \text{ при } \sigma_0 < 0. \end{aligned} \quad (5)$$

То есть принимается, что точка материала находится в растянутом состоянии, если среднее напряжение  $\sigma_0$  положительно, и в сжатом состоянии, если  $\sigma_0$  отрицательно, причем

$$\sigma_0 = (\sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_z) / 3. \quad (6)$$

С учетом сделанных предположений

$$\psi_j(\varepsilon_n, \Pi, C) = \left[ A_j(C) \varepsilon_n^{k_j-1} - B_j(C) \varepsilon_n^{n_j-1} \right] \exp(-\lambda \Pi). \quad (7)$$

В выражениях (5) и (7)  $A_j(C)$ ,  $B_j(C)$ ,  $k_j$ ,  $n_j$  – коэффициенты, зависящие от вида напряженного состояния ( $j = 1, 2$ ) и уровня концентрации хлоридов  $C$  в точке конструктивного элемента. Влияние поврежденности  $\Pi$  учитывается введением дополнительной функции  $\exp(-\lambda \Pi)$ ;

3) на основании экспериментальных данных полагаем, что вследствие равномерного по периметру арматуры коррозионного износа на ее поверхности образуются продукты коррозии, объем которых в 3-6 раз больший, чем у прокорродировавшего материала. Эти продукты коррозии оказывают давление на окружающий арматуру бетон, вызывая в нем появление напряженного состояния и последующее растрескивание и даже отслаивание защитного слоя.

Полагая, что на поверхности контакта арматуры с бетоном существует некоторая пористая зона, рассмотрим три стадии развития коррозионной трещины (рис. 1).

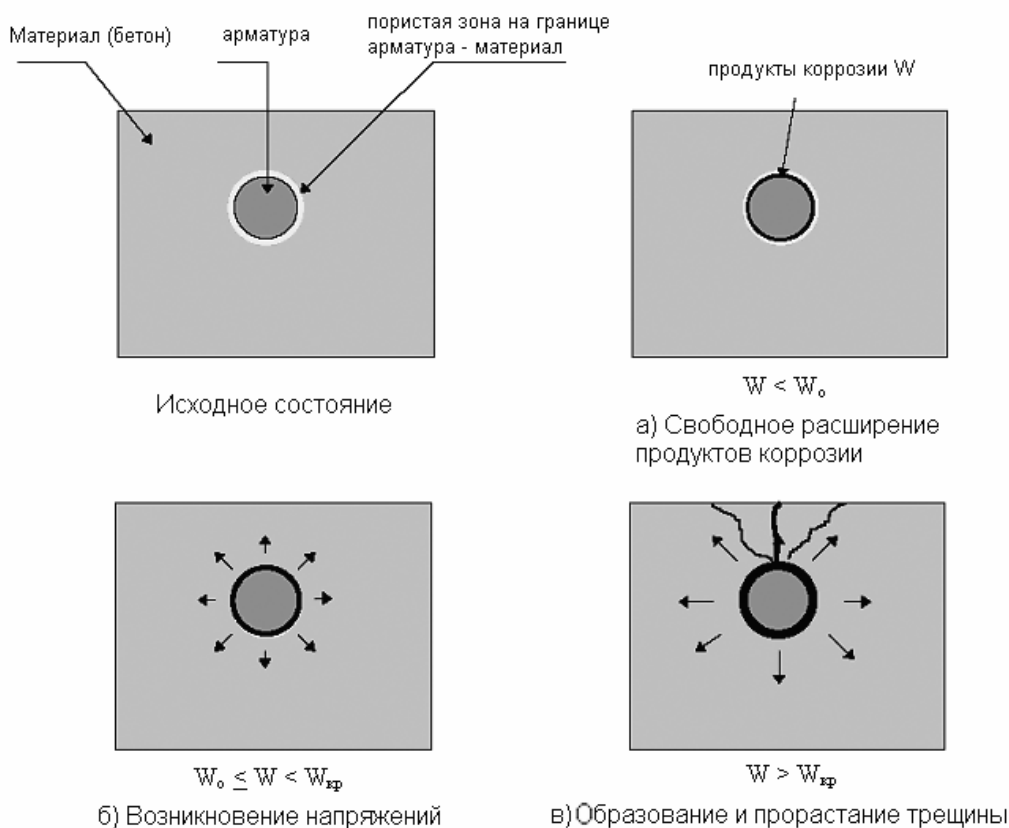


Рис.1. Стадии образования коррозионной трещины

а) Свободное расширение продуктов коррозии до достижения ими объема  $W_0$ , который полностью заполняет пористую зону вокруг арматуры. На этой стадии процесс формирования продуктов коррозии не вызывает напряжений в бетоне.

б) Возникновение напряжений. Как только объем продуктов коррозии на поверхности арматуры превысит величину  $W_0$ , они начинают оказывать расширяющее давление на окружающий материал, создавая в нем напряженно-деформированное состояние. Причем давление, а следовательно, и напряженное состояние увеличиваются с увеличением продуктов коррозии.

в) Образование и прорастание трещины. Как только общее количество продуктов коррозии арматуры  $W$  достигает критического значения  $W_{кр}$ , при котором напряжение в какой-либо точке превысит предельное напряжение для этой точки, произойдет образование трещины. По мере дальнейшего роста количества продуктов коррозии

арматуры будет происходить рост трещины в защитном слое в направлении к поверхности армированного конструктивного элемента (см. рис. 1).

При этом надо иметь в виду, что одновременно происходит и деструкция бетона, приводящая к появлению наведенной неоднородности и перераспределению напряжений.

Определим взаимосвязь между величинами  $W_0$  и  $W$ . Для этого рассмотрим следующую упрощенную схему образования продуктов коррозии (рис. 2).

В процессе коррозии на первой стадии арматуры стержень увеличивает свой диаметр до величины  $(d_0 + 2t)$  за счет распухания продуктов коррозии.

Для единицы длины арматурного стрежня объем  $W_0$  определяется из выражения

$$W_0 = \frac{\pi}{4} \left[ (d_0 + 2t)^2 - d_0^2 \right] = \pi (d_0 t + t^2). \quad (8)$$

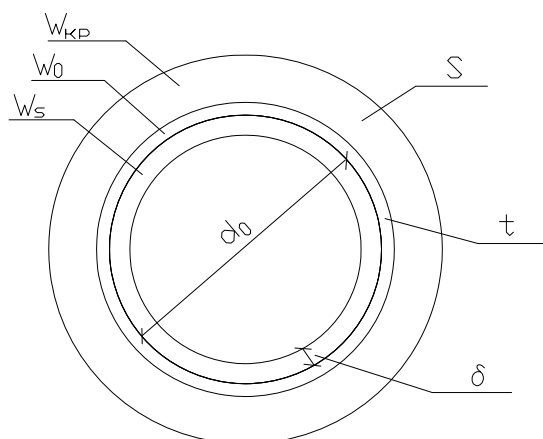


Рис. 2. Схема образования продуктов коррозии:

$d_0$  – первоначальный диаметр арматуры;  $\delta$  – глубина слоя коррозионного износа;  $t$  – толщина пористой зоны на границе арматура–материал;  $S$  – толщина слоя продуктов коррозии, которые оказывают давление на окружающий материал и приводят к появлению в нем напряжений

Объем продуктов коррозии, оказывающий дальнейшее давление на бетон, определяется из выражения

$$W_S = \frac{\pi}{4} \left[ (d_0 + 2t + 2S)^2 - (d_0 + 2t)^2 \right] = \pi (d_0 S + 2tS + S^2). \quad (9)$$

Наконец, объем прокорродировавшего металла, который также заполняется продуктами коррозии, определяется из выражения

$$W_\delta = \frac{\pi}{4} \left[ d_0^2 - (d_0 - 2\delta)^2 \right] = \pi (d_0 \delta - \delta^2). \quad (10)$$

Полный объем продуктов коррозии, оказывающих давление на окружающий материал, равен:

$$W = W_\delta + W_0 + W_S = \pi \left[ d_0 (\delta + t + S) + 2tS + t^2 + S^2 - \delta^2 \right]. \quad (11)$$

Этот объем продуктов коррозии  $W$  может быть выражен через объем прокорродировавшего материала  $W_\delta$ :

$$W = m W_\delta, \quad (12)$$

где  $m$  – коэффициент, показывающий степень увеличения объема продуктов коррозии по отношению к прокорродировавшему материалу ( $m=3-6$ ).

С учетом (10) и (11) выражение (12) примет вид

$$d_0(t + S + \delta) + 2tS + t^2 + S^2 - \delta^2 = m(d_0\delta - \delta^2). \quad (13)$$

В случае, если появление пористой зоны не учитывается, то  $t=0$  и выражение (13) приводится к виду

$$S^2 + d_0S - (m-1)(d_0 - \delta)\delta = 0, \quad (14)$$

которое представляет собой квадратное уравнение относительно  $S$ . Решение его имеет вид

$$S = \left[ \frac{d_0^2}{4} + (m-1)(d_0\delta - \delta^2) \right]^{1/2} - \frac{d_0}{2}. \quad (15)$$

Если имеет место соотношение  $S \ll d_0$  и  $\delta \ll d_0$ , то упрощенное выражение для  $S$  запишется:

$$S(t) = (m-1)\delta(t). \quad (16)$$

Следовательно, имея закон изменения во времени коррозионного износа  $\delta(t)$ , можно найти закон изменения положения фронта продуктов коррозии  $S(t)$ .

4) Для получения уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние в материале, окружающем арматуру, воспользуемся расчетной схемой. Материал вокруг арматурного стержня представляется в виде условной трубы (толщина стенок трубы равна толщине защитного слоя), нагруженной внутренним равномерно-распределенным давлением  $P$  от действия распухающих продуктов коррозии арматуры (рис. 3) Внутренний диаметр этой условной трубы равен диаметру арматуры  $d_0$ , а наружный  $d_0+2a$ , где  $a$  – толщина защитного слоя.

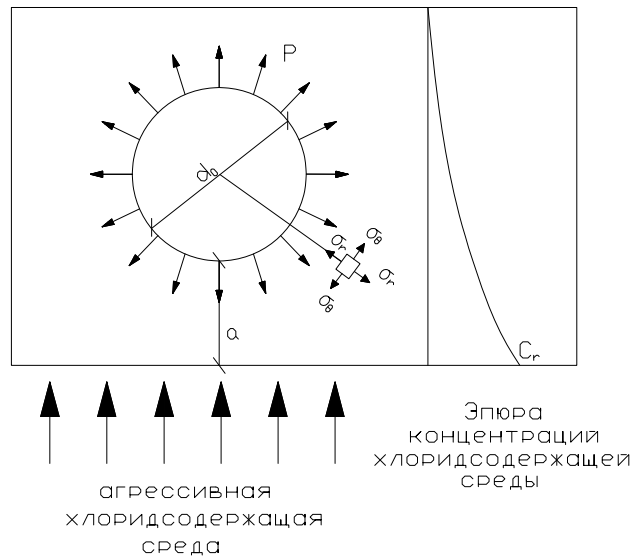


Рис. 3. Схема к расчету напряжений в материале вокруг арматуры

Тогда в каждой точке условной трубы справедливы физические соотношения (2) с учетом (3) – (7).

К этим физическим соотношениям нужно присоединить уравнения равновесия толстостенной трубы:

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} = 0 \quad (17)$$

и уравнение непрерывности:

$$\frac{d\varepsilon_\theta}{dr} + \frac{\varepsilon_\theta - \varepsilon_r}{r} = 0. \quad (18)$$

Определив из третьего уравнения (2) напряжение  $\sigma_z$  и подставив его в два остальных, найдем:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{1 - \nu_j^2}{\Psi_j} \left[ \sigma_r - \frac{\nu_j}{(1 - \nu_j)} \sigma_\theta \right] - \nu_j \varepsilon_z, \\ \varepsilon_\theta &= \frac{1 - \nu_j^2}{\Psi_j} \left[ \sigma_\theta - \frac{\nu_j}{(1 - \nu_j)} \sigma_r \right] - \nu_j \varepsilon_z, \\ \sigma_z &= \nu_j (\sigma_r + \sigma_\theta) + \Psi_j \varepsilon_z. \end{aligned} \quad (19)$$

Подставляя первые два выражения из (19) в уравнение неразрывности и учитывая уравнение равновесия, а также переменность коэффициента поперечной деформации  $\nu_j$ , получим после некоторых преобразований следующее разрешающее уравнение:

$$\frac{d^2 \sigma_r}{dr^2} + \xi \frac{d\sigma_r}{dr} + \eta \sigma_r = q, \quad (20)$$

где

$$\xi = \frac{3}{r} - \frac{2\nu_j \nu_j'}{(1 - \nu_j^2)} - \frac{\Psi_j'}{\Psi_j}; \quad (21)$$

$$\eta = - \left[ (1 + 4\nu_j) \nu_j' + (1 - \nu_j - \nu_j^2) \frac{\Psi_j'}{\Psi_j} \right] r (1 - \nu_j^2); \quad (22)$$

$$q = \frac{\Psi_j \nu_j' \varepsilon_z}{r (1 - \nu_j^2)}. \quad (23)$$

Здесь штрих означает дифференцирование по радиусу, а индекс  $j$  означает, что соответствующая функция определяется выражением, вид которого зависит от знака среднего напряжения  $\sigma_0$  так, что  $j=1$  при  $\sigma_0 \geq 0$  и  $j=2$  при  $\sigma_0 < 0$ .

Для определения величины продольной деформации  $\varepsilon_z$  используется условие равновесия условной трубы в осевом направлении:

$$N = 2\pi \int_{d_0/2}^{a+d_0/2} \sigma_z r dr = 2\pi \int_{d_0/2}^{a+d_0/2} [\nu_j (\sigma_z + \sigma_\theta) + \Psi_j \varepsilon_z] r dr.$$

Откуда

$$\varepsilon_z = \left[ \frac{N}{2\pi} - \int_{d_0/2}^{a+d_0/2} [\nu_j (\sigma_z + \sigma_\theta)] r dr \right] / \int_{d_0/2}^{a+d_0/2} \Psi_j r dr. \quad (24)$$

К приведенным выше уравнениям следует присоединить уравнение накопления повреждений вида

$$d\Pi/dt = m(C) \sigma^{b(C)} (1 - \Pi)^{-b(C)}, \quad \Pi(0) = 0, \quad \Pi(t_{\text{разруш}}) = \Pi^*.$$

Для решения уравнения (20) на этом этапе расчета можно воспользоваться следующим алгоритмом:

1. Задаются все необходимые параметры и коэффициенты.

2. Находится нулевое приближение из линейного решения задачи:

$$\sigma_r^0 = H + J/r^2; \quad \sigma_\theta^0 = H - J/r^2,$$

где  $H = (Pd_0^2) / 4 \left[ \left( a + \frac{d_0}{2} \right)^2 - \frac{d_0^2}{4} \right];$

$$J = -P \frac{d_0^2 \left( a + \frac{d_0}{2} \right)^2}{4 \left[ \left( a + \frac{d_0}{2} \right)^2 - \frac{d_0^2}{4} \right]}.$$

3. Находятся значения  $v_j, \psi_j, \sigma_z, \sigma_\theta$  в определенном количестве точек по области решения уравнения (20) – на интервале  $[d_0/2, a+d_0/2]$ . С использованием этих значений определяется величина  $\varepsilon_z$  по формуле (24).

4. Значения соответствующих коэффициентов  $\xi, \eta$  находятся по формулам (21)–(23). При этом анализируется величина среднего напряжения  $\sigma_0$  в этих точках.

5. Методом прогонки решается уравнение (20) с учетом граничных условий.

Для того чтобы оценить достоверность результатов расчета напряженного состояния, получаемых с использованием приведенных выше соотношений, была разработана программа, с помощью которой был выполнен расчет напряженного состояния толстостенной бетонной оболочки наружным диаметром 100 см, внутренним диаметром 60 см под действием внешнего давления  $P = 30$  МПа. В расчетах не учитывалось влияние агрессивной среды и поврежденности, а параметры диаграммы деформирования материала принимались следующими:

$$A = 3 \cdot 10^4 \text{ МПа}, \quad B = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}, \quad k = 1, \quad n = 1,5.$$

Коэффициент поперечной деформации принимался равным 0,2. Для решения уравнения (20) применялся метод переменных жесткостей в сочетании с методом прогонки.

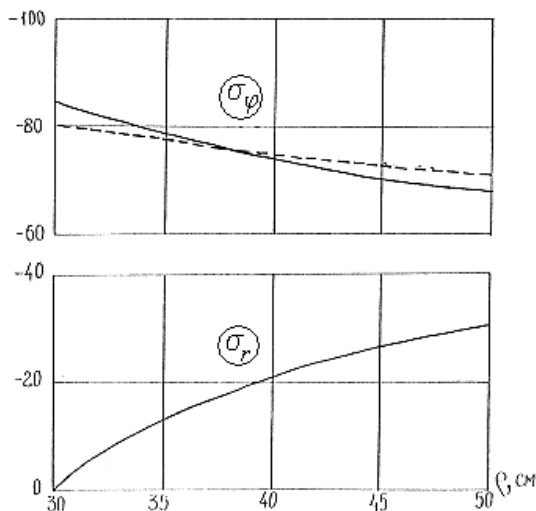
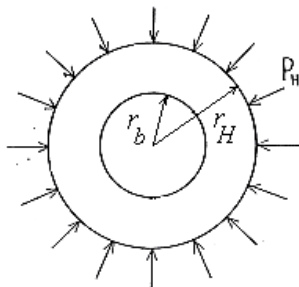


Рис. 4. Эпюры радиальных и окружных напряжений в толстостенной бетонной трубе под действием наружного давления

Полученные результаты сравнивались с известными, приведенными в работе [2]. На рис. 4 сплошными линиями показаны эпюры напряжений, построенный авторами статьи [2], а пунктирными линиями – эпюры, рассчитанные с помощью приведенных выше уравнений, но без учета влияния среды и поврежденности.

Сопоставление результатов расчета показывает, что эпюры  $\sigma_r$  совпадают полностью, а различие в эпюрах  $\sigma_\theta$  обусловлено тем, что в статье [2] при выводе формулы для интенсивности напряжений для обеспечения «аналитичности» решения использована гипотеза о несжимаемости материала (коэффициент поперечной деформации принят равным 0,5), хотя физические соотношения записаны для переменного коэффициента поперечной деформации и расчет выполнялся для коэффициента, равного 0,2. Если в наших соотношениях также использовать гипотезу о такой «частичной несжимаемости», то, как показал анализ, результаты нашего расчета полностью совпадают с результатами расчета авторов работы [2].

Для оценки применимости приведенных выше соотношений к оценке долговечности элементов конструкций была выполнена серия расчетов долговечности толстостенной оболочки из стали 20 при разных величинах внутреннего давления. Выбор именно этого материала объяснялся тем обстоятельством, что для этого материала имелись необходимые для идентификации модели данные, а также имелись результаты натуральных испытаний по долговечности труб из него.

Значения коэффициентов модели, определенные по результатам экспериментов, взятых из работ [3, 4], следующие:

$$A = 1,3 \cdot 10^5 \text{ МПа}, B = 2,7072 \cdot 10^5 \text{ МПа}, n = 1, k = 3; \nu = 0,3.$$

$$m = 8,4504 \cdot 10^{-20} (\text{МПа})^{-k} \text{ час}^{-1}; b = 7,41; \lambda = 5,7653.$$

Результаты расчета долговечности сравнивались с экспериментальными данными по длительной прочности трубчатых образцов из работы [86]. На рис. 5 точками показаны экспериментальные данные, а сплошной линией – результаты расчета долговечности. При этом напряжения, откладываемые по оси ординат, определялись по формуле

$$\sigma = (P_{\text{внутр}}/2)(d_{\text{наруж}} + d_{\text{внутр}})/(d_{\text{наруж}} - d_{\text{внутр}}).$$



Рис. 5. Экспериментальная (точки) и теоретическая долговечность трубчатого элемента конструкции

Сравнение результатов расчета долговечности труб с экспериментальными данными показывает удовлетворительное совпадение. Следовательно, использованные для расчета показатели долговечности соотношения достаточно адекватны и могут применяться для прогнозирования поведения конструкций.

### Список литературы

1. Овчинников, И.И. Накопление повреждений в стержневых и пластинчатых армированных конструкциях, взаимодействующих с агрессивными средами [Текст] / И.И.Овчинников, Г.А.Наумова.– Волгоград: Изд-во ВолгГАСУ, 2007. – 272 с.
2. Андреев, В.И. Расчет толстостенной трубы из нелинейно-упругого материала [Текст] / В.И. Андреев, Ю.Н. Малашкин // Строительная механика и расчет сооружений. – 1983. – №6. – С.70–72.
3. Кац, Ш.Н. Исследование длительной прочности углеродистых сталей [Текст] / Ш.Н. Кац // Теплоэнергетика. – 1955. – №11. – С.37–40.
4. Кац, Ш.Н. Ползучесть и разрушение труб под действием внутреннего давления [Текст] / Ш.Н. Кац // Известия АН СССР, ОТН. – 1957. – №10. – С.86–89.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Нежданов Кирилл Константинович**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»,  
заслуженный изобретатель России  
Адрес: 440066, г. Пенза, ул. Ладожская,  
д. 35, кв. 91  
Тел.: 8 (8412) 44-96-37

**Жуков Александр Николаевич**,  
аспирант кафедры «Строительные  
конструкции»  
E-mail: SanekRal@yandex.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, , 28, Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Nezhdanov Kirill Konstantinovich**,  
Doctor of Science. Professor of the  
department «Building construction»,  
deserve inventor of Russia  
Address: Russia, 440066, Penza,  
35, Ladozhskaya St, ap. 91  
Tel.: 8 (8412) 44-96-37

**Zhukov Alexander Nikolaevich**,  
Postgraduate of the department «Building  
structures»  
E-mail: SanekRal@yandex.ru

## АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПРИЧИН ОБРУШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЯХ

К.К. Нежданов, А.Н. Жуков

На основе фактических данных по обрушению сооружений анализируются причины его возникновения, ошибки, допущенные при проектировании, строительстве и эксплуатации промышленных объектов. В статье предложен сценарий процесса коррозии опорных узлов ребристых плит покрытия и возникновения обрушений. Исследуются причины лавинообразного обрушения цеха литейно-арматурного завода ООО «Пензтяжпромарматура» (г. Пенза).

*Ключевые слова: строительные конструкции, промышленные здания, анализ обрушения.*

## STATE AND REASONS OF STRUCTURES DAMAGES IN INDUSTRIAL BUILDINGS

K.K. Nezhdanov, A.N. Zhukov

On the basis of real buildings damages data, some reasons of their starting, design, construction and operation errors are analyzed. The article presents a scenario of covering ribbed slab reference node corrosion and damages starting. Some reasons of the avalanche-like fall of foundry-reinforcing factory LLC «Penztyazhpromarmatura» shop in Penza are researched.

*Keywords: building structures, industrial structures, analysis of failures.*

В настоящее время состояние всех конструкций промышленных зданий, построенных в период с 1930 г. по 1980 г., вызывает большие опасения с точки зрения их надёжной эксплуатации. Часть этих конструкций находится в аварийном или предаварийном состоянии, так как на стадии проектирования, строительства и эксплуатации были допущены нарушения.

При проектировании кровли таких промышленных зданий учитываемая расчетная снеговая нагрузка была на 28,6 % меньше расчетной снеговой нагрузки по существующим нормам; поэтому все конструкции кровель оказались перегруженными и требующими усиления.

На стадии строительства при монтаже конструкций допускались отклонения от проектных решений. В частности, авария на Солигорском калийном комбинате произошла из-за того, что сжатый опорный раскос фермы вместо предусмотренных проектом двух уголков общей площадью  $A=44,48 \text{ см}^2$  (100 %) был выполнен из уголков общей площадью  $A_{\text{факт}}=38,48 \text{ см}^2$  (86,5 %) [1]. В результате радиус инерции значительно уменьшился с  $i_x = 6,77 \text{ см}$  до  $i_x = 4,52 \text{ см}$ , а гибкость раскоса увеличилась



на 33,2 %, соответственно коэффициент продольного изгиба  $\varphi$  уменьшился, что и привело к аварии. При обследовании одного из цехов ООО «Пензхиммаш» в г. Пензе обнаружено, что опорный раскос фермы вместо двух уголков общей площадью  $A=39,4 \text{ см}^2$  (100 %) был выполнен из уголков общей площадью  $A_{\text{факт}}=17,56 \text{ см}^2$  (44,6 %), что привело к деформации фермы в целом (рис. 1). Радиус инерции уменьшился с  $i_x = 5,44 \text{ см}$  до  $i_x = 3,42 \text{ см}$ , что увеличило гибкость раскоса на 37,1 % и привело к аварийному состоянию всего сооружения.

В нормах проектирования покрытие здания неаргументированно рассматривается как «жёсткий диск». Обследование покрытий зданий опровергает наличие «жёсткого диска». Закладные детали плит часто не приваривались к закладным деталям ферм системы покрытия, а швы между плитами не заполнялись мелкозернистым бетоном, в результате диск покрытия становился податливым, а не жестким. Поэтому учет поддерживающего влияния смежных рам на рассчитываемую нагрузку не обоснован. Монтаж плит перекрытия часто выполнялся таким образом, что опорная реакция передавалась со значительным эксцентриситетом на верхний пояс фермы вне узла (рис. 2), что приводило к внецентренному сжатию элементов фермы, хотя расчет производился при центральном сжатии [2].



Рис.1. Аварийное состояние ферм одного из цехов ООО «Пензхиммаш»

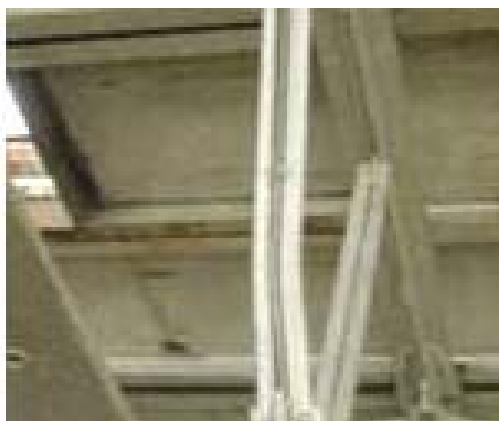


Рис.2. Внеузловое, со значительным эксцентриситетом опирание плит покрытия на верхний пояс стропильной фермы

При обследовании ферм покрытия обнаруживалось опасное отсутствие распорок по верхним поясам, а также отсутствие, еще более опасное, связевых блоков в температурных отсеках зданий, что приводило к возникновению аварийного состояния, а затем и обрушению сооружения. Часто причина обрушения заключалась в том, что не обеспечивалась устойчивость ферм из плоскости. Например, при аварии в Северодвинске в 1962 году отсутствие запроектированного количества связей по нижним поясам ферм явилось одним из факторов, спровоцировавших аварию [3].

Основной проблемой всех промышленных зданий является несвоевременный ремонт кровельного ковра. Это приводит к утяжелению кровли в целом, что является причиной перегрузки несущей системы покрытия. Например, при расследовании лавинообразного обрушения литейно-арматурного завода в 1989 году [4] (описанного ниже) при замере веса кровли было выявлено увеличение собственной массы кровли на 30–35 %.

Другой проблемой является коррозия бетона и арматуры, которая приводит к уменьшению способности воспринимать расчётную нагрузку. Особенно опасна коррозия опорных частей ребристых плит покрытия, вследствие чего происходит их обрушение [2].

Процесс коррозии опорных узлов ребристых плит покрытия протекает по следующему сценарию:

- повреждается кровля и опорные узлы замачиваются;
- влага проникает внутрь бетона, и начинается коррозия не только бетона, но и арматуры;

- на поверхности арматуры накапливаются продукты коррозии, нарушающие сцепление арматуры с бетоном;
- анкеровка растянутой арматуры в опорных узлах уменьшается;
- продукты коррозии стали увеличиваются в объёме в 1,81 раза, то есть разрушительное действие продуктов коррозии в 9 раз сильнее, чем замерзающей воды;
- бетон плохо работает на растяжение, поэтому не может противостоять раскалывающей его изнутри большой силе, в результате защитный слой бетона полностью отслаивается, и арматура опорных узлов ребристых плит полностью обнажается (рис.3);
- процесс коррозирования бетона и арматуры ускоряется;
- сцепление арматуры с бетоном катастрофически падает, анкеровка растянутой арматуры стремится к нулю;
- наступает предельное состояние опорных узлов ребристой плиты покрытия с одного из её концов, и она срывается с ригеля покрытия, удерживаясь другим концом на смежном ригеле;
- плита разгоняется, как маятник, закручивая верхний пояс ригеля, и с динамическим импульсом наносит удар по нижнему поясу фермы (рис.4);
- импульсный удар  $N_{\text{удар}}$  приводит к закручиванию всей фермы вокруг продольной её оси;
- ослабленные коррозией опорные узлы ребристых плит смежного шага ферм не выдерживают и достигают предельного состояния;
- несколько плит срываются с опор, и возникает цепная реакция лавины обрушения;
- температурный блок сооружения катастрофически обрушается.



Рис. 3. Обрушение защитного слоя бетона из-за коррозии рабочей арматуры и накопления продуктов коррозии – ржавчины

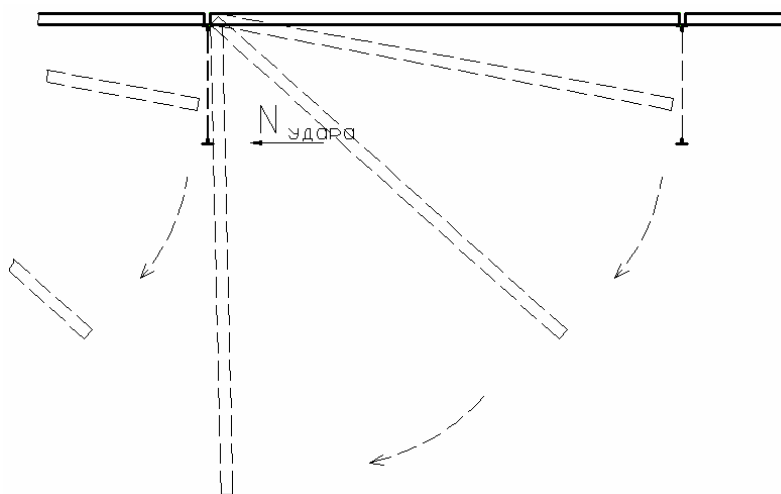


Рис. 4. Удар плиты о ферму

Именно по такому сценарию произошло в 1988 году лавинообразное обрушение электросталеплавильного цеха литейно-арматурного завода ООО «Пензтяжпромарт»

матура» в г. Пензе [4]. В результате обследования установлено, что 7 декабря 1988 года лавиной обрушилось 4032 м<sup>2</sup> покрытия цеха (рис. 5).



Рис. 5. Лавинообразное обрушение двух пролётов покрытия цеха литейно-арматурного завода

В конструктивном отношении здание представляло собой трехпролетную раму с пролетами 24 м и 18 м. В здании имелось два крана на разных отметках по высоте грузоподъемностью 20 т и 30 т. Отметка низа фермы +25.900. Колонны двухветвевые. Имелся светоаэрационный фонарь. Обрушение имело опасный лавинообразный характер. В ходе установления причин возникновения лавинообразного обрушения было выявлено, что в стропильных и подстропильных фермах использована «кипящая» сталь с низкими физико-механическими характеристиками, запрещенная в настоящее время к применению в системах покрытий.

В результате статического и конструктивного расчета установлено, что верхние части двутавровых в сечении колонн в плоскости действия момента перегружены на 10,5 %, из плоскости – на 23 %, нижние части колонн перегружены на 11,2 %. Расчет фермы показал, что опорные раскосы перегружены в некоторых случаях до 29,5 %, элементы решетки – до 50,6 %. Обнаружено плохое качество сварных швов в опорных узлах фермы, перегрузка составляла до 33 % [4].

В результате аварии разрушился температурный блок сооружения длиной 96 м. Уцелел другой однопролётный блок размером 60×24 м. При обследовании уцелевшей части выявлены такие же нарушения, как и в обрушившейся части. Уцелевшая часть здания и в настоящее время находится в прежнем аварийном состоянии!

Одной из серьезнейших причин возникновения лавинообразных аварий промышленных зданий является нулевая живучесть ферм покрытия. Живучесть – это способность системы сохранять свойства, необходимые для выполнения требуемых функций при наличии неблагоприятных воздействий, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации и вызывающих повреждение (отказ) элементов системы [5]. Наиболее существенной причиной аварии является опасное повышение температуры в связи с пожаром в цехе. Известно, что модуль упругости  $E=206000$  МПа стали начинает падать уже при температуре 200 °С, а при температуре 600 °С модуль упругости стремится к нулю, что при серьезной расчетной нагрузке может привести к обрушению всего здания. Примерно 44 % случаев обрушения происходят именно из-за низкой живучести ферм покрытия [3].

На основании всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Состояние каркасов промышленных зданий в результате коррозии бетона и арматуры с каждым годом ухудшается, и это может привести к ситуации, когда обрушения будут следовать одно за одним.

2. Не исключена вероятность наиболее опасных лавинообразных обрушений.

3. При увеличении расчётной снеговой нагрузки со 140 до 180 кг/м<sup>2</sup> (для III снегового района) для большинства конструкций промышленных зданий необходимо немедленно выполнить усиление, иначе неминуемы материальные и, что самое главное, человеческие жертвы.

4. Требуется провести техническое обследование промышленных зданий на предмет выявления ошибок в их проектировании, строительстве и эксплуатации для предупреждения возникновения дальнейших обрушений.

5. Необходимо разработать нормы по срокам обследования промышленных зданий, усовершенствовать нормы по технической эксплуатации и вести регулярный надзор за техническим состоянием таких объектов.

### Список литературы

1. Лашенко, М.Н. Аварии металлических зданий и сооружений [Текст] / М.Н. Лашенко. – Ленинград: Стройиздат, 1969. – 179 с.

2. Алексеева, Е.Л. Анализ повреждаемости элементов каркасов главных корпусов предприятий тепловых электростанций [Электронный ресурс] / Е.Л. Алексеева, Ю.С. Кунин // Наука и безопасность: электрон. журн. – Режим доступа: [www.pnag.ru](http://www.pnag.ru)

3. Беляев, Б.И. Причины аварии стальных конструкций и способы их устранения [Текст] / Б.И. Беляев, В.И. Корниенко. – М.: Стройиздат, 1968. – 202 с.

4. Нежданов, К.К. Обследование строительных конструкций цеха литейно-арматурного завода после обрушения и разработка рекомендаций по их устранению [Текст] / К.К. Нежданов, Н.Я. Кузин. – Пенза, 1989. – 210 с.

5. Кудишин, Ю. Живучесть конструкции в аварийных ситуациях [Текст] / Ю. Кудишин, Д. Дробот // Металлические здания. – 2008. – № 4.

УДК 624.014.2.072.23.046.5(043.3)

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Нежданов Кирилл Константинович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции», заслуженный изобретатель РоссииАдрес: 440066, г. Пенза, ул. Ладожская, д.35, кв.91  
Тел.: 8 (8412) 449637  
E-mail: snakeru@gmail.com

ООО «Фундамент»

Россия, г. Пенза, пр. Строителей, д.39а

**Лаштанкин Алексей Сергеевич**, инженер.Адрес: 440068, г. Пенза, ул. Терновского, д.152, кв.46  
Тел.: 8 927 3977239  
E-mail: las078@rambler.ru

ЗАО «Пенза-GSM»

Россия, г. Пенза, ул. Титова, д.5

**Нежданов Алексей Кириллович**, инженерАдрес: 440066, г. Пенза, ул. Ладожская д.35, кв.91  
Тел.: 8 902 3520001  
E-mail: snakeru@gmail.com*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, , 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Nezhdanov Kirill Konstantinovich**, Doctor of Science. Professor of the department «Building construction», deserve inventor of RussiaAddress: Russia, 440066, Penza, 35, Ladozhskaya St, ap. 91  
Tel.: 8 (8412) 449637  
E-mail: snakeru@gmail.com*Limited company «Fundament»*

Russia, Penza, 39a, Prospect Stroiteley

**Lashtankin Aleksey Sergeevich**, engineerAddress: Russia, 440068, Penza, 152, Ternovskogo St, ap. 46  
Tel.: 8 927 3977239  
E-mail: las078@rambler.ru*Private joint-stock company «Penza-GSM»*

Russia, Penza, 5, Titov St.

**Nezhdanov Aleksey Kirillovich**, engineerAddress: Russia, 440066, Penza, 35, Ladozhskaya St, ap. 91  
Tel.: 8 902 3520001  
E-mail: snakeru@gmail.com

## АМОРТИЗИРУЮЩИЕ ПОДКРАНОВЫЕ БАЛКИ И ИХ ВЫНОСЛИВОСТЬ

К.К. Нежданов, А.С. Лаштанкин, А.К. Нежданов

Представлены результаты исследования выносливости К-образного сварного шва в подрельсовой зоне при 6 млн прокатываний колес мостовых кранов с целью обеспечения достаточного ресурса этой зоны. На основе обработки ранее полученных линий регрессий при отнулевых и симметричных циклах колебаний сдвигающих напряжений строится диаграмма пределов выносливости для 6 млн циклов нагружений. Приводится пример проверки выносливости К-образного сварного шва подкрановой балки для крана тяжёлого режима работы грузоподъёмностью 16/20 т. Показывается возможность регулирования выносливости посредством мощности рельса. Приводится сортамент разработанных арочных рельсов. Производится сравнение характеристик разработанных и старых рельсов, показывается значительное увеличение моментов инерции и моментов сопротивления.

*Ключевые слова: подкрановые балки, выносливость, работоспособность, амортизаторы, арочные рельсы, поглотители энергии, подрельсовая зона, циклы, регрессионная зависимость.*

## DAMPING CRANE GIRDERS AND THEIR ENDURANCE

К.К. Nezhdanov, А.С. Lashtankin, А.К. Nezhdanov

The article is dedicated to guaranteeing K-shaped welded joint durability up to 6M of loading cycles. Basing on processing of previously obtained regression lines from off-zero and symmetric shifting loads deviation cycles they have drawn a chart of durability limits for 6M loading cycles. The example of durability check of K-shaped welding stitch given for the undercrane girder for hard-work regime crane with 16/20 tonnes capacity is included. Explanation on how to control durability through the size of the rail is given. The table of new arch rails characteristics is given, as well as comparison of the old and the new rails. Significant increase in inertia and resistance moments is shown.

*Keywords: undercrane girders, durability, shock absorbing, shock absorbers, low-resource joints, high-resource joints, energy damping, collapse risk, under-rail zone, cycles.*

Главная причина возникновения усталостных трещин в подрельсовой зоне стенок интенсивно эксплуатирующихся подкрановых балок – сильнейшие динамические воздействия, генерируемые движущимися по рельсам колёсами мостовых кранов. Циклические сдвиги в подрельсовой зоне (зоне К-образного шва, соединяющего пояс со стенкой балки) повторяются многие миллионы раз [1, 2].

Срок службы интенсивно эксплуатируемых подкрановых балок на комбинатах чёрной и цветной металлургии ограничен десятью годами [3], то есть в несколько раз меньше, чем других элементов каркаса сооружения. Динамические воздействия колёс экстремально возрастают при тяжёлом режиме работы 8К мостовых кранов и жёстком захвате груза клещами. В этом случае амортизация даже за счёт тросов отсутствует. Практически точечные динамические воздействия колёс мостовых кранов передаются через рельс, который распределяет эти воздействия на некоторую длину в подрельсовую зону жёстко без смягчения, так как краны не снабжены рессорами, что снижает выносливость и живучесть подкрановых конструкций до минимума.

В стальных конструкциях (СНиП П-23–81\*) коэффициент динамичности  $K_{дин}$ , зависящий от режима работы мостовых кранов и способа захвата груза, изменяется от 1,3 до 1,6. Динамические воздействия колёс кранов при жёстком захвате груза клещами достигают своего экстремума  $K_{дин} = 1,6$ . Если воздействия колёс смягчены подвеской груза на тросах (режим работы 7К), то данный коэффициент снижается до  $K_{дин} = 1,3$ .

Произведем оценку снижения коэффициента динамичности по отношению превышений его относительно единицы  $0,6/0,3=2$ , при этом происходит снижение динамических воздействий колёс упругой податливостью тросов *в два раза и соответственно условия работы конструкций улучшаются также в два раза*. Уменьшение коэффициента динамичности до  $K_{дин}=1$ , свидетельствует, что динамические воздействия превратились в *статические* и *проблема возникновения усталостных трещин пропадает*.

Следовательно, чтобы добиться требуемой выносливости и долговечности подкрановых конструкций, необходимо управлять динамическими воздействиями колёс мостовых кранов, смягчая их амортизирующими элементами. Мостовой кран с рессорами разработан [Патент России №2296098], но пока такие краны не выпускаются.

Другим фактором, усугубляющим проблему низкой выносливости, является применение низкоресурсных соединений в креплениях рельса к поясу и в зоне соединения пояса со стенкой балки.

Гохберг М.М. [4, Т. I. с. 136] оценивает ресурс соединений по эффективным коэффициентам концентрации напряжений  $K$ , которые показывают, во сколько раз снизилась выносливость элемента или соединения с концентрацией напряжений по отношению к элементу или соединению без концентрации.

У сварных подкрановых балок эффективные коэффициенты концентрации напряжений достигают максимальных значений  $K=4,0$ , что способствует быстрому появлению усталостных трещин и преждевременному выходу подкрановых балок из строя. Поэтому через 5–6 лет интенсивной эксплуатации балки требуют замены [3]. Эксплуатация подкрановых балок с трещинами запрещена (СНиП III-18–75. Правила производства и приёмки работ). Однако этот запрет часто нарушают, продолжая эксплуатировать балки с трещинами, скорость роста которых возрастает вместе с увеличением числа циклов прокатываний колёс мостовых кранов. Вероятность внезапного обрушения балки, повреждённой усталостными трещинами, вместе с загруженным мостовым краном также увеличивается.

От колёс мостовых кранов возникают *динамические* вертикальные воздействия  $P^{loc}$ , действующие с эксцентриситетом  $e$  (величина смещения оси рельса с оси балки), и *динамические* горизонтальные воздействия  $\pm T^{loc}=0,1P^{loc}$ , действующие с эксцентриситетом, равным высоте рельса  $h_{рел}$ .

Одновременно с силами  $P^{loc}$  и  $T^{loc}$  возникают *динамические* крутящие моменты

$$M_{кр}^{loc} = P^{loc} \cdot e + T^{loc} \cdot h_{рел} . \quad (1)$$

Эти моменты движутся вдоль рельса со скоростью крана.

Расчёт на выносливость, в соответствии с действующими нормами (СНиП 2.01.07–85. Нагрузки и воздействия), производят по нормативным воздействиям одного крана. При определении величины локальных динамических воздействий учитываются коэффициент динамичности  $\gamma_d > 1$  и коэффициент повторяемости воздействий  $\gamma_n < 1$ .

При жёстком захвате груза клещами и режиме работы крана 8К коэффициент динамичности  $\gamma_d = 1,6$ . В справочнике по кранам [4, Т.1, с.68] коэффициенты динамичности «могут вдвое превысить значения, рассчитанные без учёта погрешностей изготовления». При определении локальных напряжений в подрельсовой зоне стенки учитываются оба коэффициента, то есть  $P_{экр} = \gamma_n \gamma_d P_n$ . При определении общих (не локальных) напряжений в подкрановой балке – только коэффициент повторяемости воздействий  $\gamma_n < 1$ .

Рельс распределяет локальные динамические воздействия колёс на некоторую длину, которая зависит от суммарного момента инерции и толщины стенки следующим образом:

$$\lambda_{ef} = 3,25 \sqrt[3]{\frac{\sum J_x}{t_{ст}}}$$

Поэтому локальные напряжения, возникающие в подрельсовой зоне, в первую очередь, зависят от мощности применяемого рельса и его следует назначать в зависимости от  $P_{экр}$ , а не от грузоподъёмности крана. Существующие рельсы часто не обеспечивают достаточной длины распределения локальных динамических воздействий колёс, передаваемых через рельс на балку, и поэтому не обеспечивают требуемой выносливости К-образного сварного шва, которым соединяется верхний пояс со стенкой балки. Низкая эффективность крановых рельсов возникает из-за недостаточной их сопротивляемости изгибу и кручению.

На рубеже второго и третьего тысячелетий были изобретены амортизирующие арочные рельсы (Пат. №2208570 Российская Федерация) (рис. 1).

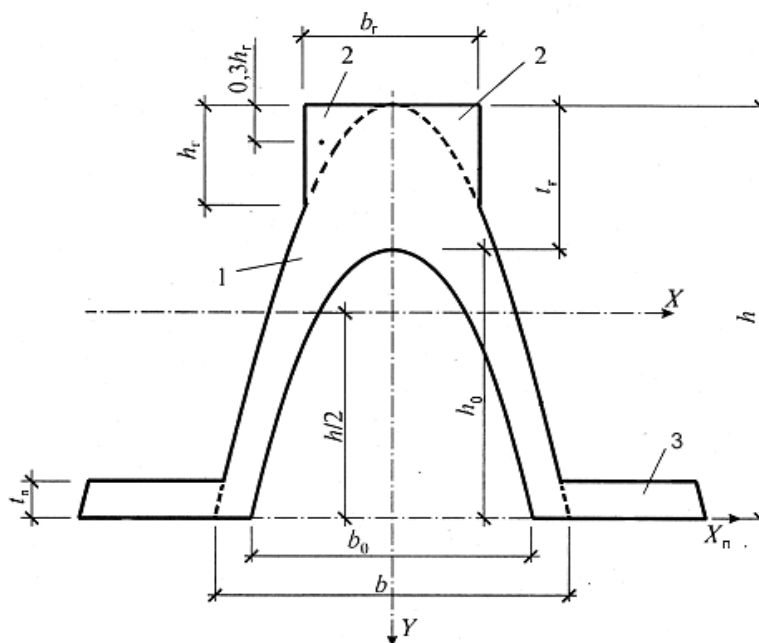


Рис. 1. Поперечное сечение арочного рельса:  
1 – арка; 2 – параболические треугольники; 3 – подошвы

Характеристики амортизирующих арочных рельсов приведены в табл. 1, 2.

Т а б л и ц а 1

Размеры (см) амортизирующих арочных рельсов

Рельс	$b_r$	$b-b_0$	$b$	$b_{max}$	$2b_n$	$h$	$t_r$	$A_n$
АрКР50	5	1,0	10,0	25,1	12,2	11,5	1,6	8,54
АрКР60	6	1,2	10,7	28,2	15,0	15,7	1,8	11,25
АрКР70	7	1,6	11,7	31,3	17,0	18,7	2,0	12,0
АрКР80	8	1,68	14	36,7	19,88	20,0	2,1	17,89
АрКР100	10	1,8	16,3	46,8	27,4	23,2	2,5	27,4
АрКР120	12	1,8	19,0	47,1	16,3	30,0	2,8	16,3
АрКР140	14	2,0	22,0	53,8	17,2	32,2	3,0	17,2

Т а б л и ц а 2

Площади сечения, моменты инерции, моменты сопротивления, масса амортизирующих арочных рельсов

Рельс	$A, \text{см}^2$	$J_x, \text{см}^4$	$W_x, \text{см}^3$	$J_y, \text{см}^4$	$W_y, \text{см}^3$	$J_p, \text{см}^4$	Масса, кг
АрКР50	38,0	780,9	135,8	1310,1	104,4	2091	29,846
АрКР60	50,92	1971,5	251,2	2110,6	149,8	4082,1	39,97
АрКР70	67,31	3618,7	387	3299,4	211	6918,1	52,84
АрКР80	81,08	5042,7	504,3	5525,2	301,1	10567,9	63,65
АрКР100	112,91	9712,0	836,5	12095,9	516,9	21807,8	88,63
АрКР120	149,37	22073,2	1470,6	19322	820,5	41401,5	117,23
АрКР140	194,99	32171,6	1999,5	32077,7	1192,9	64249,3	153,07

Сравнение разработанных *амортизирующих арочных рельсов* со стандартными, прокатываемыми в настоящее время, показывает *неоспоримые преимущества* арочных рельсов, а именно: увеличение моментов инерции и моментов сопротивления в несколько раз (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Увеличение моментов инерции и моментов сопротивления амортизирующих арочных рельсов по отношению к обычным рельсам

Рельс	$J_x$	$W_x$	$J_y$	$W_y$	$J_p$
АрКР50/КР50	2,18	1,782	11,76	4,207	4,45
АрКР60/КР60	3,01	2,178	10,779	4,004	4,800
АрКР70/КР70	3,558	1,966	10,319	3,959	4,931
АрКР80/КР80	3,309	2,161	11,792	4,180	5,304
АрКР100/КР100	3,46	2,272	13,155	4,215	5,854
АрКР120/КР120	4,602	2,664	11,55	4,27	6,4
АрКР140/КР140	5,81	3,162	12,30	3,89	7,90

Главные преимущества *амортизирующих арочных рельсов*:

- гарантированное увеличение основных характеристик без увеличения материалоемкости, например, увеличение моментов инерции при изгибе  $J_x$  в 2–6 раз,  $J_y$  – в 10–13 раз;
- наличие у рельсов естественной амортизирующей способности, возникшей в результате арочного очертания профиля;
- хорошая устойчивость при действии сил  $T_{loc}$  за счёт значительной ширины профиля.

Прокат *амортизирующих арочных рельсов* не налажен, но они могут быть заменены *сборными амортизирующими арочными рельсами*, состоящими из стандартного кранового рельса КР-140, расширителя подошвы рельса, гнутого из прокатной полосовой стали, и прокатного шпунта как *амортизатора* (рис. 2).



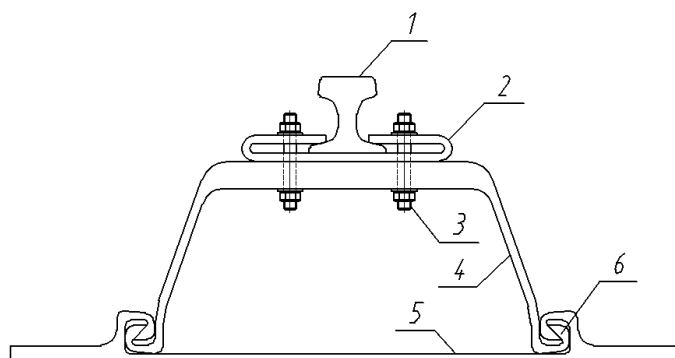


Рис.2. Сборный амортизирующий рельс:  
 1 – рельс КР-140; 2 – расширитель подошвы; 3 – шпильки; 4 – шпунт; 5 – затяжка;  
 6 – ответные шпунтовые соединения

Стандартный крановый рельс, например КР-140, вдвигают продольно с торца в расширитель подошвы, снабжённый соосными отверстиями с одной и другой стороны, и охватывают подошву рельса снизу и с боков.

Неподвижно соединяют в единое целое расширитель подошвы рельса с аркой-амортизатором, высокоресурсным соединением, например высокопрочными легированными шпильками (болтами) с гарантированным натягом (сталь 40 X «Селект»), и получают *амортизирующий* арочный рельс. Изготавливают плоскую затяжку со шпунтовыми соединениями, ответными шпунтовым соединениям пят арки-амортизатора рельса, и рядами соосных отверстий с регулярным шагом для соединения с подкрановой балкой. Вдвигают продольно с торца пяты арки-амортизатора в шпунтовое соединение плоской затяжки и образуют замкнутый по контуру *амортизирующий* арочный рельс.

Основные характеристики элементов *амортизирующего* арочного рельса даны в табл. 4: габариты  $b \times h$  см, площадь сечения  $A$  см<sup>2</sup>, центр тяжести  $y$  см (от подошвы), масса  $m$  кг/м, момент инерции  $J_x$  см<sup>4</sup>.

Т а б л и ц а 4

Характеристики составного амортизирующего рельса

	$b \times h$ , см	$A$ , см <sup>2</sup>	$y$ , см	$m$ , кг/м	$J_x$ , см <sup>4</sup>
Рельс	17×17	187,24	8,75	146,98	5528,3
Расширитель подошвы	40×3,4	70,8	1,5	55,57	118,6
Шпунт	42×17,15	127,4	13,54	100,32	6243

При конструировании двутавровой сварной подкрановой балки необходимо, чтобы все её узлы обладали достаточной выносливостью. Балки, установленные на действующих комбинатах чёрной и цветной металлургии, имеют много слабых в этом отношении узлов. По исследованиям Патрикеева А.Б. [5], наиболее часто усталостные трещины возникают в пояском сварном К-образном шве, у верхних концов сварных швов вертикальных рёбер жёсткости и у верхних углов разрезных балок, это происходит по следующим причинам:

- во-первых, нарушена непрерывность упругой опоры у рельса;
- во-вторых, опора под рельсом имеет ступеньку, в результате чего воздействие от рельса передаётся только на одну, выступающую вверх балку, вызывая увеличение локальных воздействий в 2 раза;
- в-третьих, в этих узлах недопустимо высоки коэффициенты снижения выносливости ( $K > 5$ ) [4, с.141, п.25]. Поэтому появление усталостных трещин в этих узлах балки неизбежно.

По ведомственным нормам [3, с.59], срок эксплуатации подкрановых балок с интенсивным тяжёлым режимом эксплуатации – минимум 10 лет. При накоплении в год 600–650 тыс. циклов [1, 2] за 10 лет накапливается не менее 6 млн циклов. Следовательно, необходимо обеспечить выносливость при прокатывании колёс кранов не менее 6 млн раз.

В работах [8, 9] впервые опубликована полученная диаграмма пределов выносливости и линии регрессии в натуральной логарифмической шкале при симметричных циклах колебаний сдвигающих напряжений и амплитудном коэффициенте  $A_\tau = 1$

$$A_\tau = \frac{\tau_a^{loc}}{\tau_{экт}^{loc}}, \quad (3)$$

$$\tau_{A=1K}^{loc} = a_\tau N^{b_\tau} = 46,583 \cdot N^{-0,260} \quad (4)$$

и при отнулёвых циклах колебаний ( $A_\tau = 0,5$ )

$$\tau_{A=0,5K}^{loc} = a_\tau N^{b_\tau} = 97,022 \cdot N^{-0,260}. \quad (5)$$

Продлим эти линии регрессии до 6 млн циклов и получим пределы выносливости с учётом тройного рассеяния  $3\sigma_{\ln \tau / \ln N}$ . Подставляя в уравнение (4)  $N=6$ , получаем ожидаемые пределы выносливости без учёта рассеяния.

При симметричных циклах  $A_\tau = 1$

$$\tau_{A=1K}^{loc} = a_\tau N^{b_\tau} = 46,583 \cdot 6^{-0,260} = 29,2 \text{ МПа}, \quad (6)$$

предел выносливости с учётом тройного рассеяния в координатах натуральных логарифмов

$$\tau_{\text{Пред.вын.}}^{loc} = e^{\ln \tau_{A=1K}^{loc} - 3\sigma_{\ln \tau / \ln N}} = 22,5 \text{ МПа}. \quad (7)$$

При отнулёвых циклах  $A_\tau = 0,5$

$$\tau_{A=0,5K}^{loc} = a_\tau N^{b_\tau} = 97,022 \cdot 6^{-0,260} = 60,9 \text{ МПа}, \quad (8)$$

предел выносливости с учётом тройного рассеяния

$$\tau_{\text{Пред.вын.}}^{loc} = e^{\ln \tau_{A=0,5K}^{loc} - 3\sigma_{\ln \tau / \ln N}} = 46,9 \text{ МПа}. \quad (9)$$

Аналогично получаем тангенс угла наклона нижней линии диаграммы пределов выносливости:

$$\text{tg } \psi_H = 2 \cdot \left( 1 - \frac{\tau_{A=1K}^{loc}}{\tau_{A=0,5K}^{loc}} \right) \quad (10)$$

$$\text{tg } \psi_H = 2 \cdot \left( 1 - \frac{22,5}{60,9} \right) = 1,04 \Rightarrow \psi_H = 46,12^\circ \quad (11)$$

и пределы выносливости при произвольном коэффициенте  $A_\tau$

$$\tau_{\text{Пред.вын.}}^{loc} = \tau_{A=1K}^{loc} + \tau_m \cdot \text{tg } \psi_H \quad (12)$$

где  $\tau_m$  – средние напряжения циклов сдвигов

при 4 млн циклов 
$$\tau_{\text{Пред.вын.}}^{loc} = 25,0 + 1,04 \cdot \tau_m \quad (13)$$

при 6 млн циклов 
$$\tau_{\text{Пред.вын.}}^{loc} = 22,5 + 1,04 \cdot \tau_m. \quad (14)$$

## Предельные амплитуды колебаний сдвигающих напряжений

$$\tau_{a \text{ пред}} = R_v - \tau_m \quad (15)$$

Суть проверки на выносливость сводится к следующему: находятся средние сдвигающие напряжения в балке и предельные амплитуды колебаний сдвигов при локальных воздействиях колёс кранов [6]. Если амплитуды превышают предельные по диаграмме, приведённой на рис. 3, *выносливость не обеспечена*. Ориентировочные значения пределов выносливости при различных амплитудных коэффициентах приведены в табл. 5.

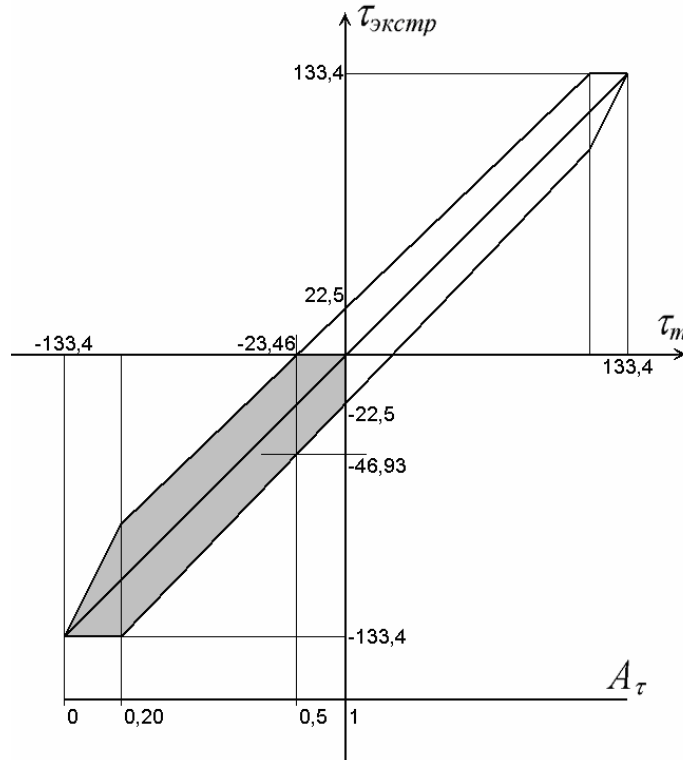


Рис. 3. Диаграмма пределов выносливости для 6 млн циклов колебаний напряжений

Т а б л и ц а 5

Значения пределов выносливости  $R_v$  и предельных амплитуд  $\tau_{a \text{ пред}}$  в зависимости от амплитудного коэффициента  $A_\tau$

$\tau_m$	0	20	23,46	30	40	60	80	100	103,3
$A_\tau$	1	0,54	0,5	0,44	0,38	0,29	0,24	0,21	0,21
$R_v$	22,5	43,3	46,93	53,7	64,1	84,9	105,7	126,6	130
$\tau_{a \text{ пред}}$	22,5	23,3	23,46	23,7	24,1	24,9	25,7	26,6	26,7

Предельные амплитуды локальных сдвигающих напряжений изменяются мало. Тем более что при 4–6 млн циклов амплитудный коэффициент  $A_\tau > 0,3$ . Так, при  $A_\tau = 0,29$  предельная амплитуда колебаний больше, чем при симметричных циклах в  $24,9/22,5 = 1,1$  раза, т.е. на 10%.

Выносливость К-образного сварного шва в подрельсовой зоне стенки балки обеспечивается следующим образом:

- амплитуды колебаний сдвигающих напряжений  $\pm\tau_a$  не должны превышать предельной амплитуды колебаний  $\pm\tau_{a \text{ пред}}$  (6 млн циклов)

$$\tau_a < \tau_{a \text{ пред}}; \quad (16)$$

- экстремумы сдвигающих напряжений не должны превышать предела выносливости  $R_v$  при определённом амплитудном коэффициенте  $A_t$  и заданном числе циклов прокатывания колёс кранов (6 млн)

$$\tau_{\text{экстр}} < R_v. \quad (17)$$

Авторами был произведён ряд проверок выносливости существующих подкрановых балок и рельсов согласно вновь полученной диаграмме выносливости. В частности, проверка подкрановой балки для крана грузоподъемностью  $Q_{\text{кр}}=16/20$  т с режимом работы 8 К с жёстким захватом груза показывает, что выносливость при 6 млн циклов не гарантирована даже при использовании наиболее мощного прокатываемого рельса КР-140.

В заключение следует сделать ряд выводов:

1. Расчёт необходимо вести для 6 млн циклов нагружений с учётом тройного рассеяния в логарифмических координатах. Диаграмма пределов выносливости показывает недостаточную выносливость тех конструкций, которые ранее считались выносливыми.

2. В некоторых случаях обеспечивать выносливость при использовании существующих рельсов невозможно и её следует повышать, применяя амортизирующий арочный рельс или удаляя сварной шов на такое безопасное расстояние, где локальные сдвигающие напряжения не могут вызвать в нём появление усталостных трещин.

3. Сборные амортизирующие арочные рельсы снижают динамические воздействия колёс кранов и позволяют перевести работу подрельсовой зоны подкрановой балки в зону так называемой «неограниченной выносливости».

4. Разработанные конструкции амортизирующих подкрановых балок обеспечивают их надёжную эксплуатацию при шести и более миллионов циклов прокатываний колёс кранов (то есть не менее 10 лет интенсивной эксплуатации при режиме работ кранов 8К, 7К).

#### Список литературы

1. Нежданов, К.К. Совершенствование подкрановых конструкций и методов их расчёта [Текст]: дис. ... на д-ра техн. наук / К.К. Нежданов. – Пенза, 1992.
2. Сабуров, В.Ф. Закономерности усталостных повреждений и разработка метода расчётной оценки долговечности подкрановых путей производственных зданий [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / В.Ф. Сабуров. – Челябинск, 2002.
3. ОРД 0000089. Техническая эксплуатация стальных конструкций производственных зданий. Вводится в действие с 3.08.1989 [Текст]. – М.: МИНЧЕРМЕТ, 1989. – 98 с.
4. Справочник по кранам: в 2 т. Т.1. Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчёта кранов, их приводов и металлических конструкций [Текст]// В.И. Брауде [и др.]; под ред. М.М. Гохберг. – М.: Машиностроение, 1988. – 536 с. Т.2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов// М.П. Александров [и др.]; под ред. М.М. Гохберг. – Л.: Машиностроение, 1988. – 559 с.
5. Многоколесный мостовой кран [Текст] / К.К. Нежданов [и др.] // Пат. №2296098. Российская Федерация. Бюл. №9. Опубликовано 27.03.2077.
6. Нежданов, К.К. Долговечные подкрановые конструкции [Текст]: учеб. пособие / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, В.А. Туманов. – Пенза: ПГАСА, 2000. – 176 с.
7. Патрикеев, А.Б. О механизме разрушения верхних участков стальных подкрановых балок [Текст] / А.Б. Патрикеев // Промышленное строительство. – 1971. – № 5.
8. Нежданов, К.К. Расчёт на выносливость двутавровых подкрановых балок с К-образными сварными швами в подрельсовой зоне стенки / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2007. – №4. – С.66–70.
9. Нежданов, К.К. Совершенствование подкрановых конструкций и методов их расчёта [Текст]: моногр. / К.К. Нежданов. – Пенза, ПГУАС, 2008. – 288 с.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Нежданов Кирилл Константинович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительные конструкции», заслуженный изобретатель России  
Адрес: 440066, г. Пенза, ул. Ладожская, д.35, кв.91  
Тел.: 8 (8412) 449637

**Клочков Егор Викторович**, аспирант кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: nerob@muail.r

**Каледин Константин Иванович**, аспирант кафедры «Строительные конструкции»  
Тел.: (8412) 68-39-95

*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, , 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Nezhdanov Kirill Konstantinovich**, Doctor of Science. Professor of the department «Building construction», deserve inventor of Russia  
Address: Russia, 440066, Penza, 35, Ladozhskaya St, ap. 91  
Tel.: 8 (8412) 449637

**Klochkov Egor Viktorovich**, Postgraduate of the department «Building structures»  
E-mail: nerob@muail.r

**Kaledin Konstantin Ivanovich**, Postgraduate of the department «Building structures»  
Tel.: (8412) 68-39-95

## РАМНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДВУХПРОЛЁТНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

К.К. Нежданов, Е.В. Клочков, К.И. Каледин

Доказывается эффективность совместной работы конструкций светоаэрационного фонаря с трёхпролётным прокатным ригелем рамы.

Внедрение трубобетонных элементов и фундаментов-макрорегуляторов позволяет одновременно повысить надёжность конструкции и снизить её материалоемкость.

*Ключевые слова: двухпролётное промышленное здание, конструкция, трубобетонные элементы, фундаменты-макрорегуляторы, трёхпролётный ригель, светоаэрационный фонарь.*

## FRAME DESIGNS OF TWO-FLYING INDUSTRIAL BUILDING

K.K. Negdanov, E.V. Klochkov, K.I. Kaledin

Combined action efficiency of light-aeration lantern designs and three-span frame rolling crossbar is proved.

Introduction of pipe-concrete elements and foundation-macroregulator allows to raise design reliability and to lower its material consumption.

*Keywords: two-flying industrial building, design, pipe-concrete elements, foundation-macroregulator, three-span crossbar, light-aeration lantern.*

В России значительное количество функционирующих промышленных предприятий имеет в эксплуатации здания, которые находятся в аварийном состоянии и вероятность обрушения которых весьма велика.

На данный момент остро стоит проблема безопасной эксплуатации зданий металлургической отрасли, так как именно здесь в последнее десятилетие произошло наибольшее количество обрушений.

Поэтому актуальность проведения исследований на основе комплексного подхода к решению проблем повышения безопасности и надёжности конструкций промышленных сооружений несомненна.

Теоретический анализ типовой П-образной рамы

В настоящее время конструкции одноэтажных промышленных зданий с литейными кранами (в особенности с кранами большой грузоподъёмности средних и тяжёлых режимов работы) достаточно материалоемки. Здания такого типа, построен-

ные в 50–60-х годах XX века, имеют многопролётные рамы со ступенчатыми двутавровыми колоннами и фонарями посередине пролёта здания, предназначенные для аэрации и освещения. Ригели здания решётчатые – то есть фермы. Примем типовое решение за аналог.

Недостатки аналога следующие:

- избыточная материалоемкость;
- сложность узлов сопряжения конструкций, вызывающая избыточную трудоёмкость и исключаящая безвыверочный монтаж конструкций с первой попытки;
- результаты обследований [1] показывают, что сжатые элементы решётчатых стальных конструкций по сравнению с растянутыми обладают меньшими резервами надёжности;
- почти половина (44 %) всех случаев обрушения каркасов промышленных зданий происходит из-за потери устойчивости решётчатых конструкций [1];
- статически определяемая решётчатая конструкция имеет нулевую живучесть [2], достигает предельного состояния при потере устойчивости одного из сжатых элементов, превращаясь в механизм, что приводит к её обрушению.

Следовательно, необходимо совершенствовать все элементы рамных конструкций промышленного здания, чтобы исключить внезапность обрушения какого-либо конструктивного элемента.

Предлагается ряд конструктивных усовершенствований рамы двухпролётного промышленного здания, способствующих повышению её надёжности, снижению материалоемкости по сравнению с аналогами, а также обеспечению безвыверочного монтажа конструкций.

#### Компоновка двухпролётной П-образной рамы

Предлагаемая рама двухпролётного здания (рис. 1), оборудованного мостовыми кранами, содержит две ступенчатые крайние колонны. Мощная ступенчатая центральная колонна имеет две ветви, соединённые решёткой. Ригель покрытия (трёхпролётная балка) шарнирно соединён с крайними колоннами и с ветвями центральной колонны. Над центральной колонной помещён фонарь, выполняющий светоаэрационные функции.

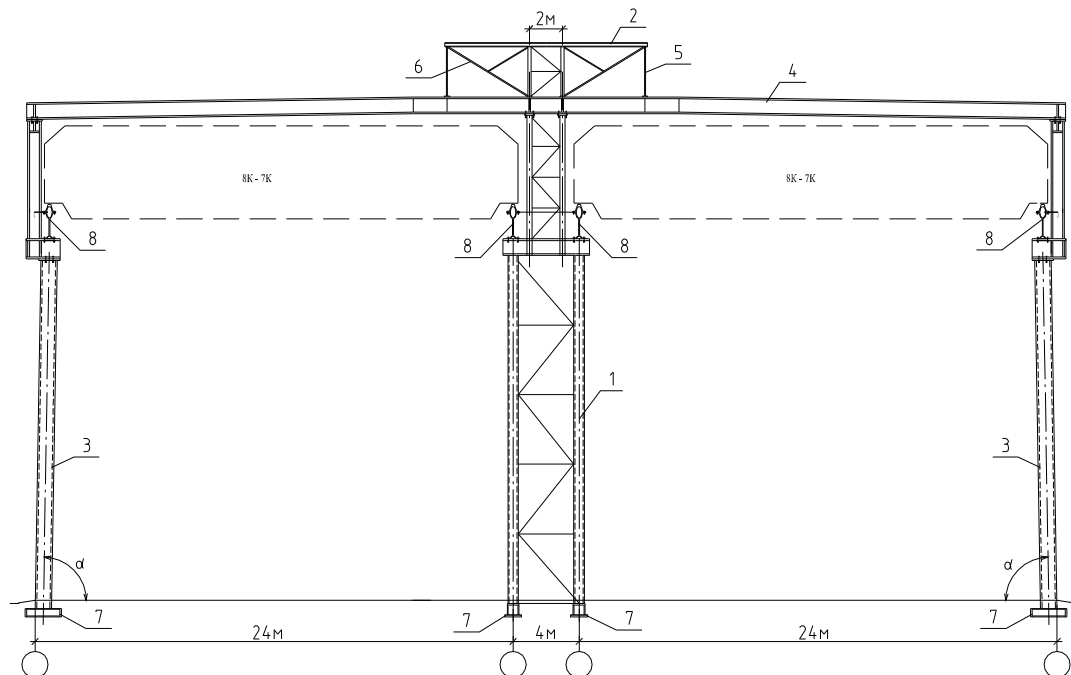


Рис. 1. Компоновка П-образной рамы двухпролётного промышленного здания с применением новых конструктивных решений

Центральная колонна 1 доведена до двухконсольной прокатной балки 2 фонаря с лотками в поясах [3]. Ветви центральной колонны и крайние колонны 3 выполнены из трубобетонных элементов, эллиптических в сечении, с отношением большего диаметра к меньшему, равным трём.

Трубобетонные колонны сочетают в себе лучшие свойства стальных и железобетонных конструкций. Сами по себе стальные конструкции обладают недостаточной огнестойкостью (величина модуля упругости стремится к 0 при 600 °С, элемент начинает терять устойчивость) по сравнению с обычными железобетонными конструкциями со стержневой арматурой.

Центральные и крайние колонны представляет собой две стальные обоймы (внутренняя обойма очень тонкая (1...2 мм), нужна лишь для придания формы профилю), расстояние между которыми (50...60 мм) заполняют бетоном.

Неразрезной ригель 4 выполнен из прокатного профиля с лотками в поясах [3], причём расстояние между трубобетонными ветвями верхней части центральной колонны равно 1/10...1/12 пролёта рамы. Верхние части крайних колонн смещены наружу для обеспечения минимального зазора между их гранями и боковой поверхностью мостового крана. Нижние части крайних колонн наклонены к вертикали так, что с увеличением их высоты расстояние между центрами тяжести их сечений уменьшается. Угол  $\alpha$  наклона нижней части крайней колонны относительно вертикали определяют расчётом. Угол  $\alpha$  назначен таким, чтобы величина изгибающего момента, возникающего в узле сопряжения крайней колонны с фундаментом, стала минимальной, а следовательно, и усилия в анкерных болтах стали минимальными.

Неразрезная трёхпролётная балка шарнирно соединена с крайними колоннами и трубобетонными ветвями верхней части центральной колонны и работает как трёхпролётная балка с малым центральным пролётом, жёсткость которого в три-пять раз больше, чем жёсткость её крайних пролётов.

Фонарь здания [4], выполняющий светоаэрационные функции, помещён над центральной колонной и перекрыт двухконсольной балкой с лотками в поясах. Концы двухконсольной балки фонаря соединены с нижележащей трёхпролётной балкой вертикальными подвесками 5 и наклонными растянутыми раскосами 6. Поэтому конструкции фонаря включены в работу трёхпролётной балки рамы и укрепляют её середину.

Колонны рамы жёстко соединены с фундаментами-макрорегуляторами 7, регулирующими напряжённое состояние рамы. Фундаменты-макрорегуляторы [5] всех колонн рамы выполнены с соплами, заполненными балластом из сыпучего материала, пластифицированного глинистой пульпой, и оснащены грунтонасосами [6], закачивающими пластифицированный балласт в сопла и управляющими креном и осадкой всех фундаментов-макрорегуляторов и колонн рамы.

Подкрановые балки 8 (рис. 2) установлены на консоли центральной колонны с минимальным эксцентриситетом, то есть так, чтобы между выступающей в сторо-

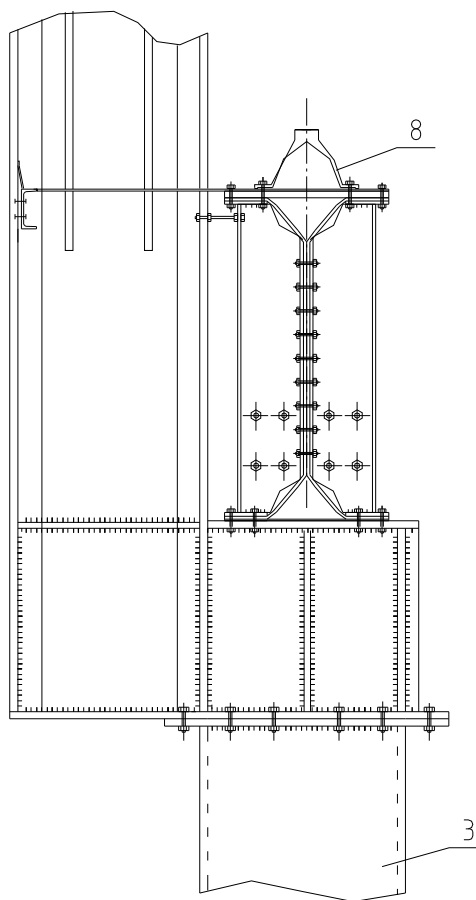


Рис. 2. Узел подкрановой балки, опирающийся на крайнюю колонну

ну центральной колонны боковой гранью крана и этой колонной был обеспечен минимально допустимый зазор, а на крайних колоннах 3 – без эксцентриситета, по центру тяжести их нижнего сечения. Подкрановая балка выполнена из прокатных лоткообразных профилей, соединенных друг с другом заклёпками с внедряемыми сердечниками.

### Способ монтажа рамы с предварительным напряжением

Монтируют фундаменты-макрорегуляторы (см. рис.1), а затем безвыверочным способом центральную колонну и крайние колонны. Безвыверочно монтируют трёхпролётную балку и шарнирно соединяют её с крайними колоннами и ветвями центральной колонны. Монтируют конструкции фонаря, подвесками соединяют концы двухконсольной балки фонаря с нижележащей трёхпролётной балкой и растянутыми раскосами – центральную колонну с этой же трёхпролётной балкой. В результате жёсткость и прочность средней части трёхпролётной балки значительно повышаются.

Рассчитывают требуемую величину поддомкрачивания центральной колонны для создания требуемой величины отрицательных опорных моментов в зоне малого центрального пролёта трёхпролётной неразрезной балки и уменьшения положительных пролётных моментов.

Оснащают фундаменты-макрорегуляторы центральной колонны рамы грунтонасосами с домкратами-пульсаторами, включают домкраты-пульсаторы и грунтонасосами закачивают в сопла каждого фундамента-макрорегулятора центральной колонны рабочее тело из сыпучего материала, пластифицированного глинистой пульпой, и выдавливают фундамент из грунта вверх на расчётную величину  $\Delta$ .

Обеспечивают напряжение всей системы рамы, увеличивают опорные моменты по модулю в трёхпролётной балке над ветвями центральной колонны и уменьшают пролётные моменты в крайних пролётах трёхпролётной балки, в результате материалоемкость её и рамы двухпролётного здания снижается.

Благодаря созданию требуемого напряжённого состояния компенсируются избыточные напряжения от внешней нагрузки, а следовательно, снижается материалоемкость рамы.

Минимизируются эксцентриситеты и изгибающие моменты  $M_{\max}$ ,  $M_{\min}$ , возникающие от крановых воздействий, и достигается высокая надёжность балочных конструкций по сравнению с решётчатыми; кроме того, применяются новые запатентованные профили. Такой подход позволит повысить надёжность рамы промышленного цеха в несколько раз при одновременном снижении материалоемкости и значительном уменьшении трудоёмкости изготовления конструкций.

### Расчет сечения трёхпролётного ригеля рамы

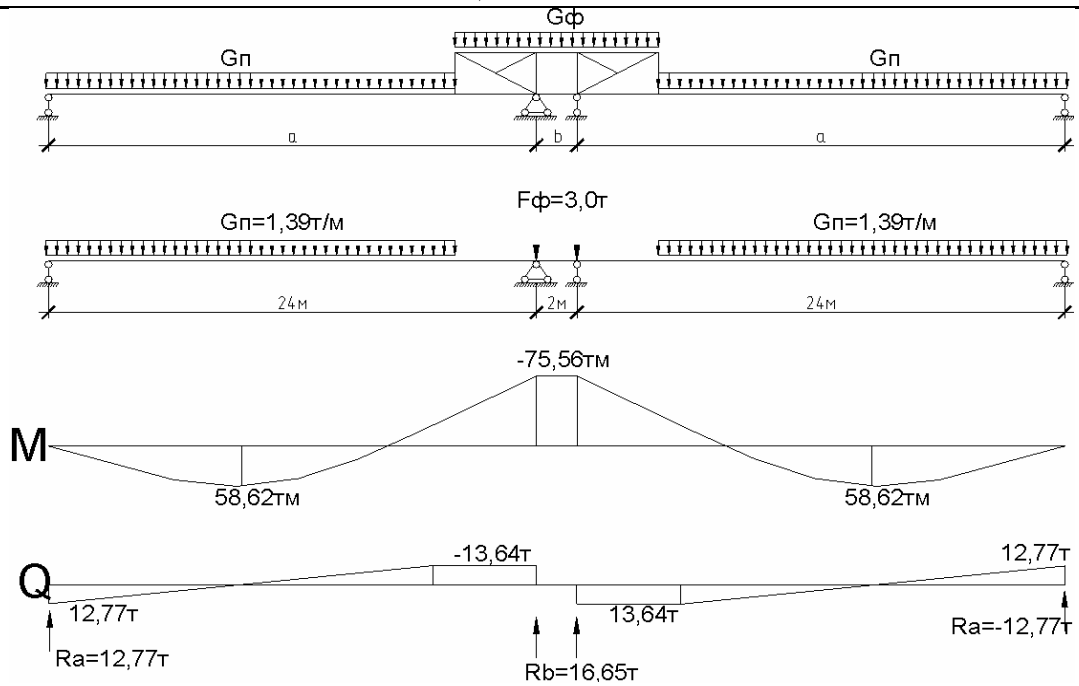
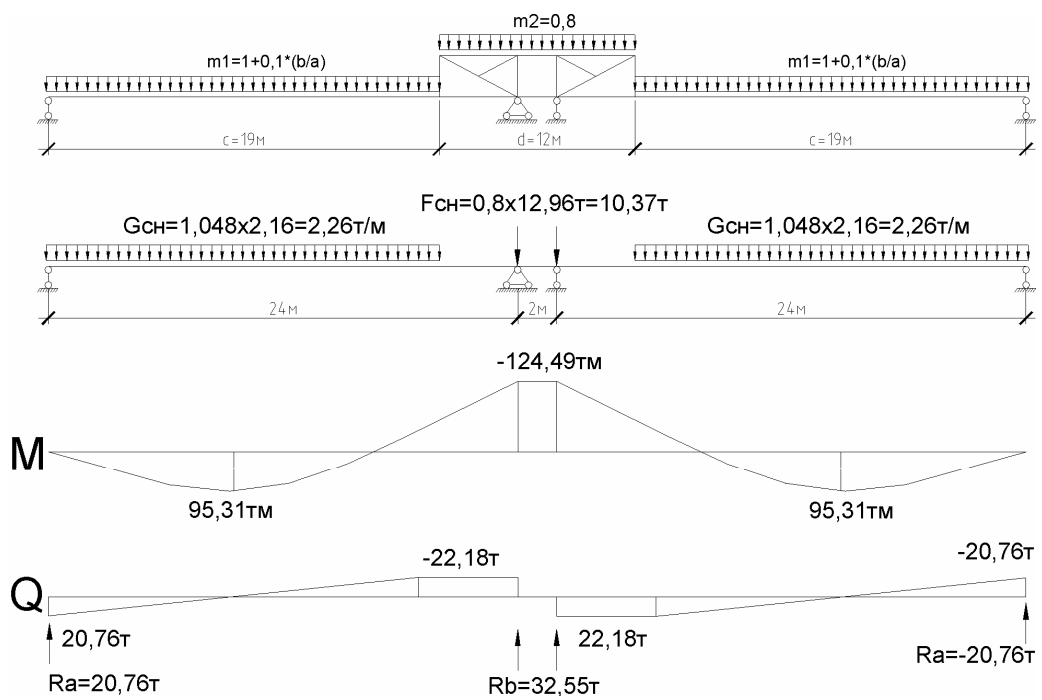
Расчёт произведен на действие постоянной нагрузки на всём пролёте (рис. 3) и равномерно распределенной снеговой нагрузки (рис. 4) при шаге колонн 12 м. Нагрузки, передаваемые от фонарной конструкции, выражены сосредоточенными силами. Стропильные балки выполнены из стали 09Г2 гр2 (С345) ( $R_y=315$  МПа;  $R_t=460$  МПа).

Согласно полученным эпюрам

$$M_{\text{прол}} = M_{\text{пост}} + M_{\text{сн}} = 154 \text{ Т} \cdot \text{м} ,$$

$$W_x^{\text{прол}} = \frac{M_{\text{прол}}}{R_y} = 4886 \text{ см}^3 .$$




 Рис. 3. Эпюры  $M, Q$  от постоянной нагрузки

 Рис. 4. Эпюры  $M, Q$  от снеговой нагрузки (III снеговой р-н)

Принимаем двутавр с лотками в поясах I60ЭП [4] (рис.5), эквивалентный по площади и массе двутавру I60Ш1 (ГОСТ 26020–83), со следующими характеристиками сечения:

$$A = 179 \text{ см}^2; W_x = 5057 \text{ см}^3 (> W_x \text{ I60Ш1} = 3701 \text{ см}^3); I_x^{\text{сеч}} = 214267 \text{ см}^4;$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{прол}}}{W_x} = 304 < 315 \text{ МПа.}$$

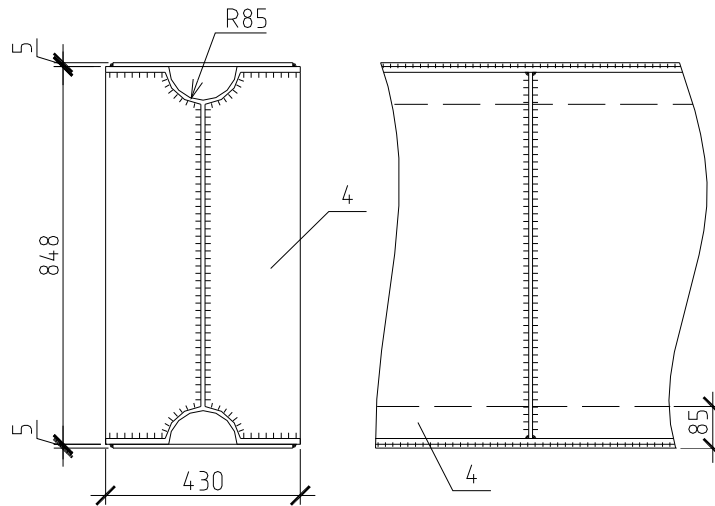


Рис. 5. Сечение двутавра с лотками в поясах I60ЭП

Прочность балки в данном сечении обеспечена.

$$M_{\text{опор}} = M_{\text{пост}} + M_{\text{сн}} = 200 \text{ т} \cdot \text{м},$$

$$W_x^{\text{опор}} = \frac{M_{\text{опор}}}{R_y} = 6351 \text{ см}^3; > W_x = 5057 \text{ см}^3.$$

Методом подбора принимаем толщину навариваемого листа равной 0,5 см. Тогда

$$I_x = I_x^{\text{сеч}} + 2 \cdot \left( \frac{b \cdot t^3}{12} + b \cdot t \cdot \left( \frac{h}{2} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) = 292486 \text{ см}^4;$$

$$W_x = \frac{I_x}{y} = 6802 \text{ см}^3; > W_{\text{тр}} = 6351 \text{ см}^3;$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{опор}}}{W_x} = 287 < 315 \text{ МПа}.$$

Прочность балки обеспечена. Запас прочности составляет 7 %.

$$\frac{f}{l} = \frac{M_{\text{пр}} \cdot l}{10 \cdot E \cdot J} - \frac{M_{\text{оп}} \cdot l}{15,59 \cdot E \cdot J} \leq \frac{1}{n_0} = \frac{1}{250}; \quad \frac{f}{l} = \frac{1}{1492} < \frac{1}{250}.$$

Жесткость сечения балки обеспечена.

Сравнительный анализ материалоемкости предлагаемого к внедрению нового профиля – двутавра с лотками в поясах – с материалоемкостью двух стандартных прокатных профилей (ГОСТ 26020–83), из которых также возможно выполнение трёхпролётного неразрезного ригеля ( $L=24 \times 2 + 2 = 50$  м), и типовой стропильной фермы показал: балка из двутавра с лотками в поясах весит 7 т, двутавр I90Б1 – 9,7 т, двутавр I70ШЗ – 11,75 т, ферма ФС24-4,80 – 5,96 т.

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Надёжность неразрезной трехпролётной балки с лотками в поясах, по сравнению с решётчатой конструкцией (фермой), повышена в несколько раз.

2. Трубобетонные колонны, овальные в сечении, обладают улучшенными моментами инерции и моментами сопротивления. Сечение имеет повышенную прочность и огнестойкость.
3. Конструкции фонаря эффективно участвуют в работе рамы, усиливая её.
4. Минимизированы внешние сосредоточенные крутящие моменты  $M_{\max}$ ,  $M_{\min}$  в опорных узлах на консолях колонн, что приводит к снижению материалоемкости каркаса.
5. Моменты, возникающие в сопряжении крайних колонн с фундаментом-макро-регулятором, снижены до минимума. Это приводит к малой материалоемкости баз колонн.
6. Упрощена трудоёмкость изготовления и монтажа конструкций рамы.

#### Список литературы

1. Беляев, Б.И. Причины аварии стальных конструкций и способы их устранения [Текст] / Б.И. Беляев, В.И. Корниенко. – М.: Стройиздат, 1968. – С. 82–95.
2. Кудишин, Ю. Живучесть конструкции в аварийных ситуациях [Текст] / Ю.И. Кудишин, Д.Ю. Дробот // Металлические здания. – М., 2008. – Ч. 1. – № 4. – С. 20–22; Ч. 2. – № 5. – С. 21–33.
3. Прокатная балка [Текст]: пат. 2227069 Рос. Федерация / К.К. Нежданов [и др.]; опубл. 20.04.2004, Бюл. № 11.
4. Ищенко, И.И. Лёгкие металлические конструкции одноэтажных производственных зданий [Текст] / И.И. Ищенко // Справочник проектировщика. – М., 1998. – С. 105–109.
5. Способ управления осадкой осевшего фундамента [Текст]: пат. 2230157 Рос. Федерация / К.К. Нежданов [и др.]; опубл. 10.06.2004, Бюл. № 16.
6. Грунтонасос [Текст]: пат. 2228408 Рос. Федерация / К.К. Нежданов [и др.]; опубл. 10.05.2004, Бюл. № 13.

УДК 69.059

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Гусев Николай Иванович**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Технология строительного  
производства»  
Тел.: (8412) 92-69-29

**Кубасов Евгений Александрович**,  
студент гр. ПГС-54  
Тел.: (8412) 49-95-32

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Gusev Nikolai Ivanovich**,  
Candidate of Sciences, Professor  
of the department «Technology of  
construction production»  
Tel.: (8412) 92-69-29

**Kubasov Evgeniy Alexandrovich**,  
student of group PGS-54  
Tel.: (8412) 49-95-32

## КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ ОБРАЗОВАНИЯ НАЛЕДИ НА КРЫШАХ

Н.И. Гусев, Е.А. Кубасов

Произведен анализ гидротермальных причин формирования наледи на чердачных крышах отапливаемых зданий, сформулированы конкретные предложения по предотвращению образования наледи, исходя из многовекового опыта строительства.

*Ключевые слова: теплозащита чердака, влагозащита, льдообразование на крышах, меры борьбы с наледью.*

## CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF ELIMINATING ICEED ROOFS

N.I. Gusev, E.A. Kubasov

The authors have analyzed hydrothermal causes of heated houses attics icing. Real proposals how to prevent it are given.

*Keywords: Heat shield attic, moisture protection, roof icing, measures against icing.*

Крыша является важной частью конструкции любого здания, будь то промышленное предприятие, общественное здание или жилой дом. От того, насколько надежно крыша защищает такие важные элементы здания, как стены, цоколь и перекрытия, от неблагоприятных атмосферных воздействий, зависит долговечность всего сооружения.

Наиболее сложным в технической эксплуатации защитных конструкций является осенне-зимний период. Одной из самых значительных проблем, возникающих в это время, является образование сосулек и наледей на свесах крыш. Зимний пласт снега на крыше постепенно превращается в мощный ледник, который, как и положено леднику, медленно сползает к свесу крыши. Его подтаивание со стороны кровли обеспечивает хорошее скольжение, а талая вода стекает к свесу, в результате чего происходит наращивание мощных многометровых сосулек, периодически падающих под действием собственного веса.

Образование сосулек на скатных крышах домов в зимний период носит повсеместный характер и наиболее сильно проявляется в крупных городах ввиду складывающегося в них особого микроклимата.

Осадки в виде снега, скапливающегося на кровле, образуют защитный слой и не представляют какой-либо опасности при холодных проветриваемых чердаках и хорошей теплоизоляции чердачного пространства. Однако на практике внутренняя часть

крыши всегда подогрета тепловыделениями со стороны чердачного перекрытия и от коммуникаций отопительной системы, расположенной на чердаке.

При повышении температуры окружающей среды или наступлении оттепели начинается таяние залегающего на крыше снежного покрова, особенно нижнего подогретого слоя. Образовавшаяся при этом вода стекает к карнизному свесу. На самом краю кровли, не находящемся в зоне теплового воздействия здания и имеющего значительно более низкую температуру, вода начинает замерзать. Здесь образуется постоянно растущий ледяной барьер для талой воды, создаются условия для роста и развития сосулек даже при морозной погоде. Количество натаившей и стекающей по кровле воды зависит от температуры наружного воздуха и воздуха чердачного пространства.

Образование сосулек представляет собой серьезную проблему для городского хозяйства и энергетики. Под тяжестью висящих сосулек или при их падении могут обрываться электропровода, ломаться или повреждаться конструкции зданий и сооружений, в том числе балконы и обитаемые лоджии. Отмечаются также случаи травмирования и даже гибели людей.

В обязанности коммунальных служб входит удаление с крыш снеговых и ледяных масс, сбивание сосулек. К сожалению, в связи с непостоянством погодных условий последних десятилетий в виде колебаний температуры от  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , удаление ледяных сталактитов превращается в своего рода сизифов труд; к тому же даже при относительно качественном выполнении необходимых операций по их ликвидации невозможно избежать повреждения конструкций кровли и находящихся под свесами крыш или вблизи зданий объектов, например козырьков над подъездами, автомобилями и т.д.

Таким образом, проблема наледи на крышах является насущной и требует незамедлительного решения ввиду значительного ущерба, наносимого глыбами льда, как падающими, так и медленно сползающими к свесам крыш. Последние годы руководителями различных уровней повсеместно ставился вопрос о поиске эффективных методов решения данной проблемы. Реакция на поставленную задачу последовала незамедлительно и со стороны ученого сообщества, и со стороны рационализаторов-самоучек, и со стороны общественности. Начались исследования по поиску *способов борьбы с наледью*. В результате были получены разработки и предложения, резко отличающиеся друг от друга, – от удивительно простых до фантастических, например использование лазера или робота-манипулятора.

Но не стоит ли нам в сложившейся ситуации оглянуться назад и посмотреть, как решали эту проблему наши предки, жившие в аналогичных нам климатических условиях? У них не было лазеров и импульсных установок, но о фактах гибели людей под падающими с крыш глыбами льда доподлинно неизвестно. Просто у них были дворники, которые сбрасывали снег с крыши после очередного обильного снегопада. Но сбрасывали они именно снег, а не лед, который образуется из снега и, подобно леднику, медленно сползает к свесу крыши, формируя тонны сосулек.

Причина такого нежелательного превращения, как уже отмечалось выше, кроется в нарушении *гидротермальных режимов* в чердачном перекрытии и крыше. Совершенно очевидно, что чердачное перекрытие должно не только выполнять функцию сохранения тепла в помещениях верхнего этажа здания, но и препятствовать его проникновению в чердачное пространство. К счастью, обе эти функции можно реализовать с помощью *эффективного утеплителя*, применяемого в различных конструкциях чердачных перекрытий.

В жилых домах чаще всего используют перекрытия балочного и плитного типа. В перекрытиях балочного типа несущую функцию выполняют балки из дерева, металла или железобетона, уложенные на несущие стены, или колонны с шагом 600...1100 мм. Как правило, деревянные балки перекрывают пролеты до 4,5 м, а металлические и железобетонные – до 6...9 м.

Перекрытия по деревянным балкам получили широкое распространение в коттеджном строительстве. Высота деревянных балок принимается равной  $1/20...1/25$  ширины пролета и обычно составляет 100...200 мм при толщине 50, 75 или 80 мм.

Балки изготавливают из массивного или клееного бруса, на небольших пролетах допускается установка предварительно скрепленных, спаренных балок из досок толщиной не менее 50 мм. Концы балок опирают на внешние несущие стены, а в случаях большепролетных конструкций среднюю часть опирают на внутренние несущие стены.

Для обеспечения звукоизоляции и сбережения тепла пространство между балками заполняют утеплителем. Для этого по сплошному накату из досок настилают листы пароизоляции, на которую укладывают или насыпают теплоизоляционный материал.

При устройстве деревянного перекрытия особое внимание следует обращать на прохождение через перекрытие дымовых печных, каминных и котельных труб. Расстояние между трубой и деревянными конструкциями должно быть не менее 25 см, а вокруг трубы устраивают теплоизолирующую прокладку из листового асбеста или базальтина.

В перекрытиях плитного типа несущей конструкцией является плита, которая одновременно служит основанием для укладки тепло- и звукоизоляционных материалов, полов и крепления подвесных потолков. Чаще всего используют многопустотные и сплошные железобетонные панели. Многопустотные плиты толщиной 220 мм перекрывают пролет до 6,6 м, сплошные при толщине 120 мм могут перекрывать пролет до 4,2 м, а при толщине 160 мм – до 6,6 м. Панели укладывают на несущие стены на цементный раствор с опиранием на 90...120 мм.

Железобетонные перекрытия используют только в домах из кирпича, бетона или камня. Важной особенностью таких перекрытий является их высокая несущая способность. Такие перекрытия требуют дополнительного утепления, так как сами обладают низкой способностью к теплоизоляции и высокой звукопроницаемостью. По способу изготовления различают монолитные и сборные перекрытия.

Важнейшее место при устройстве чердачного перекрытия должно уделяться теплоизоляции. *Нормирование теплозащиты* (расчет приведенного сопротивления теплопередаче) чердачных перекрытий производится в соответствии со СНиП «Строительная теплотехника» с учетом средней температуры и продолжительности отопительного периода в районе строительства.

Толщина слоя утеплителя выбирается в зависимости от теплоизоляционных характеристик утепляющего материала и условий строительства (см. таблицу). В недалеком прошлом в качестве материалов для утепления домовых конструкций применяли различные материалы в виде поролон, пенопластового утеплителя, минераловатного утеплителя и других подобных материалов. Но при использовании таких материалов невозможно избежать неблагоприятных последствий в виде адсорбции утеплителем влаги и повышения пожароопасности.

Значения толщин утеплителя для г. Пензы

Несущая конструкция – многопустотная плита толщиной 220 мм, поверх которой уложена пароизоляция с выполнением стяжки из цементно-песчаного раствора ( $\gamma=1800 \text{ кг/м}^3$ )	
Утеплитель с коэффициентом теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С)	Толщина слоя утеплителя, мм
0,03	120
0,035	140
0,04	160
0,044	175
0,045	180
0,046	180
0,047	190
0,05	200

Современные строительные утеплители для утепления и звукоизоляции обладают всеми необходимыми свойствами, которые должны быть присущи этим материалам. Они отлично помогают избежать теплопотерь и обладают хорошими огнеупорными свойствами. Утепление пенопластом, ввиду того что он при горении выделяет ядовитые вещества, запрещено существующими правилами и нормами.

Для утепления чердачного перекрытия *применяют рулонный, плитный либо сыпучий утеплитель*. К рулонным изоляционным материалам относятся войлок строительный, рулонная минеральная вата. К плитным – пеносиликатные и минеральные плиты. Лучшим образом себя зарекомендовали *волокнистые минеральные материалы*. Отличную изоляционную способность таким материалам придает неподвижный воздух между волокнами. Этим же объясняется их высокое звукопоглощение. Представителем этих материалов служит базальтовый утеплитель. Изготавливается он по специальной технологии из базальтового волокна. Такие утеплители выдерживают долгие годы и даже десятилетия эксплуатации, не поддаются деформации и полностью сохраняют свои теплоизоляционные свойства. К *засыпным утеплителям* относятся керамзит, угольный шлак и гидрофобная зола.

При увлажнении утеплителя его теплоизолирующая эффективность снижается. Источником увлажнения утеплителя являются дефекты пароизоляции. Влажность утеплителя, согласно требованиям СНиП, не должна превышать 3 %. На проникание влаги через пароизоляцию влияет также и упругость водяного пара в подчердачных помещениях. Природа переувлажнения воздуха в них различна. Например, человек в спокойном состоянии выделяет за 1 час 45 г влаги, при физических нагрузках – в 4...5 раз больше. При приготовлении пищи на 1 человека выделяется 620 г влаги в сутки. При стирке за 1 час испаряется около 3 кг воды. С 1 м<sup>2</sup> вымытого пола испаряется до 0,2 кг воды. Много воды попадает в помещение при горении бытового газа. Так, при одновременной работе четырех горелок за 1 ч выделяется 3,5 кг водяных паров в результате разделения метана на диоксид углерода и воду при взаимодействии с кислородом воздуха. Поэтому в зимний период важно обеспечение эффективной вентиляции чердачных помещений, что уменьшает проникание влаги на чердак и исключает увлажнение утеплителя.

Вентиляция чердачного пространства должна решать две задачи. Во-первых, как уже отмечалось, она обеспечивает сухое состояние утеплителя в чердачном перекрытии. Во-вторых, при постоянной циркуляции воздуха из чердака удаляется избыточное тепло, в результате температура на чердаке ненамного выше температуры наружного воздуха.

Избыточное тепло на чердаке может создавать целый ряд других источников. Это незаизолированные стояки и разводка отопления (рис. 1, 2), расширительные баки, выпущенные на чердак вентканалы (рис. 3), канализационные стояки (рис. 4), а также недостаточно или совсем незаизолированные лазы и двери на чердак из лестничных клеток. Притворы этих выходов на чердак не имеют теплоизолирующих прокладок или герметиков. К тому же очень часто люки и двери на чердак круглогодично находятся в открытом состоянии, что является еще и нарушением противопожарных требований и требований общей безопасности.

Как было сказано ранее, важна и эффективная вентиляция чердачных помещений. Эта проблема сейчас, как и раньше, решается в основном посредством устройства слуховых окон. Слуховые окна в своей конструкции должны иметь жалюзийную вентиляционную решетку; к сожалению, часто они наглухо заколачиваются досками или закрываются листовым металлом (рис.5). Возможно, это происходит по причине того, что рабочие и мастера организаций, занимающихся ремонтом и отвечающих за эксплуатацию жилого фонда, в силу своей профессиональной некомпетентности не понимают истинного назначения слуховых окон, и воспринимают их лишь как устройства для выхода на крышу. Тем не менее они являются эффективным средством для вентиляции чердака.



Рис. 1. Состояние изоляции труб системы отопления (разводка)



Рис. 2. Состояние изоляции труб системы отопления (магистраль)



Рис. 3. Отверстия, пробитые в стенках вентканалов



Рис. 4. Вентиляционное отверстие канализационного стояка, выходящее на чердак



Рис. 5. Заделанное наглухо слуховое окно



Суммарная площадь слуховых окон должна составлять не менее 1/400 площади чердака в соответствии со СНиП 31-01-2003 «Здания жилые многоквартирные», а в практике желательно принимать не менее 1/300, т.е. на каждые 1000 м<sup>2</sup> площади чердака требуются слуховые окна с суммарной площадью 3,5 м<sup>2</sup>. Слуховые окна в своей конструкции должны иметь жалюзийную вентиляционную решетку. При проектировании число слуховых окон определяют следующим образом: берут теоретическое окно, определяют площадь проема, умножают на коэффициент 0,6, учитывающий жалюзийную решетку. Затем площадь чердака делят на полученное число и на 400. Так получают минимально необходимое число слуховых окон.

Вентиляцию чердака производят также через непрерывные вентиляционные прорезы в подшивках карнизов и через коньковые вентиляционные проемы. Продухи между кровлей и карнизом выполняют в виде щелей шириной 1 см или окон 20×20 см с решетками. Приконьковые продухи шириной 5 см делают в виде сплошной щели с фартуком против задувания на чердак снега или отдельных отверстий через 5...6 м с патрубками, флюгарками и поддонами. Расположение всех этих устройств должно обеспечивать сквозное проветривание чердака и исключать местный застой воздуха или так называемые воздушные мешки.

Однако, стремясь максимально охладить чердак, не следует забывать об размещенных на чердаке инженерных коммуникациях. В зависимости от заложенных в проект решений, на чердаке могут располагаться инженерные системы различного назначения. При устройстве системы отопления с верхней разводкой на чердаке будет располагаться подающая магистраль, подходящая к стоякам. Крайне важно выполнить качественную изоляцию труб системы отопления. Это исключает или снижает теплопотери из системы и не допускает нагревания воздуха в чердачном помещении.

Традиционно изоляцию труб выполняли стекловатой. Но она очень ненадежна и небезопасна в использовании. Современная промышленность предлагает большой выбор высококачественных и эффективных материалов, например из вспененного каучука (K-FLEX).

Также желательным является выведение вентиляционной части канализационного стояка и дымовых (вентиляционных) труб на крышу (над кровлей), так как это значительно снизит приток тепла и влаги на чердак и не вызовет нарушений микроклимата. Трубы вытяжной вентиляции должны быть оштукатурены, а места контакта с кровлей хорошо заделаны во избежание попадания осадков в чердачное помещение.

В настоящее время качество выполнения изоляции стояков отопления и труб розлива, вентиляционных и канализационных стояков, расширительных баков и других элементов, излучающих тепло, находится на низком уровне. В абсолютном большинстве случаев не используются новые технологии и материалы. Ранее же выполненная изоляция изношена и малоэффективна.

В случаях, когда предполагается какая-либо эксплуатация чердачного помещения или когда невозможно свести к допустимому уровню теплопоступления в чердачное пространство, целесообразно производить утепление не только чердачного перекрытия, но и самой кровли. Это исключит перегрев кровли и подтаивание лежащего на ней снега.

Существуют две основные схемы эффективного утепления скатных крыш – традиционная и современная. При этом оба способа предполагают наличие герметичного пароизоляционного слоя на внутренней стороне теплоизоляции.

Следуя традиционному способу, теплоизоляцию укладывают в конструкцию, оставляя два вентиляционных зазора. В результате образуются две зоны вентиляции, препятствующие образованию конденсата в несущих элементах крыши, стропилах и утеплителе. Через нижний вентиляционный зазор, расположенный между гидроизоляционным покрытием и утеплителем, осуществляется отвод конденсата воздуха, поступающего изнутри помещения. А через верхний вентиляционный зазор, образующийся между кровлей и гидроизоляцией, удаляется влага, попадающая внутрь с улицы. Применяют также кровли с одним вентзазором.

При использовании современного способа утепления в качестве гидроизоляции применяют паропроницаемые (диффузионные) мембраны, которые укладывают непосредственно на утеплитель. Вентиляция внутри кровельной конструкции, утепленной по этой схеме, осуществляется сквозь диффузионные пленки.

С точки зрения запаса прочности конструкции более надежным является традиционный способ утепления кровель. Он позволяет нивелировать нежелательные последствия в случае неправильного монтажа или эксплуатации конструкций.

Наибольшее влияние на эксплуатацию здания оказывают некорректные конструктивные решения. Каждый этап в конструировании кровли, начиная с выбора конструктивной схемы и заканчивая деталями применения того или иного кровельного материала, имеет практически решающее значение. Именно на этапе проектирования закладывается фундамент экономической целесообразности строительства конкретной крыши, поскольку от того или иного конструктивного решения зависит технологичность сборки этой конструкции. И если на этом этапе принимаются нетехнологичные решения, то исполнители на этапе строительства вынуждены изменять узлы и конструкции в сторону упрощения.

Чрезвычайно большое значение имеет конструктивная проработанность узлов, связанных с *пароизоляцией кровли*. Стремление упростить технологию укладки пароизоляции при монтаже «кровельного пирога» снизу вверх приводит к появлению очагов конденсации пара в конструкции кровли. Очень важно, чтобы пароизоляционный слой был герметичным. К сожалению, на практике наиболее трудные и коварные места, а именно примыкание к стенам, коробкам мансардных окон, вентстоякам, остаются без внимания конструкторов. Но, как правило, строительные бригады не обладают достаточным опытом и квалификацией для производства подобных работ без чертежей и контроля. Очень часто при устройстве чердачных крыш строители не считают нужным выполнять вообще какую-либо пароизоляции, несмотря на то что эти работы, как правило, заложены в проект. Да и сделанная пароизоляция чаще всего оставляет желать лучшего.

Не всегда можно понять мотивы действий строителей в ситуациях, когда при выполнении утепления они идут на нарушение проектных решений. Проведенные обследования показали, что очень часто чердачные перекрытия из многпустотных плит имеют слой утеплителя из керамзита лишь 10...15 см, а в некоторых местах его толщина составляет всего 6...8 см. Минимальная же толщина слоя керамзита, например для климатических условий города Пензы, составляет 28 см. Кроме того, для утепления применяют подчас конструкционный керамзит с насыпным весом 1100...1200 кг/м<sup>3</sup>, тогда как для теплоизоляции требуется керамзит весом 600...800 кг/м<sup>3</sup>. Также при засыпке керамзитового гравия не используют маячные рейки нужной высоты, которые гарантируют проектную толщину слоя утеплителя. Соответственно, в вопросе соблюдения толщины утеплителя приходится рассчитывать исключительно на определенную порядочность и точность глазомера рабочих. Все это ведет к появлению брака, а следовательно, и к выбросу тепла под кровлю.

Контролируя эффективность теплоизоляции чердачного перекрытия, следует обратить внимание не только на показатель плотности утеплителя и толщину его слоя, но и на его влажность, самоуплотнение, наличие щелей в плитном утеплителе. Толщина слоя утеплителя у наружных стен должна быть увеличена на 50 % на ширину 50 см. Как показывают проводимые обследования, подобного увеличения эксплуатирующие организации не производят.

Эффективно работающий утеплитель на чердаке в своем верхнем слое имеет температуру, адекватную температуре наружного воздуха. Так, при температуре  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  утеплитель должен иметь  $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  – минус  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  – минус  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  – плюс  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При тонком слое утеплителя температура на его поверхности оказывается значительно выше обозначенной, что и является источником подогрева кровельного покрытия со стороны чердака.

Практика эксплуатации чердачных крыш в зимний период показывает, что ледники на кровле не формируются, если *разница температур наружного воздуха и*

воздуха в чердачном пространстве не превышает 2...3 °С. Снег на кровле в этих случаях не только не тает, но даже не примерзает к ней и легко счищается деревянной лопатой или другим скребковым инструментом. Та же картина наблюдается и на крышах неотапливаемых зданий.

При рассмотрении вопроса о льдообразовании на скатных крышах зданий имеются в виду чердачные крыши, выполненные с традиционным для средней полосы России уклоном кровли в 20...25°. Но ведь можно строить дома с применением других типов крыш, которые позволяют практически полностью избежать проблем с сосульками. К таким крышам относятся, например, крыши с внутренними водостоками. Правда их можно использовать только в новом строительстве, и они лишены привычной кровельной конструкции. Здесь свое веское слово должны сказать архитекторы. Возможно строительство зданий без карнизов, но с парапетными стенами по периметру крыши. На этих крышах снег может превращаться в лед, никому не угрожая. Водостоки также не замерзают, поскольку расположены внутри здания.

Заслуживают внимания конструкции крыш, применяемые в северных регионах. Они имеют крутизну скатов до 60°, и снег на них просто не задерживается. Но это также можно осуществить только в новом строительстве.

Не следует пренебрегать идеей утепления кровельного покрытия до такой степени, чтобы наружная поверхность кровли имела температуру на уровне температуры окружающего пространства.

Предполагаем, что решение проблемы предотвращения образования наледи на крыше конструктивными средствами перспективнее разработки и реализации полу-фантастических и дорогостоящих проектов.

#### Список литературы

1. Порывай, Г.А. Техническая эксплуатация зданий [Текст] / Г.В. Порывай. – М.: Стройиздат, 1974. – 254 с.
2. Гусев, Н.И. Эксплуатация чердачных крыш многоэтажных зданий в зимний период [Текст] / Н.И. Гусев, Е.А. Кубасов // Новые достижения по приоритетным направлениям науки и техники: сб.ст. Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и исследователей. – Пенза: ЦНТИ, 2010. – С.214–217.
3. Гусев, Н.И. Особенности содержания крыш в зимних условиях [Текст] / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова // Информационный листок № 12-09. – Пенза, 2009. – 8 с.

УДК 69(083)

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Карпова Ольга Викторовна,**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Стандартизация, сертификация и аудит качества»

**Пресняков Александр Васильевич,**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология строительного производства»

**Петрянина Любовь Николаевна,**

доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство»

*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Karpova Olga Victorovna,**

Candidate of Sciences. Associate Professor of the department «Standardization, Certification and Quality Auditing»

**Presnyakov Alexander Vasilievich,**

Candidate of Sciences. Associate Professor of the department «Technology of construction production»

Petryanina Lubov Nikolaevna,

Candidate of Sciences. Associate Professor of the department «Urban construction and economy»

## К ВОПРОСУ О ТЕХНИЧЕСКОМ РЕГУЛИРОВАНИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

О.В. Карпова, А.В. Пресняков, Л.Н. Петрянина

Приведены сведения об истории развития стандартизации и технического нормирования в нашей стране. Рассмотрены проблемы перехода к техническому регулированию в строительстве.

*Ключевые слова:* стандартизация, техническое нормирование, нормативные документы, техническое регулирование.

## ON TECHNICAL REGULATION IN CONSTRUCTION

O.V. Karpova, A.V. Presnyakov, L.N. Petryanina

The article provides information on the history of standardization and technical-skill valuations development in the country. The problems of transition to technical management in construction are discussed.

*Keywords:* standardization, technical regulation, standard-setting instruments, technical regulation.

Сегодня строительство является динамично развивающейся отраслью в нашей стране и за рубежом. Строительная индустрия превратилась в одну из крупнейших мировых отраслей промышленности. Строительная деятельность значительно влияет на все направления развития: экономическое, социальное, экологическое. Она направлена на защиту жизни и здоровья граждан и на охрану окружающей среды.

Современные здания и сооружения представляют собой сложные системы, включающие в свой состав не только ограждающие и несущие конструкции, но и множество связанных с ними систем инженерно-технического обеспечения, содержащих в своем составе автоматические средства контроля и управления, в том числе для обеспечения безопасности [1].

В нашей стране существовала практика обязательного применения требований ГОСТ и СНиП на всех этапах жизненного цикла строительных объектов.

Еще в 20-е годы прошлого века были заложены организационные, методические, правовые и терминологические основы стандартизации. Наши стандарты, в отличие от

зарубежных, были определены как технический закон. Было принято постановление об уголовной ответственности за выпуск недоброкачественной продукции и за несоблюдение стандартов, что диктовалось особенностями того времени. Обязательность соблюдения стандартов налагала и особую ответственность за выбор объектов стандартизации, за тщательность их проработки с тем, чтобы стандарты могли стать одним из важнейших средств технической перестройки производства и усиления темпов социалистического строительства. К разработке стандартов привлекались ученые и ведущие специалисты.

Объектами стандартизации в области строительства были определены строительные материалы и изделия, а с начала 30-х годов начали разрабатывать нормативные документы и на основные этапы проектирования в строительстве.

Таким образом, проблемы качества продукции и его регулирования в интересах народного хозяйства разрешались наличием обязательных стандартов и строительных норм и правил, фиксирующих все важнейшие потребительские свойства продукции.

В 1978 г. был образован Государственный комитет СССР по делам строительства (Госстрой СССР), главными задачами которого было совершенствование технического нормирования и стандартизации в строительстве, организация разработки и утверждение нормативных документов и государственных стандартов в области проектирования и строительства, а также контроль за их соблюдением. Комитету предоставлялось право приостанавливать строительство, а также производство строительных конструкций, изделий и материалов, осуществляемых с нарушением нормативных документов. Правовой базой являлось законодательство Российской Федерации, определяющее взаимоотношения участников инвестиционной деятельности, их права, обязанности и ответственность за качество продукции и услуг. Строительные нормы, правила и стандарты стали одним из средств межотраслевого регулирования и управления при проектировании и строительстве в целях реализации требований законодательства.

Научно-исследовательские и проектные организации системы Госстроя СССР, Госстроя союзных республик, Министерства промышленности строительных материалов СССР привлекались к разработке стандартов.

В связи со становлением государственной самостоятельности России в 1992 году начала формироваться Государственная система стандартизации Российской Федерации (ГСС), основой которой стал свод законов, подзаконных актов, нормативных документов по стандартизации. Нормативные документы обеспечивали надежность конструкций, зданий и сооружений; высокий уровень объемно-планировочных, конструктивных и градостроительных проектных решений, взрыво- и пожаробезопасность, сейсмостойкость, оптимальные условия труда и быта, материалоемкость, энергоемкость, качество строительства, снижение трудоемкости и стоимости строительства, сокращение эксплуатационных расходов, охрану окружающей среды, экономию и рациональное использование земель и других природных ресурсов.

Техническое нормирование в то время стало основным средством проведения единой технической политики в строительстве, отражающее достигнутый уровень развития науки и техники и содержащее направления дальнейшего повышения технического уровня строительства.

В 1994 году система технического нормирования в строительстве была пересмотрена с целью исключения избыточных требований и количества обязательных для исполнения нормативных технических документов, гармонизации их с международными и европейскими аналогами [2].

С принятием Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» началось реформирование Государственной системы стандартизации, т.е. преобразование ее в национальную систему стандартизации с изменением правового статуса системы с государственного на добровольный. Госстандарт был преобразован в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование). Был определен переходный период до 2010 года, в течение которого рекомендовано применять действующие государственные и межгосударственные стандарты в добровольном порядке до вступления в силу соответствующих технических

регламентов, применение которых должно носить обязательный характер. Переводятся в разряд добровольных документов СанПиНы Минздрава России, СНиПы Госстроя России, вновь разрабатываемые своды правил и т.д. В ФЗ «О техническом регулировании» не предусмотрены стандарты отрасли (ОСТ) в связи с ликвидацией большинства отраслевых министерств и отсутствием подобной категории в зарубежной практике. Стандарты отрасли с течением времени должны будут трансформироваться в другие категории нормативных документов, например, в национальные. Федеральным законом «О техническом регулировании» предусмотрена такая категория нормативных документов, как стандарты организации (СТО), которые могут разрабатываться предприятиями и организациями для обеспечения соблюдения требований технических регламентов и применения в данной организации национальных российских стандартов, международных, региональных стандартов и др. нормативных документов.

Значение технического регулирования в строительной отрасли – вопрос крайне важный и сложный.

Считается, что ФЗ «О техническом регулировании» направлен на освобождение предпринимателей от избыточных требований и избыточного контроля. Новая система нормативных документов в строительстве, по замыслу разработчиков данного закона, должна быть направлена на решение проблем в инвестиционном строительном комплексе, связанных с обеспечением: соответствия строительной продукции своему назначению и благоприятным условиям жизнедеятельности населения; безопасности строительной продукции для жизни и здоровья людей в процессе ее производства и эксплуатации; защиты строительной продукции и людей от неблагоприятных воздействий с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций; надежности и качества строительных конструкций и оснований, систем инженерного оборудования, зданий и сооружений; выполнения экологических требований; рационального использования природных, материальных, топливно-энергетических и трудовых ресурсов; устранения технических барьеров в международном сотрудничестве.

Однако средства достижения этой цели, предусмотренные законом, оказались неэффективными, и он не способствовал созданию и началу формирования новой системы технического регулирования, и парализовал ранее действующую систему технического нормирования, в том числе в строительстве. Нельзя не вспомнить, что еще на стадии проекта закон «О техническом регулировании» подвергался серьезной критике профессионалов-строителей. Однако квалифицированно на эту критику составители закона не отреагировали. Зато технологическая и техническая дисциплина в проектировании и строительстве значительно снизилась, так как законом были исключены из системы нормативных документов СНиПы. Система СНиП являлась уникальной по полноте охвата требований, связанных с обеспечением надежности строительных объектов. Однако закон оставил в структуре документов по стандартизации только национальные стандарты и стандарты организаций. А в 2007 году на стадии внесения поправок в закон к этим трем видам документов были добавлены своды правил, что, однако, не означало восстановление легитимности СНиП (СП в строительстве всегда были документом второго уровня по отношению к СНиП, так как указывали способы практической реализации их требований). Не улучшил ситуацию и новый Градостроительный кодекс РФ. Если в прежней редакции строительные нормы и правила (СНиП) были узаконены: указано, что строительство ведется по СНиП, то в новой редакции даны ссылки на технические регламенты, которых не было.

Фактически оказались «заморожены» на 7 лет все нормативные и нормативно-правовые документы, устанавливающие требования безопасности (национальные стандарты, СНиП, нормы пожарной безопасности и др. и все правила обязательной сертификации продукции (более 170 тыс. документов)) [2].

Еще до принятия ФЗ-184 были пересмотрены 16 СНиП, которые не регистрировал Минюст, то есть был дан повод усомниться в обязательности СНиП в целом. Как следствие – снижение качества строительства, участвовавшие отступления от СНиП, приводящие в ряде случаев к авариям. Кроме того, это лишило возможности потреби-

телей, в том числе население, возможности отстаивать свои права на обеспечение современного уровня требований по безопасности и качеству продукции.

В соответствии со ст. 46 Федерального закона «О техническом регулировании» было установлено, что СНИПы действуют до принятия соответствующих технических регламентов, так как основополагающими документами, обеспечивающими безопасность строительных объектов, станут технические регламенты.

К сожалению, после вступления в силу вышеназванного закона «добровольность» часто понималась не как свобода выбора нормативных документов для применения, а как необязательность исполнения их требований, хотя все положения добровольно выбранных нормативных документов должны обязательно выполняться, а свобода выбора должна была бы быть разъяснена в «Основных понятиях» Федерального закона. Но этого не сделано и в новой его редакции.

Кроме того, законом «О техническом регулировании» было предписано действие технических регламентов, хотя это может осуществляться только через выполнение требований нормативных документов, являющихся базой технического регламента. Все требования технического регламента должны быть подкреплены наличием стандарта или СНИПа. В этом случае возникает вопрос – для кого и зачем написан технический регламент?

В этой ситуации можно говорить о «виртуальности» технических регламентов. В то же время выполнения требований несуществующих технических регламентов требуют принятый Градостроительный кодекс, Положение об осуществлении государственного надзора и другие документы, что делает их нелегитимными.

Кроме того, принятие поправок в Федеральный закон «О техническом регулировании» определило ситуацию разновременной подготовки регламента, перечней стандартов и сводов правил к ним, и лишь поправки к ФЗ в 2009 году исправили это положение.

На ослаблении авторитета нормативных документов сказалось и то, что, согласно закону, технические регламенты и национальные стандарты могут разрабатывать любые лица, а профессионалам он доверяет разрабатывать только стандарты организаций.

Сегодня территориальные строительные нормы также стали нелегитимными документами. Однако следует учитывать, что основная тяжесть исполнения обязательных нормативных требований ляжет на регионы. Поэтому считаем, что в ряде случаев территориальные нормы необходимы.

В настоящее время сделаны попытки привести нормативную базу в строительстве в соответствие с действующим законодательством, пусть и не совсем совершенным. Принят ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», однако комплект норм должен был быть разработан еще до его введения. ФЗ «Технический регламент о безопасности строительных материалов и изделий» до сих пор не введен в действие. Уже несколько лет специалисты считают необходимым введение закона «О стандартизации», который был отменен в 2003 году. В настоящее время проект данного законодательного акта находится в стадии обсуждения.

Не вызывает сомнений, что нормативная база современного проектирования и строительства – это сотни документов: СНИПов, сводов правил, СанПиНов, ГОСТов, а также документов, касающихся обеспечения различных видов безопасности. Ведь всё строительное нормирование – это один большой технический регламент. Крайне сложно, а подчас и невозможно отделить в этих документах положения, имеющие отношение к безопасности, от положений, отношения к безопасности не имеющих, перенести их в технический регламент, не оставив в составе стандартов и сводов правил. Ведь качество и безопасность в строительстве и проектировании строительных объектов – синонимы.

Анализируя сложившуюся ситуацию, можно сделать вывод, что реформирование технического регулирования в строительстве было задумано следующим образом: сначала «ликвидировать» существующую систему, а затем написать технические регламенты и под них разрабатывать новую нормативную базу. Такая ситуация наносит серьезный экономический урон деятельности хозяйствующих субъектов, и, в первую

очередь, подрядным строительным фирмам. Практика рассмотрения экономических споров в судах общей юрисдикции и арбитражных судах показывает, что проблемы с обеспечением требуемого качества создаваемой строительной продукции являются во многих случаях причиной значительных финансовых потерь, вплоть до банкротства, как в бюджетной сфере, так и в сфере непосредственной строительной деятельности. Учитывая курс, принятый Правительством РФ, направленный на инновационное развитие экономики, такое положение дел в строительстве не может никого удовлетворять.

Практика проектирования и строительства доказала, что существует слишком много проблем, связанных с попытками адекватно применить закон «О техническом регулировании» в строительной отрасли.

Для разрешения сложившейся ситуации рациональным является либо выведение строительной отрасли из сферы действия закона «О техническом регулировании» (восемь лет бездействия закона в строительной отрасли – весомый аргумент в пользу такого решения), либо активизировать разработку технических регламентов в этой области, с соответствующим внесением поправок в законодательную базу.

#### Список литературы

1. Щербина, В. О международной и национальной стандартизации в строительстве [Текст] / В. Щербина, М. Любимов // Стандарты и качество. – 2009. – № 8. – С. 10–14.
2. Барина, Л.С. Техническое регулирование в строительстве [Текст] / Л.С. Барина // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 10. – С. 17–22.



Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Арискин Максим Васильевич**,  
старший преподаватель кафедры  
«Строительные конструкции»  
Тел.: 89273742544  
E-mail: m.v.ariskin@rambler.ru

**Вдовин Вячеслав Михайлович**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»  
Тел.: 89273711747

*Penza State University of Architecture  
and Construction*  
Russia, 440028, , 28, Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Ariskin Maksim Vasilievich**,  
The senior Lecturer of the department  
«Building designs»  
Tel.: 89273742544  
E-mail: m.v.ariskin@rambler.ru

**Vdovin Vyacheslav Mihailovich**,  
Candidate of Science, Professor  
of the department «Building designs»  
Tel.: 89273711747

## УСТАНОВЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ НАГРУЗОК НА КОЛЬЦЕВЫЕ КЛЕЕНЫЕ ШПОНКИ

М.В. Арискин, В.М. Вдовин

Приведены экспериментальные результаты исследования соединений деревянных конструкций. Путем статистической нагрузки назначаются предельные нагрузки на клеюкольцевые шпонки при различных диаметрах и толщине.

*Ключевые слова: металлическая шпонка, диаметр шпонки, ширина шпонки, нагрузка.*

## LIMIT LOADINGS FOR GLUED SHEARING RINGS

M.V. Ariskin, V.M. Vdovin

The research and experimental results of wooden structures connections are given. Limit loadings on glued shearing rings with different diametre and thickness are determined by statistical treatment.

*Keywords: metal shearing rings, shearing rings diametre, shearing rings width.*

В работе [1] предложено новое соединение элементов деревянных конструкций, основанное на применении гладкой кольцевой металлической шпонки и полимерной клеевой композиции. Предварительное введение в гнездо для шпонки клеев (типа ФР-12 или эпоксидного) позволяет существенно увеличить несущую способность и уменьшить деформативность соединения.

Новое клеешпоночное соединение – кольцевая клееная шпонка (ККШ) – исключает негативные стороны соединений на гладких кольцевых шпонках, не требует особых технологических линий по изготовлению и обладает повышенными эксплуатационными характеристиками. Результаты эксперимента испытаний образцов, доведенных до разрушения, приведены в работе [1]. Как показали эксперименты, разрушающая нагрузка на шпонку ( $N_{\text{разр}}$ ) существенно зависит от диаметра кольца шпонки ( $D_{\text{ш}}$ ) и от её ширины ( $b_{\text{ш}}$ ).

Испытания проводились на шпонках диаметром: 50;60;75;100;120 мм, при этом ширина кольца шпонки принималась 20 и 25 мм. Общий вид образцов и схема испытания показаны на рис. 1.

Количество  $n_i$  образцов в каждой партии принималось равным пяти. Ниже приводится оценка надежности соединения, исходя из требований норм по расчету несущих строительных конструкций.

Результаты испытаний [1] рассматривались как малые выборки из генеральных совокупностей значений разрушающих нагрузок для соединений на клеенных стальных шпонках при передаче усилий вдоль волокон древесины соединяемых элементов. Для каждой выборки определялись средние значения разрушающих нагрузок  $N_{pi}$  на одну шпонку, эмпирические дисперсии  $S^2_i$  и относительные дисперсии  $S^2_{i,от} = S^2_i/N_{pi}$ . Указанные характеристики приведены в табл. 1.

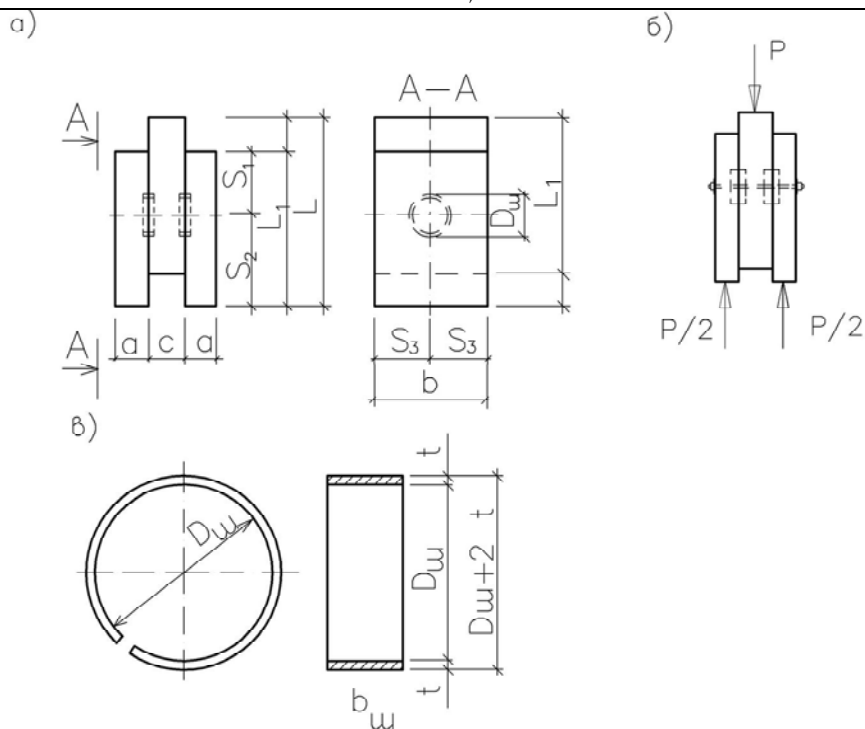


Рис. 1. Общий вид образцов:  
 а – общий вид образцов; б – схема нагружения; в – общий вид шпонки

Т а б л и ц а 1

Статистические характеристики результатов испытания соединений

Номер серии образцов	Серия образцов (марка)	Кол-во образцов в серии $n_i$	Среднее значение $N_{pi}$ (кН)	Эмпирическая дисперсия $S^2_i$	Относительная дисперсия $S^2_{i,от}$
1	2ККШ-50	5	29,4	0,425	0,00001446
2	2,5ККШ-50	5	34,0	1,375	0,00004044
3	2ККШ-60	5	36,3	3,575	0,00010014
4	2,5ККШ-60	5	39,6	3,175	0,00008018
5	2ККШ-75	5	41,5	6,625	0,00015964
6	2,5ККШ-75	5	49,5	8,575	0,0001732
7	2,5ККШ-100	5	53,4	2,268	0,00004249
8	2,5ККШ-120	5	62,3	7,325	0,00011758

Примечание. В марке образцов первая цифра означает ширину шпонки, см, а последняя – диаметр шпонки, мм.

Проверка гипотезы о равенстве (однородности) эмпирических дисперсий при одинаковых объемах выборок  $n=5$  выполняется по критерию Хартеля, основанному на выполнении неравенства

$$\frac{S^2_{i,от\max}}{S^2_{i,от\min}} \leq F_\alpha, \quad (1)$$

где  $F_\alpha=37,5$  – критическое значение критерия Хартеля для уровня статистической значимости  $\alpha=0,05$ , числа серий  $m=8$  и числа степеней свободы  $K=4-1=3$ .

Поскольку выполняется неравенство (1)

$$\frac{0,0001672}{0,0000144} = 11,56 < F_\alpha = 37,5, \quad (2)$$

то нулевая гипотеза о равенстве генеральных дисперсий не отвергается. В этом случае оценкой генеральной дисперсии служит эмпирическая дисперсия  $S_{от}^2$ , определяемая по формуле

$$S_{от}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (n_i - 1) \cdot S_{i,от}^2}{(\sum_{i=1}^m n_i) - m}, \quad (3)$$

которая составила  $S_{от}^2 = 0,0000225646$ .

Поскольку  $S_{от}^2$  является точечной оценкой дисперсии генеральной совокупности  $\sigma_{от}^2$ , то для получения представления о точности и надежности оценки  $S_{от}^2$  для параметра  $\sigma_{от}^2$  необходимо выполнить интервальное оценивание. При построении доверительных интервалов для генеральной дисперсии используется  $\chi^2$ -распределение. Границы доверительного интервала для генеральной дисперсии с доверительной вероятностью  $P=1-\alpha$  определяются из выражения

$$S_{от}^2 \cdot \frac{n_i - 1}{\chi_{P_2}^2} < \sigma_{от}^2 < S_{от}^2 \cdot \frac{n_i - 1}{\chi_{P_1}^2}, \quad (4)$$

в котором коэффициенты  $\chi_{P_2}^2$  и  $\chi_{P_1}^2$  вычисляются с вероятностью  $P_1=\alpha/2$  и  $P_2=1-\alpha/2$  по формуле

$$\chi_{P_{1,2}}^2 = K \left[ 1 - \frac{2}{9K} + Z_p \cdot \sqrt{\frac{2}{9K}} \right], \quad (5)$$

где  $Z_p$  – квантиль нормированного нормального распределения (для  $P=0,05$   $Z_p=-1,645$ , а для  $P=0,95$   $Z_p=1,645$ ).

Для принятого уровня статистической значимости  $\alpha=0,1$ ,  $P_2=0,95$ ,  $P_1=0,05$  и  $K=39$  значения коэффициентов составили  $\chi_{P_1}^2=27,46$  и  $\chi_{P_2}^2=50,08$ , с учетом всех составляющих выражения (4) определились границы интервала

$$0,0000175 < \sigma_{от}^2 < 0,000032 \quad (6)$$

и для  $\sigma_{от}$ , представляющего собой генеральный коэффициент вариации:

$$0,00566 < \sigma_{от} < 0,00419. \quad (7)$$

Выборочный коэффициент вариации  $V$  определяется как среднее значение из нижней и верхней границ доверительного интервала (7)

$$V = \frac{0,00566 + 0,00419}{2} = 0,0049. \quad (8)$$

Принимаем с округлением  $V=0,005$ . Коэффициент  $k_2$ , учитывающий разброс опытных значений несущей способности, определяется по формуле [2]

$$k_2 = \frac{1}{t_p V}, \quad (9)$$

где  $t_p$  зависит от нормированной обеспеченности и вида функции распределения (для  $P=0,95$  при нормальном распределении  $t_p=2$ ).

Приняв для соединений на ККШ доверительную вероятность, равную 0,95, и считая справедливым применение закона нормального распределения прочности для данного соединения, получим  $k_2=1,01$ . Коэффициент  $k_2$  достаточно мал и отличается от общепринятых значений для деревянных конструкций  $k_2 = 1,42$ , а также от величины прогнозирования надежности новых видов соединений деревянных конструкций  $k_2 = 1,57$ , что может говорить о чистоте и высокой надежности проведенного эксперимента.

На основании общего выражения коэффициента надежности деревянных конструкций для соединений с пластическим характером разрушения

$$k_1 = k_1 \cdot k_2 \cdot \beta, \tag{10}$$

где  $k_1$  – коэффициент длительной прочности (больше 1), с достаточной степенью точности можно принять его согласно рекомендациям [3]. Исходя из планируемого срока службы конструкции, для срока службы 50 лет  $k_1 = (1,97 - 0,119 \cdot \lg t)$ ; для 25 лет  $k_1 = 1,91 - 0,112 \cdot \lg t$ , а для срока службы 25–50 лет (среднего)  $k_1 = 1,94 - 0,116 \cdot \lg t$  ( $t$  – время, приведенное к неизменному действию усилия  $N_t$ );  $\beta$  – коэффициент, учитывающий соотношение нагрузок  $P_d/P$ , где  $P_d$  – длительно действующая, а  $P$  – полная нагрузка, для несущих конструкций  $\beta$  можно принять равным 0,8.

В силу предыдущего имеем:

$$\begin{aligned} k_{(50)} &= 1,1 \cdot 0,8 \cdot 1,01 \cdot (1,97 - 0,119 \cdot \lg t) = 1,57; \\ k_{(25)} &= 1,1 \cdot 0,8 \cdot 1,01 \cdot (1,91 - 0,112 \cdot \lg t) = 1,62; \\ k &= 1,1 \cdot 0,8 \cdot 1,01 \cdot (1,94 - 0,116 \cdot \lg t) = 1,59. \end{aligned} \tag{11}$$

Для обеспечения достаточной надежности конструктивных расчетов коэффициент надежности  $k$  принимается (с некоторым запасом) равным 2. Используя данные экспериментов и зависимость их от параметров шпонки  $D_{ш}$  и  $b_{ш}$  с учетом коэффициента надежности  $k = 2$ , подсчитаем значения расчетной несущей способности ККШ. Предельные нагрузки  $[M] = N_{раз}/K$ .

Значения предельной нагрузки  $[M]$  одной вклеенной шпонки с параметрами  $D_{ш}$  и  $b_{ш}$  на основе данных эксперимента и надежности с доверительной вероятностью, обеспечивающей безопасную работу несущих строительных конструкций с соединениями на вклеенных шпонках, представлены в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Расчетная несущая способность соединения ККШ (кН)

Диаметр шпонки $D_{ш}$ , мм	Величина $[M]$ , кН при ширине шпонки $b_{ш}$ , мм	
	2	2,5
50	14,7	17
60	17,85	19,8
75	20,75	25,65
100	–	26,7
120	–	31,15

Таким образом, произведенная оценка несущей способности соединения на вклеенных шпонках по рекомендациям [3] при пластическом характере разрушения согласно приведенным формулам, позволяет получить достоверные, надежные значения предельных нагрузок для различных параметров шпонки при передаче нагрузки вдоль волокон.

### Список литературы

1. Вдовин, В.М. Клеешпоночное соединение [Текст] / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов, М.С. Галахов // Долговечность строительных материалов и конструкций: сб. – Саранск: Изд-во Мордов. гос. ун-та, 2000.
2. Степанов, М.Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний [Текст]: справочник / М.Н. Степанов. – М.: Машиностроение, 1985.
3. Рекомендации по испытанию соединений деревянных конструкций [Текст] // ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1981.

# ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

## ENGINEERING SYSTEMS

УДК 691.611.22:666.9.015.43

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Бакушев Сергей Васильевич,**

доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Сопротивление материалов  
и теория упругости»

Адрес: 440071, г. Пенза, ул. Лядова, 30-84  
Тел.: (8-412)-40-61-53

E-mail: tim-graf\_penza@rambler.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, Titov St., 28,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Bakushev Sergey Vasilevich,**

Doctor of Sciences, Professor,  
Head of the department «Strength of materials  
and theorie of elasticity»

Adress: 440071, Penza, 30, Ljadova St., ap. 84  
Tel.: (8-412)-40-61-53

E-mail: tim-graf\_penza@rambler.ru

### УРАВНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНОЙ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ В НАПРЯЖЕНИЯХ<sup>1</sup>

С.В. Бакушев

Рассматривается построение разрешающих уравнений физически нелинейной теории упругости в напряжениях для случая произвольных перекрёстных зависимостей между первыми инвариантами тензоров и вторыми инвариантами девиаторов напряжений и деформаций. В качестве примера рассматриваются модели линейной теории упругости и теории малых упругопластических деформаций.

*Ключевые слова: теория упругости, физически нелинейная модель, решение в напряжениях.*

### SOME EQUATIONS OF PHYSICALLY NONLINEAR THEORY OF ELASTICITY IN PRESSURE

S.V. Bakushev

Construction of resolving equations of the physically nonlinear theory of elasticity in pressure is considered for a case of any cross dependences between the first tensor invariants and the second deviator invariants of pressure and deformations. As an example some models of the linear theory of elasticity and the theory of small plastic resistant deformations are considered.

*Keywords: the theory of elasticity, physically nonlinear model, the decision in pressure.*

При расчёте напряжённо-деформированного состояния сплошных сред, в частности грунтовых оснований под здания и сооружения, наряду с линейными моделями, основанными на уравнениях линейной теории упругости, применяются и нелинейные математические модели [1]. Грунты по своим физическим характеристикам и механическим свойствам относятся к чрезвычайно сложным средам, характеризующимся и дискретностью, и водонасыщением, и внутренним трением, и дилатансией, и существенной нелинейностью. Как показывают эксперименты, объёмные деформации

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы при разработке темы «Теоретические исследования факторов пассивного управления пространственной динамикой высотных сооружений при различных воздействиях с учётом нелинейной механики оснований».

грунтов определяются не только гидростатическим обжатием, но и сдвиговыми напряжениями, в то время как при сдвиговых деформациях изменяется объём материала. Таким образом, существует перекрёстная зависимость между первыми инвариантами тензоров  $\sigma$  и  $\varepsilon$  и вторыми инвариантами девиаторов напряжений  $T$  и деформаций  $\Gamma$ :

$$\sigma = \sigma(\varepsilon, \Gamma); \quad T = T(\varepsilon, \Gamma). \quad (1)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}; \quad \varepsilon = \varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}; \\ T &= \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6 \cdot (\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2)}; \\ \Gamma &= \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + (\varepsilon_{yy} - \varepsilon_{zz})^2 + (\varepsilon_{zz} - \varepsilon_{xx})^2 + \frac{3}{2}(\varepsilon_{xy}^2 + \varepsilon_{yz}^2 + \varepsilon_{zx}^2)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Перекрёстная зависимость (1) реализована, в частности, в деформационных теориях сплошных сред Г.А.Гениева: деформационной теории пластичности сыпучей среды [2], деформационной теории пластичности бетона [3]. При этом замыкающие уравнения (1) записываются в виде следующих соотношений:

$$\sigma = 3K(\varepsilon, \Gamma) \cdot \varepsilon; \quad T = G(\varepsilon, \Gamma) \cdot \Gamma. \quad (3)$$

Здесь  $K(\varepsilon, \Gamma)$  – модуль объёмного расширения (сжатия),  $G(\varepsilon, \Gamma)$  – модуль сдвига.

Кроме параметров напряжённого и деформированного состояний в деформационных теориях пластичности, в модули объёмного расширения (сжатия) и сдвига включены и другие механические характеристики, в частности, коэффициент дилатансии и коэффициент внутреннего трения.

В деформационной теории пластичности сыпучей среды

$$K = K_0 \left[ 1 - \frac{q}{\varepsilon} \left( \frac{T}{T_s} \right)^2 \right], \quad G = \frac{G_0}{1 - \lambda} \left( 1 - \frac{\Gamma}{2\Gamma_s} \right). \quad (4)$$

Здесь  $K_0$  – начальный модуль объёмного расширения (сжатия);  $G_0$  – начальный модуль сдвига при чистом сдвиге;  $\Gamma_s$  – предельная интенсивность деформаций сдвига;  $q$  – коэффициент дилатансии (вообще говоря  $q = \varepsilon_c$ , где  $\varepsilon_c$  – предельная объёмная деформация при чистом сдвиге);  $\lambda = -f \frac{\sigma}{3T}$ ;  $f$  – коэффициент внутреннего трения;

$T_s = \frac{T_c}{1 - \lambda}$ ;  $T_c$  – предел прочности при чистом сдвиге;  $T_s$  – предельное значение интенсивности касательных напряжений для рассматриваемого вида напряжённого состояния.

Следует отметить, что и модуль объёмного расширения (сжатия)  $K$ , и модуль сдвига  $G$  легко представляются и как функции инвариантов тензора деформации  $\varepsilon$  и  $\Gamma$ , то есть  $K = K(\varepsilon, \Gamma)$ ,  $G = G(\varepsilon, \Gamma)$ , и как функции инвариантов тензора напряжений  $\sigma$  и  $T$ , то есть  $K = K(\sigma, T)$ ,  $G = G(\sigma, T)$ .

Модель деформационной теории пластичности сыпучей среды предложена в 1974 году профессором Г.А. Гениевым для описания напряжённо-деформированного состояния сыпучих сред, грунтов и грунтовых массивов. Её механическая модель иллюстрирует формоизменение и состоит из параллельно соединённых неупругого элемента и элемента сухого трения. Она позволяет описать некоторые закономерности деформирования грунтовых сред: в частности, влияние среднего напряжения на вид

зависимостей между вторыми инвариантами тензоров напряжений и деформаций, реализует возможность непосредственного перехода от зависимостей «напряжения-деформации» к условию предельного равновесия, предусматривает физическую нелинейность диаграмм работы материала, внутреннее трение, а также эффект дилатансии в области напряжённых состояний, близких к предельным.

Для линейной теории упругости  $K = \text{const}$ ,  $G = \text{const}$ .

Получим общие разрешающие уравнения физически нелинейной теории упругости в напряжениях, полагая, что перекрёстные зависимости (1) обратимы, то есть модуль объёмного расширения (сжатия)  $K$  и модуль сдвига  $G$  могут быть представлены в виде соотношений:

$$K = K(\sigma, T); \quad G = G(\sigma, T). \quad (5)$$

Подставим физические уравнения

$$\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{xx} = \frac{1}{2G(\sigma, T)} \left( \sigma_{xx} - \frac{1}{3}\sigma \right) + \frac{1}{9K(\sigma, T)}; \\ \dots \\ \dots \\ \varepsilon_{xy} = \frac{1}{G(\sigma, T)} \sigma_{xy}; \\ \dots \\ \dots \end{array} \right. \quad (6)$$

в уравнения совместности деформаций

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 \varepsilon_{xx}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_{yy}}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \varepsilon_{xy}}{\partial x \partial y}; \\ \dots \\ \dots \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial \varepsilon_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \varepsilon_{xy}}{\partial z} - \frac{\partial \varepsilon_{yz}}{\partial x} \right) = 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_{xx}}{\partial y \partial z}; \\ \dots \\ \dots \end{array} \right. \quad (7)$$

После элементарных преобразований уравнения неразрывности деформаций Сен-Венана (7), записанные в терминах напряжений, получают вид:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2G} \left( \frac{\partial^2 \sigma_{xx}}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \sigma_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \sigma_{yy}}{\partial x^2} \right) + \left( \frac{1}{9K} - \frac{1}{6G} - \frac{\sigma}{9K^2} \frac{\partial K}{\partial \sigma} - \frac{\sigma_{yy} - \frac{1}{3}\sigma}{2G^2} \frac{\partial G}{\partial \sigma} \right) \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} + \\ & + \left( \frac{1}{9K} - \frac{1}{6G} - \frac{\sigma}{9K^2} \frac{\partial K}{\partial \sigma} - \frac{\sigma_{xx} - \frac{1}{3}\sigma}{2G^2} \frac{\partial G}{\partial \sigma} \right) \frac{\partial^2 \sigma}{\partial y^2} - \left( \frac{\sigma}{9K^2} \frac{\partial K}{\partial T} + \frac{\sigma_{yy} - \frac{1}{3}\sigma}{2G^2} \frac{\partial G}{\partial T} \right) \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \\ & - \left( \frac{\sigma}{9K^2} \frac{\partial K}{\partial T} + \frac{\sigma_{xx} - \frac{1}{3}\sigma}{2G^2} \frac{\partial G}{\partial T} \right) \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\sigma_{xy}}{G^2} \left( \frac{\partial G}{\partial \sigma} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x \partial y} + \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} \right) = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{2G^2} \left( \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial x} - \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) \frac{\partial G}{\partial x} - \frac{1}{G^3} \left( G \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} - 2\sigma_{xy} \frac{\partial G}{\partial y} \right) \frac{\partial G}{\partial x} - \frac{1}{G^2} \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial y} + \\
&+ \frac{1}{2G^3} \left[ G \left( \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial x} - \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) - 2 \left( \sigma_{yy} - \frac{1}{3} \sigma \right) \frac{\partial G}{\partial x} \right] \frac{\partial G}{\partial x} + \frac{1}{2G^2} \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial y} - \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) \frac{\partial G}{\partial y} + \\
&+ \frac{1}{2G^3} \left[ G \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial y} - \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) - 2 \left( \sigma_{xx} - \frac{1}{3} \sigma \right) \frac{\partial G}{\partial y} \right] \frac{\partial G}{\partial y} + \frac{1}{9K^2} \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial K}{\partial x} + \\
&+ \frac{1}{9K^3} \left( K \frac{\partial \sigma}{\partial x} - 2\sigma \frac{\partial K}{\partial x} \right) \frac{\partial K}{\partial x} + \frac{1}{9K^2} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial K}{\partial y} + \frac{1}{9K^3} \left( K \frac{\partial \sigma}{\partial y} - 2\sigma \frac{\partial K}{\partial y} \right) \frac{\partial K}{\partial y} + \\
&+ \frac{\sigma}{9K^2} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial x} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 K}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 K}{\partial \sigma \partial T} \right) + \frac{\partial T}{\partial x} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 K}{\partial \sigma \partial T} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 K}{\partial T^2} \right) \right] + \\
&+ \frac{\sigma}{9K^2} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial y} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial^2 K}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 K}{\partial \sigma \partial T} \right) + \frac{\partial T}{\partial y} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial^2 K}{\partial \sigma \partial T} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 K}{\partial T^2} \right) \right] + \\
&+ \frac{\sigma_{yy} - \frac{1}{3} \sigma}{2G^2} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial x} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} \right) + \frac{\partial T}{\partial x} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right) \right] + \\
&+ \frac{\sigma_{xx} - \frac{1}{3} \sigma}{2G^2} \left[ \frac{\partial \sigma}{\partial y} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} \right) + \frac{\partial T}{\partial y} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right) \right] - \\
&- \frac{\sigma_{xy}}{G^2} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} \right) - \frac{\sigma_{xy}}{G^2} \frac{\partial T}{\partial y} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right); \\
&\dots \\
&\dots
\end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}
&\frac{1}{G} \left( \frac{\partial^2 \sigma_{xy}}{\partial x \partial z} - \frac{\partial^2 \sigma_{yz}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_{zx}}{\partial y \partial x} - \frac{\partial^2 \sigma_{xx}}{\partial y \partial z} \right) + \left( \frac{1}{3G} - \frac{2}{9K} + \frac{2\sigma}{9K^2} \frac{\partial K}{\partial \sigma} + \frac{\sigma_{xx} - \frac{1}{3} \sigma}{G^2} \frac{\partial G}{\partial \sigma} \right) \frac{\partial^2 \sigma}{\partial y \partial z} + \\
&+ \left( \frac{2\sigma}{9K^2} \frac{\partial K}{\partial T} + \frac{\sigma_{xx} - \frac{1}{3} \sigma}{G^2} \frac{\partial G}{\partial T} \right) \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} - \frac{1}{G^2} \frac{\partial G}{\partial \sigma} \left( \sigma_{xy} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x \partial z} + \sigma_{xz} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x \partial y} - \sigma_{yz} \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} \right) - \\
&- \frac{1}{G^2} \frac{\partial G}{\partial T} \left( \sigma_{xy} \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} + \sigma_{xz} \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} - \sigma_{yz} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = \\
&= \frac{1}{G^2} \left( \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial y} - 2 \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial x} \right) \frac{\partial G}{\partial x} + \frac{1}{G^2} \left( \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial z} + \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial z} \right) \frac{\partial G}{\partial y} + \\
&+ \frac{1}{G^2} \left( \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial y} + \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) \frac{\partial G}{\partial z} + \frac{2}{G^3} \frac{\partial G}{\partial x} \left( \sigma_{yz} \frac{\partial G}{\partial x} - \sigma_{xy} \frac{\partial G}{\partial z} - \sigma_{xz} \frac{\partial G}{\partial y} \right) +
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 & + \frac{2}{G^3} \left( \sigma_{xx} - \frac{1}{3} \sigma \right) \frac{\partial G}{\partial z} \frac{\partial G}{\partial y} - \frac{2}{9K^2} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial K}{\partial z} + \frac{\partial \sigma}{\partial z} \frac{\partial K}{\partial y} - \frac{2}{K} \frac{\partial K}{\partial z} \frac{\partial K}{\partial y} \right) + \\
 & + \frac{\sigma_{xy}}{G^2} \frac{\partial \sigma}{\partial z} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} \right) + \frac{\sigma_{xy}}{G^2} \frac{\partial T}{\partial z} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right) + \\
 & + \frac{\sigma_{xz}}{G^2} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} \right) + \frac{\sigma_{xz}}{G^2} \frac{\partial T}{\partial y} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right) - \\
 & - \frac{\sigma_{yz}}{G^2} \frac{\partial \sigma}{\partial x} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} \right) - \frac{\sigma_{yz}}{G^2} \frac{\partial T}{\partial x} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} + \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right) - \\
 & - \frac{2\sigma}{9K^2} \frac{\partial \sigma}{\partial z} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial^2 K}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 K}{\partial \sigma \partial T} \right) - \frac{2\sigma}{9K^2} \frac{\partial T}{\partial z} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial^2 K}{\partial \sigma \partial T} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 K}{\partial T^2} \right) - \\
 & - \frac{1}{G^2} \left( \sigma_{xx} - \frac{1}{3} \sigma \right) \frac{\partial \sigma}{\partial z} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma^2} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} \right) - \\
 & - \frac{1}{G^2} \left( \sigma_{xx} - \frac{1}{3} \sigma \right) \frac{\partial T}{\partial z} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial y} \frac{\partial^2 G}{\partial \sigma \partial T} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right);
 \end{aligned}$$

...

В уравнениях (8) частные производные от модулей расширения (сжатия)  $K$  и сдвига  $G$ , а также от инвариантных величин  $\sigma$  и  $T$  по пространственным координатам  $x, y, z$  будут равны:

$$\frac{\partial G}{\partial x_i} = \frac{\partial G}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial x_i} + \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x_i}; \quad \frac{\partial K}{\partial x_i} = \frac{\partial K}{\partial \sigma} \frac{\partial \sigma}{\partial x_i} + \frac{\partial K}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x_i}; \quad i=1, 2, 3;$$

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x_i} = \sum_{k=1}^3 \frac{\partial \sigma_{kk}}{\partial x_i}; \quad \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x_i \partial x_j} = \sum_{k=1}^3 \frac{\partial^2 \sigma_{kk}}{\partial x_i \partial x_j}; \quad i=1, 2, 3; \quad j=1, 2, 3; \quad (9)$$

$$\frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{1}{6T} \left[ \sum_{k=1}^3 (\sigma_{kk} - \sigma_{k+1,k+1}) \left( \frac{\partial \sigma_{kk}}{\partial x_i} - \frac{\partial \sigma_{k+1,k+1}}{\partial x_i} \right) + 6 \sum_{k=1}^3 \sigma_{k,k+1} \frac{\partial \sigma_{k,k+1}}{\partial x_i} \right]; \quad i=1, 2, 3;$$

если  $k+1 > 3$ , то  $k+1=1$ ;

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial^2 T}{\partial x_i \partial x_j} = \frac{1}{6T^2} & \left\{ T \left[ \sum_{k=1}^3 (\sigma_{kk} - \sigma_{k+1,k+1}) \left( \frac{\partial^2 \sigma_{kk}}{\partial x_i \partial x_j} - \frac{\partial^2 \sigma_{k+1,k+1}}{\partial x_i \partial x_j} \right) + \right. \right. \\
 & + \sum_{k=1}^3 \left( \frac{\partial \sigma_{kk}}{\partial x_i} - \frac{\partial \sigma_{k+1,k+1}}{\partial x_i} \right) \left( \frac{\partial \sigma_{kk}}{\partial x_j} - \frac{\partial \sigma_{k+1,k+1}}{\partial x_j} \right) + \\
 & \left. \left. + 6 \left( \sum_{k=1}^3 \sigma_{k,k+1} \frac{\partial^2 \sigma_{k,k+1}}{\partial x_i \partial x_j} + \sum_{k=1}^3 \frac{\partial \sigma_{k,k+1}}{\partial x_i} \frac{\partial \sigma_{k,k+1}}{\partial x_j} \right) \right] - 6T \cdot \frac{\partial T}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial T}{\partial x_j} \right\};
 \end{aligned}$$

$i=1, 2, 3; \quad j=1, 2, 3;$

если  $k+1 > 3$ , то  $k+1=1$ .

В формулах (9) введены тензорные обозначения для пространственных координат:  $x_1 \Rightarrow x, x_2 \Rightarrow y, x_3 \Rightarrow z$ .

Уравнения (8) записаны для случая общих перекрёстных зависимостей между первыми инвариантами тензоров и вторыми инвариантами девиаторов напряжений и деформаций. Таким образом, уравнения (8) могут быть использованы для нахождения напряжённо-деформированного состояния сплошных сред, механическое поведение которых описывается различными математическими моделями.

Для модели линейной теории упругости ( $K = \text{const}, G = \text{const}$ ) уравнения неразрывности деформаций (8) с учётом того, что  $\frac{\partial K}{\partial \sigma} = \frac{\partial K}{\partial T} = \frac{\partial G}{\partial \sigma} = \frac{\partial G}{\partial T} = 0$ , получают вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2G} \left( \frac{\partial^2 \sigma_{xx}}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \sigma_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \sigma_{yy}}{\partial x^2} \right) + \left( \frac{1}{9K} - \frac{1}{6G} \right) \cdot \left( \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma}{\partial y^2} \right) = 0; \\ \dots \\ \dots \\ \frac{1}{G} \left( \frac{\partial^2 \sigma_{xy}}{\partial x \partial z} - \frac{\partial^2 \sigma_{yz}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_{zx}}{\partial y \partial x} - \frac{\partial^2 \sigma_{xx}}{\partial y \partial z} \right) + \left( \frac{1}{3G} - \frac{2}{9K} \right) \cdot \frac{\partial^2 \sigma}{\partial y \partial z} = 0; \\ \dots \\ \dots \end{array} \right. \quad (10)$$

Рассмотрим модель малых упругопластических деформаций:  $K = \text{const}, G = G(\Gamma)$ . В этом случае  $\frac{\partial K}{\partial \sigma} = \frac{\partial K}{\partial T} = \frac{\partial G}{\partial \sigma} = 0$ , то есть уравнения неразрывности (8) будут записываться следующим образом:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2G} \left( \frac{\partial^2 \sigma_{xx}}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \sigma_{xy}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 \sigma_{yy}}{\partial x^2} \right) + \left( \frac{1}{9K} - \frac{1}{6G} \right) \left( \frac{\partial^2 \sigma}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma}{\partial y^2} \right) - \\ & - \frac{\sigma_{yy} - \frac{1}{3}\sigma}{2G^2} \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{\sigma_{xx} - \frac{1}{3}\sigma}{2G^2} \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\sigma_{xy}}{G^2} \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} = \\ & = \frac{1}{2G^2} \left( \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial x} - \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x} - \frac{1}{G^3} \left( G \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} - 2 \sigma_{xy} \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial y} \right) \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x} - \\ & - \frac{1}{G^2} \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{1}{2G^3} \left[ G \left( \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial x} - \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial x} \right) - 2 \left( \sigma_{yy} - \frac{1}{3}\sigma \right) \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x} \right] \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x} + \\ & + \frac{1}{2G^2} \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial y} - \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\sigma_{xx} - \frac{1}{3}\sigma}{2G^2} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} + \\ & + \frac{1}{2G^3} \left[ G \left( \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial y} - \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) - 2 \left( \sigma_{xx} - \frac{1}{3}\sigma \right) \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial y} \right] \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\sigma_{yy} - \frac{1}{3}\sigma}{2G^2} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial^2 G}{\partial T^2}; \\ & \dots \\ & \dots \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{G} \left( \frac{\partial^2 \sigma_{xy}}{\partial x \partial z} - \frac{\partial^2 \sigma_{yz}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_{zx}}{\partial y \partial x} - \frac{\partial^2 \sigma_{xx}}{\partial y \partial z} \right) + \left( \frac{1}{3G} - \frac{2}{9K} \right) \frac{\partial^2 \sigma}{\partial y \partial z} + \left( \frac{\sigma_{xx} - \frac{1}{3} \sigma}{G^2} \frac{\partial G}{\partial T} \right) \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} - \\
& - \frac{1}{G^2} \frac{\partial G}{\partial T} \left( \sigma_{xy} \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} + \sigma_{xz} \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} - \sigma_{yz} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = \\
& = \frac{1}{G^2} \left( \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial y} - 2 \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial x} \right) \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{1}{G^2} \left( \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial z} + \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial z} \right) \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial y} + \\
& + \frac{1}{G^2} \left( \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial y} + \frac{1}{3} \frac{\partial \sigma}{\partial y} \right) \frac{\partial G}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{2}{G^3} \left( \frac{\partial G}{\partial T} \right)^2 \frac{\partial T}{\partial x} \left( \sigma_{yz} \frac{\partial T}{\partial x} - \sigma_{xy} \frac{\partial T}{\partial z} - \sigma_{xz} \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \\
& + \frac{2}{G^3} \left( \sigma_{xx} - \frac{1}{3} \sigma \right) \left( \frac{\partial G}{\partial T} \right)^2 \frac{\partial T}{\partial z} \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\sigma_{xy}}{G^2} \frac{\partial T}{\partial z} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right) + \frac{\sigma_{xz}}{G^2} \frac{\partial T}{\partial y} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right) - \\
& - \frac{\sigma_{yz}}{G^2} \frac{\partial T}{\partial x} \left( \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right) - \frac{2\sigma}{9K^2} \frac{\partial T}{\partial z} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 K}{\partial T^2} \right) - \frac{1}{G^2} \left( \sigma_{xx} - \frac{1}{3} \sigma \right) \frac{\partial T}{\partial z} \left( \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial^2 G}{\partial T^2} \right); \\
& \dots \\
& \dots
\end{aligned}$$

*Замечание:* во всех группах соотношений (6), (7), (8), (10) и (11) представлены в явном виде только первые уравнения соответствующих подгрупп. Остальные уравнения подгрупп легко записываются путем круговой перестановки индексов  $x, y, z$ .

Полученные в статье результаты могут найти применение при решении физически нелинейных задач теории упругости в напряжениях.

### Список литературы

1. Тер-Мартirosян, З.Г. Механика грунтов [Текст]: учеб. пособие для строительных вузов / З.Г. Тер-Мартirosян. – М.: АСВ, 2005. – 488 с.
2. Гениев, Г.А. К вопросу о деформационной теории пластичности сыпучей среды [Текст] / Г.А. Гениев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1974. – №4. – С.8–10.
3. Гениев, Г.А. Вариант деформационной теории пластичности бетона [Текст] / Г.А. Гениев // Бетон и железобетон. – 1969. – №2.

Казанский государственный архитектурно-строительный университет  
Россия, 440043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1,  
тел./факс: +7(843) 510-46-01.  
E-mail: info@ksaba.ru

**Посохин Владимир Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой  
«Теплогазоснабжение и вентиляция»  
Тел.: (843) 238-39-93; (843) 510-47-35  
E-mail: posohin@mail.ru

**Зиганшин Арслан Маликович**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Теплогазоснабжение и  
вентиляция».  
Адрес: 420036, г. Казань,  
ул. Социалистическая, д.11/14, кв.42  
Тел.: (843) 526-93-14; +79274141620  
E-mail: amziganshin@kgasu.ru

**Кареева Юлия Рустэмовна**,  
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и  
вентиляция»  
Адрес: 420043, Казань, ул. Лесгафта, 18-33  
Тел.: 8 (843) 236 37 68; 89276766337  
E-mail: kareeva\_87@mail.ru

Kazan State University of Architecture and  
Construction  
Russia, 440043, Kazan, 1, Zeljonaya St.,  
tel./fax: +7(843) 510-46-01.  
E-mail: info@ksaba.ru

**Posohin Vladimir Nikolaevich**,  
Doctor of Science, Professor,  
Head of the department «Heating, Gas Supply  
and Ventilation»  
Tel.: (843) 238-39-93; (843) 510-47-35  
E-mail: posohin@mail.ru

**Ziganshin Arslan Malikovich**,  
Candidate of Science, Associate Professor of  
the department «Heating, Gas Supply and  
Ventilation».  
Adress: 420036, Kazan,  
11/14, Socialisticheskay St., ap.42  
Tel.: (843) 526-93-14; +79274141620  
E-mail: amziganshin@kgasu.ru

**Kareeva Juliy Rustemovna**,  
Postgraduate of the department «Heating, Gas  
Supply and Ventilation».  
Adress: 420043, Kazan, 18, Lesgafta St.,  
ap. 33  
Tel.: 8 (843) 236 37 68; 89276766337  
E-mail: kareeva\_87@mail.ru

## ПЛОСКАЯ СТЕСНЕННАЯ СТРУЯ В ТУПИКЕ

В.Н. Посохин, А.М. Зиганшин, Ю.Р. Кареева

Численным методом решается задача о плоской струе-источнике, развивающейся в длинном тупике. Торец, противоположный тупику, открыт. Полученное решение сравнивается с известными аналитическими зависимостями.

*Ключевые слова:* численный метод, плоская струя-источник, тупик.

## RESTRAINED FLAT JET IN A DEAD-END

V.N. Posohin, A.M. Ziganshin, J.R. Kareeva

The problem of a flat jet in a dead-end is numerically investigated. The end face opposite the dead-end is opened. The received solution is compared with well known analytic correlations.

*Keywords:* numerical method, flat jet, dead-end.

Исследованию закономерностей стесненных струй в тупике посвящены известные работы [1-5], среди которых в [1, 4] рассматривается плоская задача.

На рис. 1а;б;в представлены картины течений в тупиках разной длины. Торец, противоположный тупику, открыт. Во всех случаях отношение ширины приточной щели к высоте тупика  $b_0/H = 0,0088$ . Форма линий тока определена с помощью программного комплекса Fluent.

Рис. 1а иллюстрирует случай, когда длина тупика намного превосходит дальность струи  $l > x_d$ , за пределом которой формируются зоны слабого вихревого движения. Интенсивность циркуляции последовательно расположенных вихрей быстро убывает.

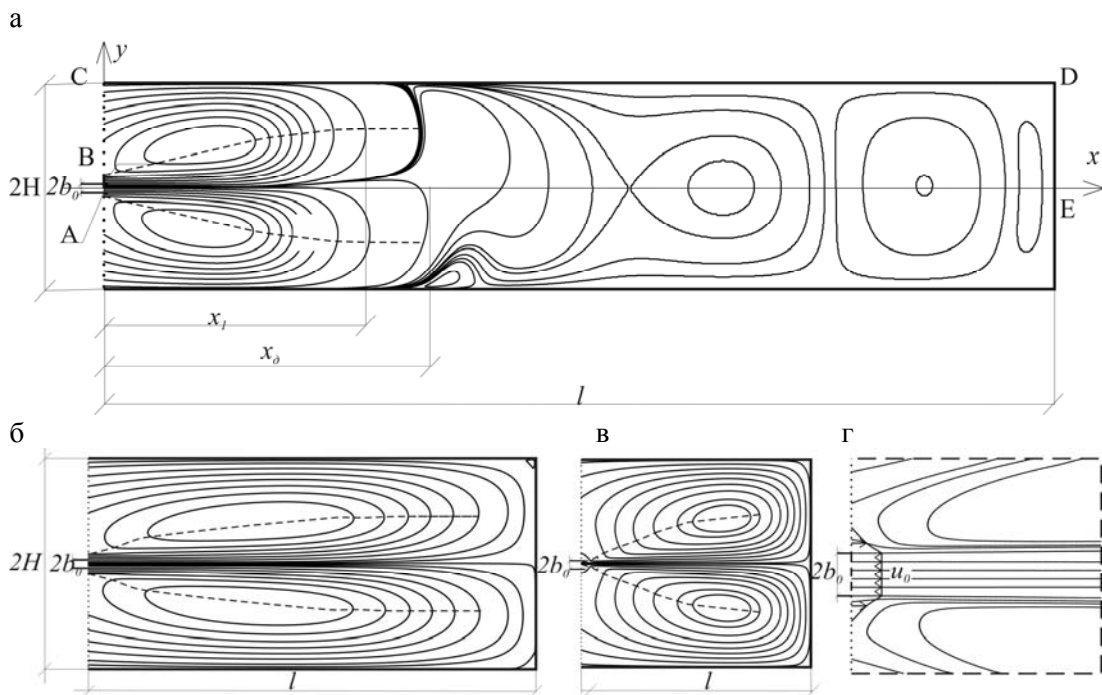


Рис. 1

На рис. 1б приведена картина течения, где длина тупика примерно равна дальнобойности струи  $l \approx x_d$ . Здесь внешние вихревые зоны отсутствуют. Течение в коротком тупике  $l < x_d$  показано на рис. 1в. Здесь струя расширяется интенсивнее, чем в предыдущих случаях, что обуславливается противодействием, которое оказывает заглушенный торец, то есть действует фактор продольного стеснения. На всех рисунках штриховыми линиями нанесены границы, разделяющие «прямой» и «обратный» потоки.

Во всех случаях отчетливо выделяется собственно струя, границы которой криволинейны на всем протяжении, ширина струи увеличивается до некоторого характерного сечения  $x_1$ . Далее начинается зона разворота, формируется обратный поток, питающий струю. Часть воздуха в объеме, равном объему притока, вытекает через открытый торец наружу.

Строго говоря, приток воздуха происходит и через часть открытого торца, за счет эжектирующего действия струи (рис. 1г). Интенсивность эжекции определяется начальным импульсом струи.

Таким образом, кинематика течения в тупике существенно зависит от длины последнего. Это обстоятельство никак не учитывается в существующих методах расчета воздухораспределения в помещениях.

В работе [5] предложено теоретическое решение задачи для плоской струи-источника в бесконечно длинном тупике. Предполагалось, что профили продольной скорости в поперечном сечении тупика такие же, как и в свободной струе, но имеет место сдвиг скорости, изменяющийся по длине тупика. Решение получено из уравнения неразрывности, согласно которому расходы в прямом и обратном потоках в каждом сечении равны. Поскольку рассматривалась струя с нулевым начальным расходом, вытекание через открытый торец отсутствовало, то есть можно было считать, что оба торца закрыты. В рамках сделанных допущений получено аналитическое решение для струи с неограниченной дальнобойностью, не имеющей зоны разворота. Ниже приведены основные расчетные зависимости из [5].

Продольная компонента скорости в произвольной точке стесненной струи:

$$u^{CT} = u^{CB} - u_*, \quad (1)$$

где индексы «ст», «св» – означают стесненная и свободная струи;  $u_x^{св} = u_x^{св} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{cx}\right)^2}$ ,  $u_x^{св}$  – осевая скорость в свободной струе на расстоянии  $x$  от истечения,  $u_*$  – сдвиг скорости в этом сечении.

$$u_x = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[4]{\pi}\sqrt{c}} \sqrt{\frac{I_0}{\rho}} \frac{1}{\sqrt{x}}; \quad (2)$$

$I_0/l = \rho_0 u_0^2 b_0$  – половина начального импульса струи на единицу длины приточной щели;  $\rho$  – плотность воздуха,  $c$  – экспериментальная константа ( $c=0,082$ ).

$$u_* = \sqrt[4]{\pi} \sqrt{\frac{I_0}{\rho H}} \frac{\operatorname{erf}\left(\frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{H}{cx}\right)}{\sqrt{\frac{H}{cx}}}. \quad (3)$$

Осевая скорость в стесненной струе:

$$u_x^{ст} = u_x^{св} - u_*. \quad (4)$$

Максимальная скорость в обратном потоке:

$$u_x^{обр} = u_x e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{cx}\right)^2} - u_*. \quad (5)$$

Полуширина стесненной струи:

$$y_{гр}^{ст} = \sqrt{2cx} \sqrt{\ln \frac{u_x^{св}}{u_*}}. \quad (6)$$

Для свободной струи-источника:

$$y_{гр}^{св} = 0,22x. \quad (7)$$

Полурасход воздуха в сечениях стесненной струи, отнесенный к единице длины приточной щели:

$$L_x^{ст} = L_x^{св} \operatorname{erf}\left(\frac{y_{гр}^{ст}}{\sqrt{2cx}}\right) - u_* y_{гр}^{ст}. \quad (8)$$

Полурасход воздуха в сечениях свободной струи:

$$L_x = \sqrt[4]{\pi}\sqrt{c} \sqrt{\frac{I_0}{\rho}} \sqrt{x}. \quad (9)$$

В представленной статье приведены результаты численного решения для симметричной половины длинного тупика, ограниченной отрезками  $ABCDEA$ , – рис. 1а ( $l = 2,52$  м,  $2H = 0,34$  м,  $l/H = 14,82$ ,  $2b_0 = 0,003$  м,  $u_0 = 52,9$  м/с). Поскольку  $b_0/H = 0,0088 \approx 0$ , можно ожидать, что численное решение окажется близким аналитическому расчету.

При расчете с помощью *CFD*-комплекса *Fluent* принята стандартная модель турбулентности  $k - \varepsilon$  ( $k$  – кинетическая энергия турбулентных пульсаций;  $\varepsilon$  – диссипация турбулентной энергии). На твердых границах  $CDE$  задавалось условие непро-

нищаемости («Wall»)  $du_n/dn = 0$ ,  $k = 0$ ,  $\varepsilon = 0$ ; на отрезке  $AB$  – условие постоянства скорости  $u_o = \text{const}$ ,  $k = 0$ ,  $\varepsilon = 0$  («Velocity Inlet»); на отрезке  $BC$  – условие («Pressure Outlet» – «свободная граница»)  $k = 0$ ,  $\varepsilon = 0$ ; на отрезке  $AE$  – условие («Symmetry») –  $u_n = 0$ ,  $k = 0$ ,  $\varepsilon = 0$ .

Точность расчетов контролировалась определением расходов в прямом и обратном потоках. Эти расходы оказались практически одинаковыми, следовательно, точность расчетов вполне приемлема.

На рис. 2 представлены расчетные значения безразмерных максимальных скоростей в свободной струе, а также в прямом и обратном потоках стесненной струи. Там же нанесены и результаты вычислений по формулам (2), (4), (5) [5].

$$\bar{u}_x = \frac{u_x}{\sqrt{I_0 / \rho H}}, \quad \bar{x} = x / H.$$

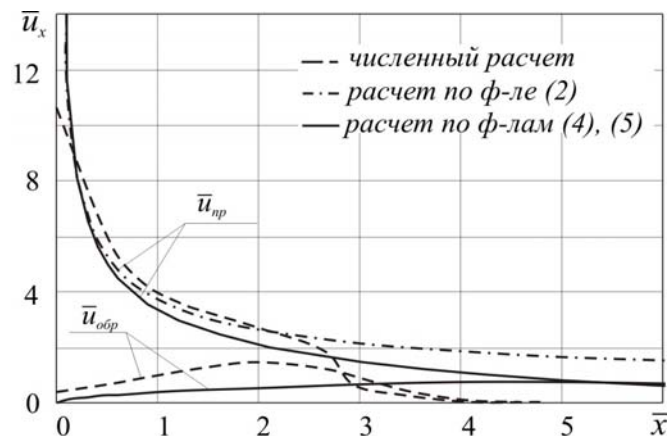


Рис. 2

Как видно из рисунка, характер изменения скорости, определенный по аналитическим зависимостям и численно, существенно различен.

До сечения  $\bar{x}_* \approx 2$  численные и аналитические расчеты осевой скорости дают близкие результаты. На этом же интервале максимальная скорость обратного потока возрастает от некоторого начального значения, определяемого эжектирующим действием струи (см. рис. 1г), до максимального значения  $\bar{u}_x^{\text{обр}} = 1,7$ .

Координата  $\bar{x}_* \approx 2$  соответствует сечению, где стесненная струя имеет максимальную ширину, далее следует зона разворота, где скорости  $\bar{u}_x^{\text{ст}}$  и  $\bar{u}_x^{\text{обр}}$  быстро уменьшаются до нуля, при  $\bar{x}_0 \approx 4,82$  – дальнобойность струи.

Расчеты по формулам (4), (5) для бесконечно длинного тупика дают монотонное падение  $\bar{u}_x^{\text{ст}}$  и возрастание  $\bar{u}_x^{\text{обр}}$ , так что при  $x \rightarrow \infty$   $\bar{u}_x^{\text{ст}} = \bar{u}_x^{\text{обр}} = \sqrt{2} / \sqrt{\pi} = 1,06$ .

Можно констатировать, что аналитические зависимости не отражают реальные особенности распределения характерных скоростей по длине тупика.

На рис. 3 представлены профили продольной скорости в сечениях тупика. Аналитический и численный расчеты заметно различаются. Профили, рассчитанные численно, более физичны. В частности, в них фиксируется пристенный пограничный слой.

На рис. 4 приведены относительные координаты границы струи, найденные по выражениям (6), (7) и численно. До критического сечения  $\bar{x} \approx 2$  границы свободной струи – формула (7) и определенная численно для стесненной струи – достаточно близки. Аналитический расчет по формуле (6) определяет более узкую стесненную струю, ширина которой возрастает так, что при  $x \rightarrow \infty$   $\bar{y}_{\text{гп}}^{\text{ст}} \rightarrow 0,5$ . То есть на бесконечности струя, расширяясь, заполняет тупик по всей высоте.

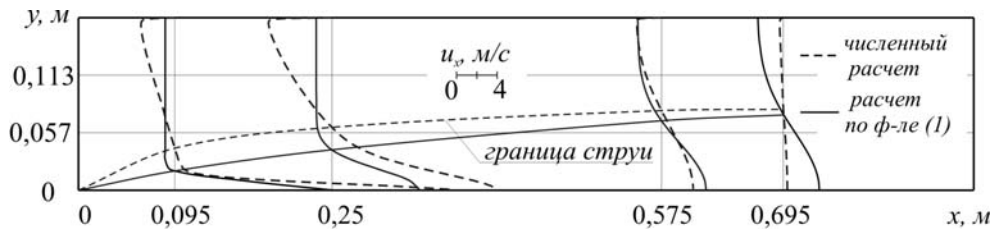


Рис. 3

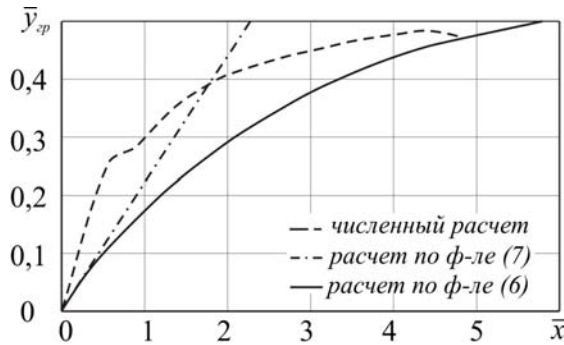


Рис. 4

На рис. 5 представлены графики изменения относительного расхода воздуха в активной части струи, построенные по аналитическим зависимостям и на основании численных расчетов ( $\bar{L}_x = \frac{L}{\sqrt{I_0 H / \rho}}$ ). Расход, определенный численно, возрастает от некоторого

исходного значения, определяемого эжектирующим действием струи  $\bar{L}_0 = 0,074$ , до максимального значения  $\bar{L}_x^{ст} = 0,52$  в сечении  $\bar{x}_* = 2$ . Далее расход падает до нуля при  $\bar{x}_д = 4,82$ . Характерные сечения  $\bar{x}_*$  и  $\bar{x}_д$ , определенные по рис. 2 и 6, совпадают.

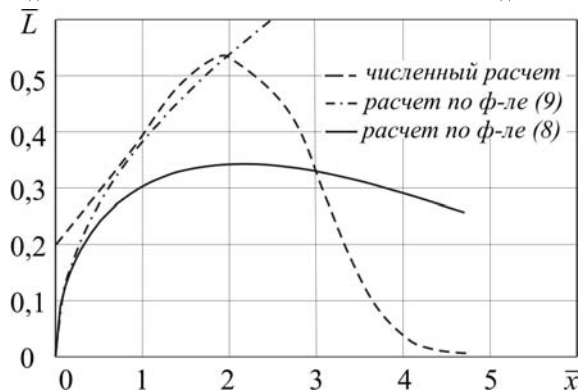


Рис.5

На отрезке  $0 < \bar{x}_1 < 1$  численный расход хорошо совпадает с расходом, определенным по формуле (7) для свободной струи.

Расходы  $\bar{L}_x^{св}$ ,  $\bar{L}_x^{ст}$ , определенные по формулам (7), (8), хорошо совпадают на интервале  $0 < \bar{x} < 0,3$ . При  $\bar{x} > 1$  расход  $\bar{L}_x^{ст}$  уменьшается по сравнению с  $\bar{L}_x^{св}$ , асимптотически приближаясь к  $\bar{L}_x^{ст} = 0,25$  при  $x \rightarrow \infty$ .

И здесь аналитические зависимости также не отражают реального изменения расхода по длине тупика.

Для расчетов воздухораспределения в помещениях важно иметь информацию о средних скоростях по сечению струи.

На рис. 6 представлены результаты вычислений средней по площади скорости в потоках: прямом

$$u_{ср}^{пр} = \frac{L_x}{y_{гр}}, \quad \bar{u}_{ср}^{пр} = \frac{\bar{L}_x}{\bar{y}_{гр}}; \quad (10)$$

обратном

$$u_{ср}^{обр} = \frac{L_x}{H - y_{гр}}, \quad \bar{u}_{ср}^{обр} = \frac{\bar{L}_x}{1 - \bar{y}_{гр}}. \quad (11)$$



Средняя относительная скорость в прямом потоке возрастает от некоторой величины  $\bar{u}_{\text{ср}}^{\text{пр}} = 0,55$ , определяемой условиями истечения и параметрами эжекции в сечении  $\bar{x} = 0$  до значения  $\bar{u}_{\text{ср}}^{\text{пр}} = 1,3$  при  $\bar{x} \approx 1$ , далее  $\bar{u}_{\text{ср}}^{\text{пр}}$  остается постоянной до критического сечения  $\bar{x}_*$ , после чего монотонно уменьшается до нуля при  $\bar{x} = x_d$ .

Средняя относительная скорость в обратном потоке в сечении  $\bar{x} = 0$  также определяется интенсивностью эжекции и равна  $\bar{u}_{\text{ср}}^{\text{обр}} \approx 0,2$ . Затем возрастает до максимума в сечении  $\bar{x}_*$ , после чего также уменьшается до нуля при  $\bar{x} = x_d$ .

Средние скорости, определяемые с помощью аналитических зависимостей (6), (8), (10), (11), изменяются совершенно иначе и не соответствуют реальной картине течения.

На рис. 7 показано изменение безразмерного статического давления по оси тупика. Здесь  $\bar{P}_{\text{ст}} = P_{\text{ст}} / (\rho u_0^2 / 2)$ . Качественный характер кривой соответствует данным [3], полученным в опытах с круглой струей в цилиндрическом тупике. Измерения статического давления на оси плоской струи в тупике нам не известны.

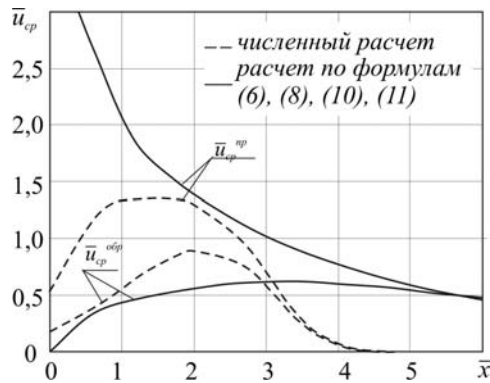


Рис. 6

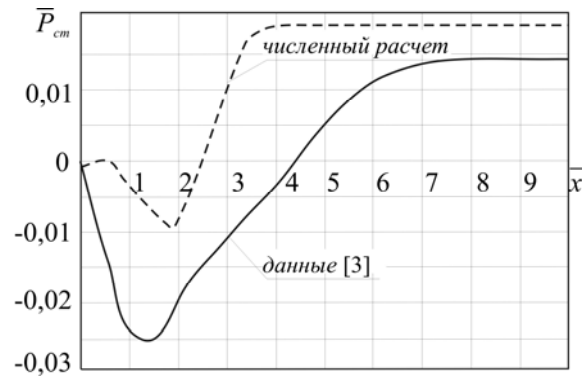


Рис. 7

До сечения  $\bar{x}_* = 2$  давление на оси струи отрицательно. Именно этот факт приводит к интенсивной эжекции воздуха через открытый торец тупика. После сечения  $\bar{x}_* = 2$  струя испытывает противодействие, что приводит к ее торможению и развороту. При  $\bar{x} > 3,5$  давление на оси постоянно и равно примерно  $0,02 \frac{\rho u_0^2}{2}$ .

#### Список литературы

1. Абрамович, Г.Н. Теория турбулентных струй [Текст] / Г.Н. Абрамович. – М.: Физматгиз, 1960. – 715 с.
2. Бахарев, В.А. Основы проектирования и расчета отопления и вентиляции с сосредоточенным выпуском воздуха [Текст] / В.А. Бахарев, В.Н. Трояновский. – М.: Профиздат, 1958. – 215 с.
3. Шепелев, И.А. Распространение турбулентной струи в ограниченном пространстве (Осесимметричное течение) [Текст] / И.А. Шепелев, М.Д. Тарнопольский // Теплогазоснабжение и вентиляция: сб. тезисов научного семинара. – Киев: Будивельник, 1965. – С. 75–81.
4. Тарнопольский, М.Д. Общее движение воздуха в вентилируемом помещении при струйной подаче (плоская задача) [Текст] / М.Д. Тарнопольский // Кондиционирование воздуха: сб. трудов НИИ Сантехники. – Сб.18. – М.: Стройиздат, 1966. – С.179–185.
5. Батулин, В.В. Основы промышленной вентиляции [Текст] / В.В. Батулин – 4-е изд., сокр. – М.: Профиздат, 1990. – 448 с.

УДК 536.253

Казанский государственный архитектурно-строительный университет  
Россия, 440043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1,  
тел./факс: +7(843) 510-46-01.  
E-mail: info@ksaba.ru

**Маклаков Дмитрий Владимирович,**  
доктор физико-математических наук,  
профессор кафедры «Аэрогидромеханика»  
Адрес: 420073, Казань, ул. Красная  
Позиция, д. 29, кв.56.  
Тел.: 8(843)295 64 41; 89178601358  
E-mail: Dmitri.Maklakov@ksu.ru

**Посохин Владимир Николаевич,**  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой  
«Теплогазоснабжение и вентиляция»  
Тел.: (843) 238-39-93; (843) 510-47-35  
E-mail: posohin@mail.ru

**Кареева Юлия Рустэмовна,**  
аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и  
вентиляция»  
Адрес: 420043, Казань, ул. Лесгафта, 18-33  
Тел.: 8 (843) 236 37 68; 89276766337  
E-mail: kareeva\_87@mail.ru

Kazan State University of Architecture and  
Construction  
Russia, 440043, Kazan, 1, Zeljonaya St.,  
tel./fax: +7(843) 510-46-01.  
E-mail: info@ksaba.ru

**Maklakov Dmitry Vladimirovich,**  
Doctor of physical and mathematical  
sciences, Professor, Head of the department  
«Aero, Hydro Dynamic»  
Adress: 420073, Kazan,  
29, Krasnay Poziciya St., ap. 56.  
Tel.: 8(843)295 64 41; 89178601358  
E-mail: Dmitri.Maklakov@ksu.ru

**Posohin Vladimir Nikolaevich,**  
Doctor of Science, Professor, Head of the de-  
partment «Heating, Gas Supply and  
Ventilation»  
Tel.: (843) 238-39-93; (843) 510-47-35  
E-mail: posohin@mail.ru

**Kareeva Juliy Rustemovna,**  
Postgraduate of the department «Heating, Gas  
Supply and Ventilation».  
Adress: 420043, Kazan, 18, Lesgafta St., ap. 33  
Tel.: 8 (843) 236 37 68; 89276766337  
E-mail: kareeva\_87@mail.ru

## К РАСЧЕТУ ПЛОСКОЙ СТЕСНЕННОЙ СТРУИ В ТУПИКЕ

Д.В. Маклаков, В.Н. Посохин, Ю.Р. Кареева

В рамках теории потенциальных течений идеальной жидкости решается задача о распределении скорости в зоне разворота плоской струи в тупике.

*Ключевые слова:* плоская струя, тупик, зона разворота, идеальная жидкость, конформные отображения, распределение скорости.

## TO CALCULATION OF RESTRAINED FLAT JET IN A DEAD-END

D.V. Maklakov, V.N. Posohin, J.R. Kareeva

In the framework of ideal fluid potential flow theory the velocity field in the U-turn zone of a plane jet near the dead end of a channel is determined.

*Keywords:* plane jet, dead-end, turn area, ideal fluid, conformal transformation.

Ширина струи, бьющей в тупик, увеличивается до некоторого сечения. После чего следует зона разворота, струя распадается, формируя обратный поток (рис. 1).

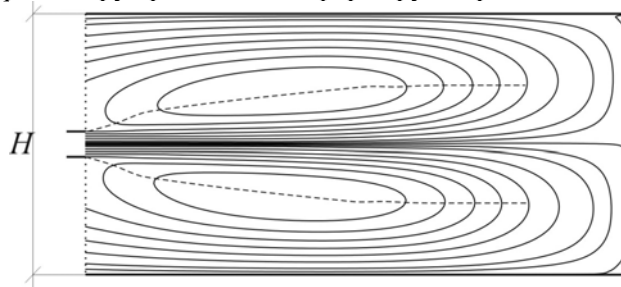


Рис.1. Схема течения в тупике

Известны работы, в которых определялись характеристики активной части течения, – собственно струи [1–5], гораздо менее изучена зона разворота. Можно упомянуть лишь работу Г.Н. Абрамовича [1], в которой предложена расчетная схема, показанная на рис.2. Здесь отрезок  $AKC$  – ось тупика, отрезки  $OK$  и  $OF$  – начало и конец зоны разворота, линия тока – разрез  $AOM$  разделяют струю и обратный поток. В бесконечно удаленных точках  $A$  и  $M$  располагаются источник и сток интенсивностью  $L/2$  ( $L$  – расход воздуха в сечении  $MO$ , где ширина струи максимальна). Детали течений до и после разворота не учитываем. Разворот происходит в подобласти, ограниченной отрезками  $OKC$  и  $OFD$ . Следуя Г.Н Абрамовичу [1], полагаем, что воздух здесь ведет себя как идеальная жидкость, течение плоское потенциальное.

Решение будем искать с помощью метода конформных преобразований. Введем безразмерные координаты  $x^* = \frac{x-l}{H}$ ,  $y^* = \frac{y}{H}$ ,  $k = \frac{l}{H}$ . Область течения в плоскости

$z = x^* + iy^* = \frac{x-l}{H} + i\frac{y}{H}$  показана на рис. 3а.

Отобразим эту область на верхнюю полу-плоскость  $t = \xi + i\eta$  с указанным на рис. 3а, 3е соответствиим точек. В полуплоскости  $t$  будем иметь простое течение, создаваемое источником в точке  $A$  и стоком в точке  $M$ .

Последовательность областей при конформных отображениях показана на рис. 3а-3е.

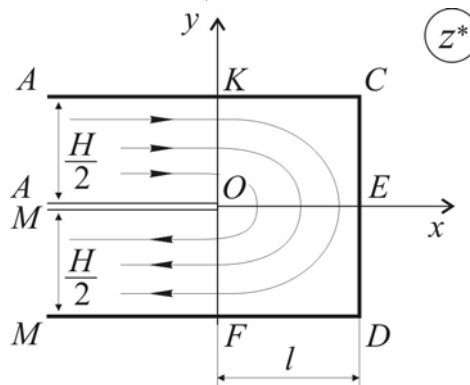


Рис. 2. Расчетная схема течения в зоне разворота

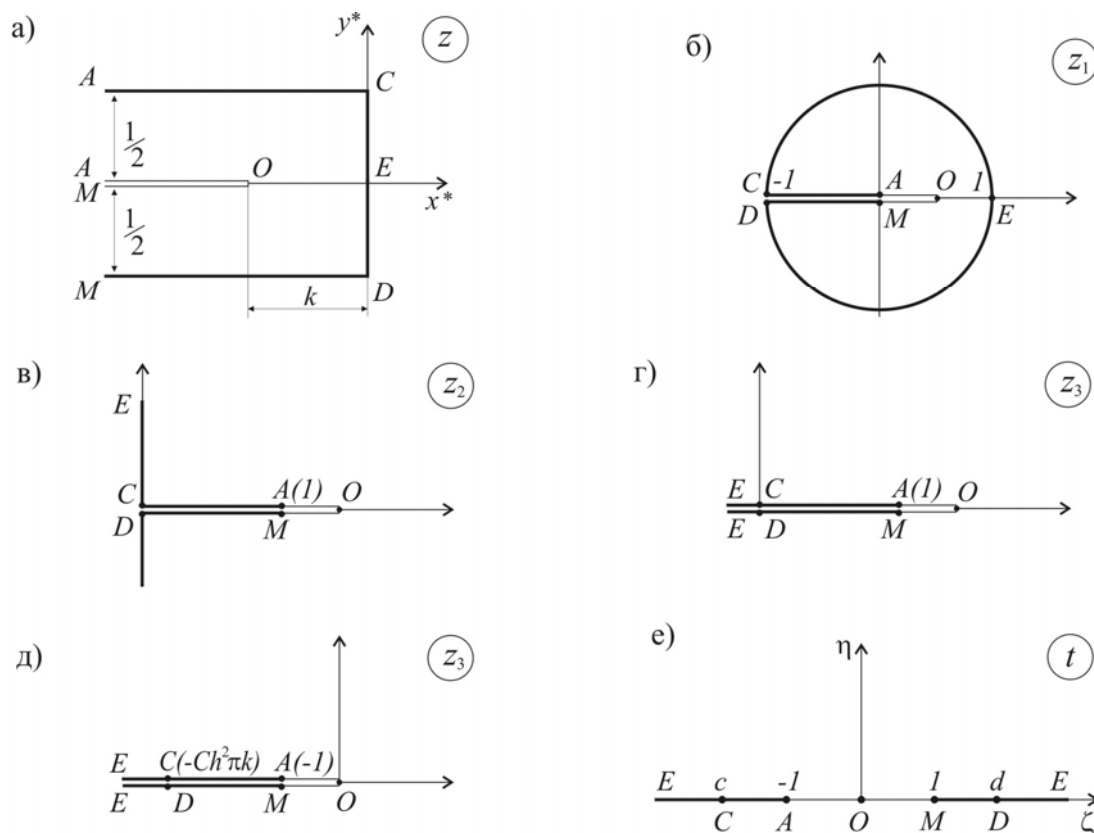


Рис. 3. Соответствие областей при конформных отображениях

Приведем формулы для этой последовательности отображений: соответствие областей  $z^* - z_1$  определяется формулой

$$z_1 = e^{2\pi z^*}. \quad (1)$$

В плоскости  $z_1$  имеем круг единичного радиуса с разрезом  $CAOMD$ . Координаты точки  $O$  будут  $O(0, e^{-2\pi k})$ .

Соответствие областей  $z_2 \rightarrow z_1$  устанавливается формулой

$$z_2 = \frac{z_1 + 1}{1 - z_1} = \frac{e^{2\pi z^*} + 1}{1 - e^{2\pi z^*}} = -\frac{e^{\pi z^*} (e^{\pi z^*} + e^{-\pi z^*}) / 2}{e^{\pi z^*} (e^{\pi z^*} - e^{-\pi z^*}) / 2} = \operatorname{cth} \pi z^*. \quad (2)$$

Координаты точки  $O$  будут  $O(0, \operatorname{cth} \pi k)$ .

Переход от области  $z_2$  к  $z_3$  очевиден:  $z_3 = z_2^2$  и соответственно

$$z_3 = \operatorname{cth}^2 \pi z^*. \quad (3)$$

Координаты точки  $O$  будут  $O(0, \operatorname{cth}^2 \pi k)$ .

Связь между областями  $z_3 \rightarrow q$  устанавливает формула

$$q = z_3 \operatorname{sh}^2 \pi k - \operatorname{ch}^2 \pi k. \quad (4)$$

Определим координаты характерных точек в плоскости  $q$  после этого растяжения и сдвига.

В точке  $O$ :  $q = \operatorname{sh}^2 \pi k - \operatorname{cth}^2 \pi k - \operatorname{ch}^2 \pi k = 0$ .

В точке  $A$  и  $M$ :  $q = \operatorname{sh}^2 \pi k - \operatorname{ch}^2 \pi k = -1$ .

В точках  $C$  и  $D$ :  $q = -\operatorname{ch}^2 \pi k$ .

Формула (4) после тождественных преобразований может быть представлена в виде

$$q = \frac{\operatorname{sh}^2 \pi k}{\operatorname{sh}^2 \pi z^*} - 1. \quad (5)$$

И, наконец, связь между областями  $q$  и  $t$  устанавливает формула

$$t = i\sqrt{q(z^*)}. \quad (6)$$

Параметры отображения  $d$  и  $c$  будут:  $d = \operatorname{ch} \pi k$ ,  $c = -\operatorname{ch} \pi k$ .

При вычислении  $\sqrt{q(z^*)}$  аргумент  $q(z^*)$  изменяется в пределах

$$-\pi \leq \arg q(z^*) \leq \pi.$$

Причем на границе  $ECAO$

$$\arg q(z^*) = \pi, \quad \sqrt{q(z^*)} = i\sqrt{|q(z^*)|}, \quad (7)$$

а на границе  $EDMO$

$$\arg q(z^*) = -\pi, \quad \sqrt{q(z^*)} = -i\sqrt{|q(z^*)|}. \quad (8)$$

Найдем теперь комплексный потенциал течения:

$$W = \frac{L}{2\pi} \ln(t+1) - \frac{L}{2\pi} \ln(t-1) \quad (9)$$

и необходимые промежуточные соотношения:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{L}{2\pi} \left( \frac{1}{t+1} - \frac{1}{t-1} \right) = -\frac{L}{\pi} \frac{1}{t^2-1}.$$

С учетом формул (5), (6) последнее выражение примет вид

$$\frac{dW}{dt} = \frac{L \operatorname{sh}^2 \pi z^*}{\pi \operatorname{sh}^2 \pi k}. \quad (10)$$

Используя те же формулы, находим

$$\frac{dt}{dz^*} = \frac{-i\pi \operatorname{sh}^2 \pi k}{\sqrt{q(z^*)} \operatorname{sh}^3 \pi z^*} \operatorname{ch} \pi z^*. \quad (11)$$

Определим теперь

$$\frac{dW}{dz^*} = \frac{dW}{dt} \cdot \frac{dt}{dz^*} = -iL \frac{\operatorname{cth} \pi z^*}{\sqrt{q(z^*)}}. \quad (12)$$

Учтем, что  $z^* = \frac{z-l}{H}$  и, значит, комплексно-сопряженная скорость течения будет

$$\frac{dW}{dz} = \frac{dW}{dz^*} \cdot \frac{dz^*}{dz} = \frac{1}{H} \frac{dW}{dz^*}. \quad (13)$$

С учетом выражений (12), (13) окончательно для комплексно-сопряженной скорости имеем

$$\frac{dW}{dz} = -\frac{iL \operatorname{cth} \pi z^*}{H \sqrt{q(z^*)}}, \quad q(z^*) = \frac{\operatorname{sh}^2 \pi k}{\operatorname{sh}^2 \pi z^*} - 1. \quad (14)$$

Найдем распределение скоростей на отрезках  $AC$  и  $CE$  (на отрезках  $MD$  и  $DE$  распределения будут симметричны).

На  $AC$ :  $z^* = \frac{i}{2} + x^*$ ;

$$\operatorname{sh}(\pi z^*) = \operatorname{sh} \left( \pi x^* + \frac{i\pi}{2} \right) = i \operatorname{ch} \pi x^*;$$

$$\operatorname{cth}(\pi z^*) = \operatorname{cth} \left( \pi x^* + \frac{i\pi}{2} \right) = \operatorname{th} \pi x^*;$$

$$\sqrt{q(z^*)} = i \sqrt{|q(z^*)|} \quad (\text{согласно (7)});$$

$$q(z^*) = -1 - \frac{\operatorname{sh}^2 \pi k}{\operatorname{sh}^2 \pi x^*}.$$

Выделяя действительную часть (14), получим:

$$v_x(x) = -\frac{L}{H} \frac{\operatorname{sh} \pi x^*}{\sqrt{\operatorname{ch}^2 \pi x^* + \operatorname{sh}^2 \pi k}}. \quad (15)$$

На отрезке  $EC$ :

$$z = iy^*; \operatorname{sh} \pi z^* = i \sin \pi y^*; \operatorname{cth}(\pi z^*) = -i \operatorname{cth} \pi y^*; q(z^*) = -\frac{\operatorname{sh}^2 \pi k}{\sin^2 \pi y^*} - 1.$$

Выделяя мнимую часть (14), находим:

$$v_y = -\frac{L}{H} \frac{\cos \pi y^*}{\sqrt{\sin^2 \pi y^* + \operatorname{sh}^2 \pi k}}. \quad (16)$$

На рис.4 представлены графики, построенные по формулам (15), (16). Напомним, что здесь  $L$  – расход в стесненной струе в сечении, за которым следует зона разворота;

$x^* = \frac{x-l}{H}$ ,  $y^* = \frac{y}{H}$ ,  $x$ ,  $y$  – исходные размерные координаты.

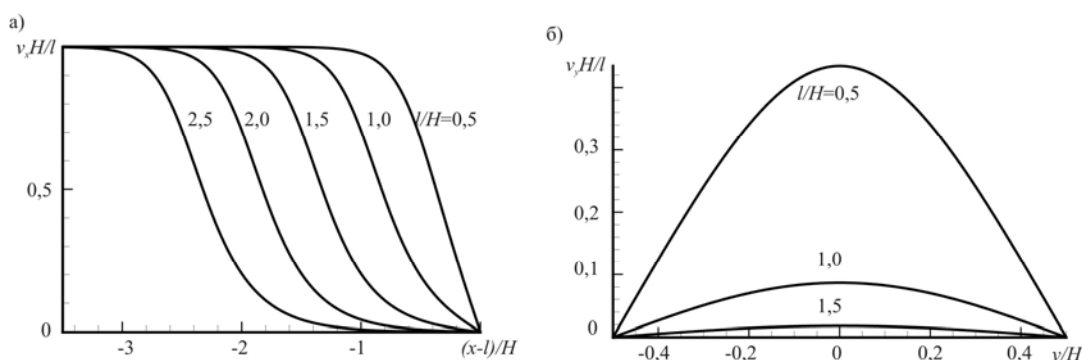


Рис. 4. Распределение относительных скоростей на характерных отрезках при различных значениях  $k = l/H$ : а – отрезок  $AC$ ; б – отрезок  $EC$

Полученные результаты могут быть использованы в расчетах воздухораспределения при тупиковой схеме подачи воздуха.

#### Список литературы

1. Абрамович, Г.Н. Теория турбулентных струй [Текст] / Г.Н. Абрамович. – М.: Физматгиз, 1960. – 715 с.
2. Тарнопольский, М.Д. Общее движение воздуха в вентилируемом помещении при струйной подаче (плоская задача) [Текст] / М.Д. Тарнопольский // Кондиционирование воздуха: сб. трудов НИИ Сантехники. – Сб.18. – М.: Стройиздат, 1966. – С.179–185.
3. Шепелев, И.А. Распространение турбулентной струи в ограниченном пространстве (Осесимметричное течение) [Текст] / И.А. Шепелев, М.Д. Тарнопольский // Теплогазоснабжение и вентиляция: сб. тезисов научного семинара. – Киев: Будивельник, 1965. – С. 75–81.
4. Бахарев, В.А. Основы проектирования и расчета отопления и вентиляции с сосредоточенным выпуском воздуха [Текст] / В.А. Бахарев, В.Н. Трояновский. – М.: Профиздат, 1958. – 215 с.
5. Гримитлин, М.И. Определение параметров струй, развивающихся в ограниченном пространстве по тупиковой и проточной схемам [Текст] / М.И. Гримитлин, Г.М. Позин // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – 1973. – Вып. 91. – С. 12–17.

УДК 536.253

*Казанский государственный архитектурно-строительный университет*  
Россия, 440043, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1,  
тел./факс: +7(843) 510-46-01.  
E-mail: info@ksaba.ru

**Посохин Владимир Николаевич,**  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой  
«Теплогазоснабжение и вентиляция»  
Тел.: (843) 238-39-93; (843) 510-47-35  
E-mail: posohin@mail.ru

**Зиганшин Арслан Маликович,**  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Теплогазоснабжение и  
вентиляция».  
Адрес: 420036, г. Казань,  
ул. Социалистическая, д.11/14, кв.42  
Тел.: (843) 526-93-14; +79274141620  
E-mail: amziganshin@kgasu.ru

**Романов Станислав Викторович,**  
ассистент кафедры «Теплогазоснабжение и  
вентиляция»  
Адрес: 420066, г. Казань, ул. Бондаренко,  
д.9, кв. 29  
Тел.: (843) 526-93-14  
E-mail: romanov\_sv\_83@mail.ru

*Kazan State University of Architecture and  
Construction*  
Russia, 440043, Kazan, 1, Zeljonaya St.,  
tel./fax: +7(843) 510-46-01.  
E-mail: info@ksaba.ru

**Posohin Vladimir Nikolaevich,**  
Doctor of Science, Professor, Head of the  
department «Heating, Gas Supply and  
Ventilation»  
Tel.: (843) 238-39-93; (843) 510-47-35  
E-mail: posohin@mail.ru

**Ziganshin Arslan Malikovich,**  
Candidate of Science, Associate Professor of  
the department «Heating, Gas Supply and  
Ventilation».  
Adress: 420036, Kazan, 11/14,  
Socialisticheskay St., ap.42  
Tel.: (843) 526-93-14; +79274141620  
E-mail: amziganshin@kgasu.ru

**Romanov Stanislav Viktorovich,**  
assistant of the department «Heating, Gas  
Supply and Ventilation».  
Adress: 420066, Kazan, 9, Bondarenko St.,  
ap. 29  
Tel.: (843) 526-93-14  
E-mail: romanov\_sv\_83@mail.ru

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ НАД ОБЪЁМНЫМ ЗАГЛУБЛЕННЫМ ПРОТЯЖЕННЫМ ТЕПЛОИСТОЧНИКОМ

В.Н. Посохин, А.М. Зиганшин, С.В. Романов

Численным методом решается система уравнений турбулентного движения над объёмным заглубленным протяженным теплоисточником. Получены распределения осевых скорости, температуры, а также расхода по длине плоской конвективной струи.

*Ключевые слова: конвективная струя, объёмный заглубленный теплоисточник, численные методы.*

## NUMERICAL RESEARCH OF CONVECTION ABOVE A VOLUMETRIC DEEPENED EXTENDED HEAT SOURCE

V.N. Posohin, A.M. Ziganshin, S.V. Romanov

A system of equations of a turbulent flow above a volumetric deepened extended heat source has been numerically computed. The distribution of axial velocity, temperature and flow rate in a flat convective jet has been obtained.

*Keywords: convective jet, volumetric deepened heat source, numerical methods.*

Известные зависимости для расчета параметров конвективных струй получены для случая, когда теплоисточник расположен заподлицо с окружающей поверхностью [1]. Также известны экспериментальные работы [2, 3], в которых исследовалась конвекция над теплоисточниками в виде объёмных цилиндра и параллелепипеда. Данных о конвективных течениях над заглубленными теплоисточниками нет.

В представленной статье предложено решение задачи о свободной конвективной струе, возникающей над объёмным заглубленным протяженным теплоисточником (рис. 1).

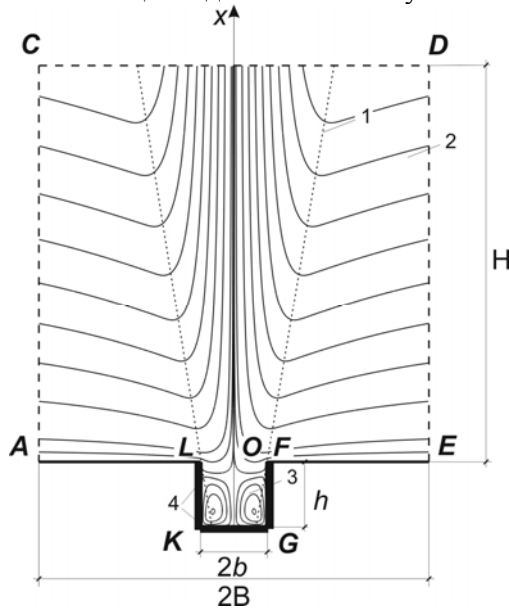


Рис. 1. Схема течения:  
1 – струя; 2 – течение вне струи;  
3 – циркуляционное течение в углублении;  
4 – теплоисточник

С помощью комплекса программ *Fluent* решается полная система уравнений плоского турбулентного движения, включающая: уравнение неразрывности; уравнения движения (Рейнольдса); уравнение переноса конвективной и лучистой энергии; уравнения модели турбулентности; уравнение состояния.

Для замыкания системы уравнений используется стандартная *k-ε* модель турбулентности (*k* – кинетическая энергия турбулентности;  $\epsilon$  – скорость диссипации кинетической энергии турбулентности).

Размеры расчетной области  $H=11$  м,  $B=11$  м, размеры углубления изменялись в пределах  $b=0,3...0,6$  м,  $h=0,15...0,9$  м. Границы *ACDE* проницаемы, *ALKGFE* – непроницаемы.

На проницаемых участках задаются граничные условия *Pressure Outlet* (избыточное давление на границе –  $\Delta p=0$ ).

Предполагается, что непроницаемые участки границы *AL* и *FE* имеют ту же температуру, что и подтекающий извне

воздух  $T_\infty = 293,15$  К. Теплота равномерно выделяется только на участках *LK*, *KG*, *GF*, удельный тепловой поток на каждой из граней равен  $Q_0=400$  Вт/м.

Полная система уравнений решалась методом конечных объемов, при значениях параметров, указанных в таблице.

№ численного эксперимента	Исходные параметры			Рассчитанные параметры		
	$h$ , м	$2b$ , м	$Q_0$ , Вт/м	$Q_k$ , Вт/м	$Ra_\Gamma$	$Ra_B$
$\bar{h} = h/b = 1$						
1	0,15	0,3	400	122,7	$1,1 \cdot 10^8$	$1,7 \cdot 10^7$
2	0,25	0,5	400	233,9	$4,5 \cdot 10^8$	$6,9 \cdot 10^7$
3	0,3	0,6	400	227,4	$9,1 \cdot 10^8$	$1,3 \cdot 10^8$
$\bar{h} = h/b = 2$						
4	0,5	0,5	400	118,3	$5,7 \cdot 10^8$	$5,7 \cdot 10^8$
5	0,6	0,6	400	135,6	$1,3 \cdot 10^9$	$1,0 \cdot 10^9$
6	0,9	0,9	400	215,2	$3,1 \cdot 10^9$	$3,3 \cdot 10^9$
$\bar{h} = h/b = 3$						
7	0,45	0,3	400	61,2	$1,5 \cdot 10^8$	$5,4 \cdot 10^8$
8	0,75	0,5	400	110,9	$7,3 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^9$
9	0,9	0,6	400	131,6	$1,1 \cdot 10^9$	$3,4 \cdot 10^9$

Распределение температур на отрезках *LK*, *KG*, *GF* ( $T_n$ ), конвективная ( $Q_k$ ) и лучистая ( $Q_n$ ) составляющие общей тепловой мощности определялись программой в процессе счета.

Вычислялось также значение критерия Рэлея:

$$Ra = \frac{(2b)^3 g \beta \Delta T_n}{\nu a},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  $\beta$  – коэффициент температурного расширения;  $\nu, a$  – кинематическая вязкость и температуропроводность воздуха;  $\Delta T = T_n - T_\infty$  – раз-



ность средней температуры поверхности источника (вертикальной и горизонтальной) и температуры окружающего воздуха. Значения чисел  $Ra$  определялись для горизонтальной поверхности ( $Ra_H$ ), и для вертикальных поверхностей ( $Ra_B$ ). Во всех случаях  $Ra > 2 \cdot 10^7$ , что согласно [4] свидетельствует о том, что тепловая конвекция – развитая турбулентная.

Решение задач с использованием вычислительного комплекса *Fluent* начинается с построения расчетной области и сетки в препроцессоре *Gambit*. Результаты решения представляются графически и анализируются с помощью постпроцессора *Tecplot*.

В результате решения получены распределения скорости  $u$  и избыточной температуры  $\Delta T$  в исследуемой области.

На рис. 2, 3 представлены типичные картины течений в углублении и в самой струе.

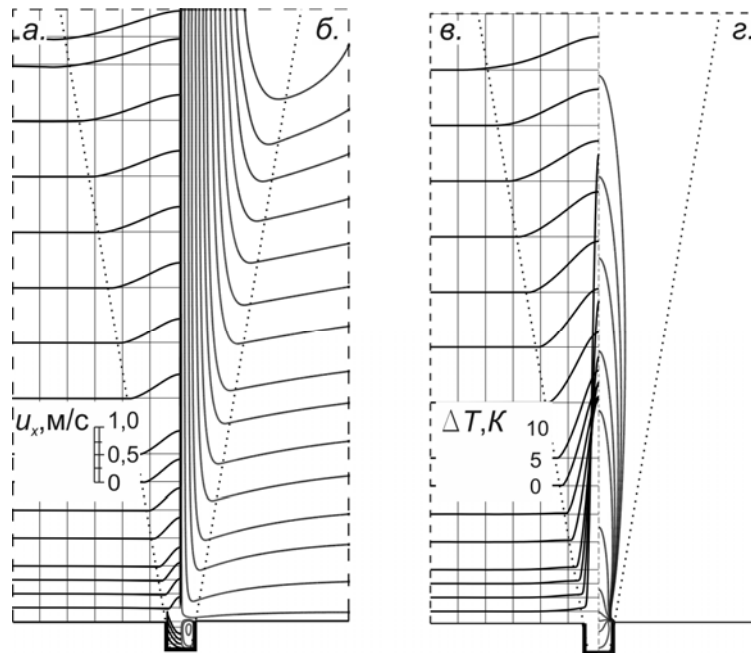


Рис. 2. Картины течения в численном эксперименте №4:  
а – профили продольной компоненты скорости; б – линии тока;  
в – профили избыточной температуры; г – изотермы

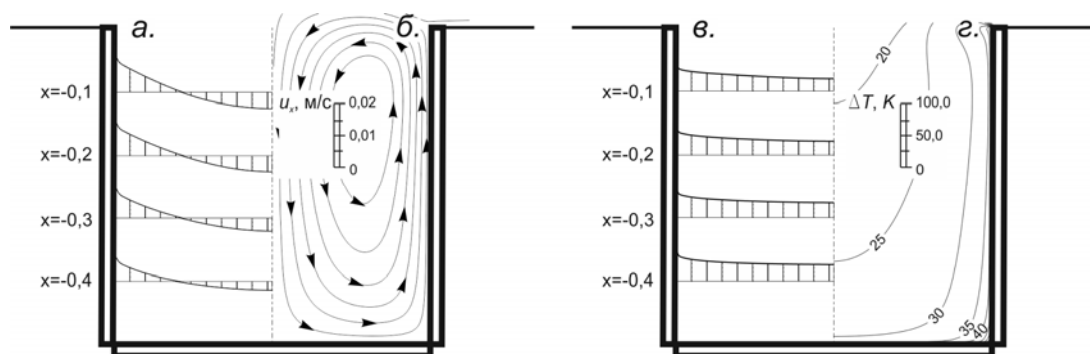


Рис. 3. Картины течения в углублении в численном эксперименте №4:  
а – профили продольной компоненты скорости; б – линии тока;  
в – профили избыточной температуры; г – изотермы

Угол раскрытия динамических границ струи, определенный по профилям продольной скорости, равен  $\alpha_d = 18^\circ$ , тепловые границы струи несколько шире –  $\alpha_T = 20^\circ$ .

Полученные значения осевых скорости  $u_x$ , избыточной температуры  $\Delta T_x$  и расхода воздуха по сечениям струи  $L_x$  сравнивались с расчетами по формулам Шепелева [1], выведенным для случая, когда  $h = 0$  :

$$\bar{u}_x = \frac{u_x}{\sqrt[3]{\frac{gQ_k}{c_p \rho_\infty T_\infty}}} = \sqrt[6]{\frac{1 + \text{Pr}_T}{6 \text{Pr}_T}} \bar{x}^{-1/3} \left[ \text{erf} \left( \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2c}} \frac{1}{\bar{x}} \right) \right]^{1/3}; \quad (1)$$

$$\Delta \bar{T}_x = \frac{\Delta T_x \cdot B}{\sqrt[3]{\frac{T_\infty Q_k^2}{c_p^2 \rho_\infty^2 g}}} = \sqrt[6]{\frac{6 \text{Pr}_T}{1 + \text{Pr}_T}} \cdot \frac{1}{2 \bar{x}^{1/3}} \frac{\text{erf} \left( \frac{\sqrt{1 + \text{Pr}_T}}{\sqrt{2c}} \frac{1}{\bar{x}} \right)}{\left[ \text{erf} \left( \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2c}} \frac{1}{\bar{x}} \right) \right]^{1/3}}; \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \bar{L}_x = \frac{L_x}{\sqrt[3]{\frac{gQ_k}{c_p \rho_\infty T_\infty}} \cdot B} = \sqrt[6]{\frac{1 + \text{Pr}_T}{3\pi \text{Pr}_T}} \sqrt{2\bar{x}}^{1/3} \int_0^\infty \left\{ \text{erf} \left( \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \frac{\bar{y} + 1}{c\bar{x}} \right) - \right. \\ \left. - \text{erf} \left( \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \frac{\bar{y} - 1}{c\bar{x}} \right) \right\}^{1/3} d\bar{y} = 1,107 \bar{x}^{1/3} \int_0^\infty \left\{ \text{erf} \left( \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \frac{\bar{y} + 1}{c\bar{x}} \right) - \right. \\ \left. - \text{erf} \left( \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \frac{\bar{y} - 1}{c\bar{x}} \right) \right\}^{1/3} d\bar{y}. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $c_p$  – теплоемкость воздуха;  $\rho_\infty$  – плотность окружающего воздуха,  $\text{Pr}_T$  – турбулентное число Прандтля (рекомендуемое программой *Fluent* значение  $\text{Pr}_T=0,85$ ),  $c$  – эмпирическая константа, рекомендуемое значение которой  $c=0,082$ ,  $\bar{x} = x/b$ .

На рис. 4 графики распределений  $\bar{u}_x$ , полученные в численных экспериментах, сопоставлены с расчетами по формуле (1). Здесь и далее безразмерное расстояние определялось как  $\bar{x} = x/b + h/b$ , т.е. координата  $x$  отсчитывается от точки  $O$  (рис. 1). Все кривые, полученные в численном эксперименте, на основном участке практически совпадают друг с другом и с расчетом по формуле (1). Протяженность разгонного участка, где скорость возрастает от нуля до указанного выше значения, составляет примерно  $x_p \approx 20b$ .

Распределение скорости в разгонном участке существенно зависит от параметра заглублиения  $\bar{h} = h/b$ . Здесь имеется зона отрицательных скоростей, обусловленная наличием циркуляционных колец в заглублиении. Но, уже начиная с  $\bar{x} \approx 5$ , все кривые сливаются в одну.

Рис. 5 иллюстрирует изменение безразмерной избыточной температуры на оси. Результаты численного эксперимента совпадают с вычислениями по формуле (2) на расстояниях  $\bar{x} > 7$ .

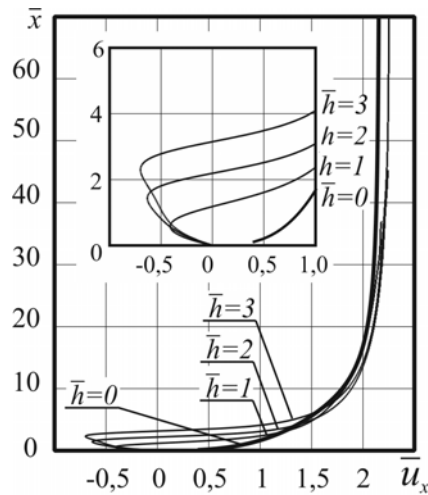


Рис. 4. Безразмерная осевая скорость

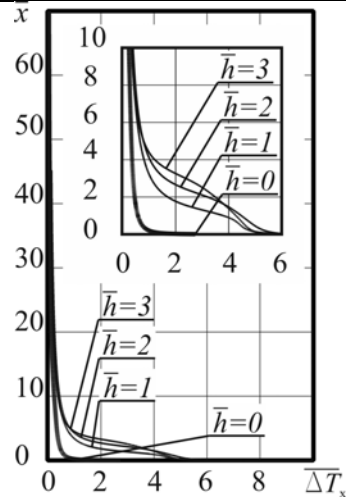


Рис. 5. Безразмерная избыточная температура на оси

В разгонном участке распределение температур также зависит от относительной глубины. С увеличением  $\bar{h}$  температура на поверхности источника возрастает.

На рис. 6 представлены графики изменения  $\bar{L}_x$ . До значения  $\bar{x} \approx 7$  расчеты по формуле (3) и результаты численных экспериментов совпадают. Далее расходятся, полученные в численных экспериментах, становятся больше, чем полученные по формуле (3), и тем больше, чем меньше  $\bar{h}$ .

Имеющиеся результаты позволяют говорить о том, что геометрия источника оказывает существенное влияние только на разгонном участке струи. На основном участке осевые характеристики струи во всех численных экспериментах совпадают друг с другом.

Данные, представленные в статье, могут быть использованы в различных инженерных расчетах (аэрация, местные отсосы, воздушные завесы и др).

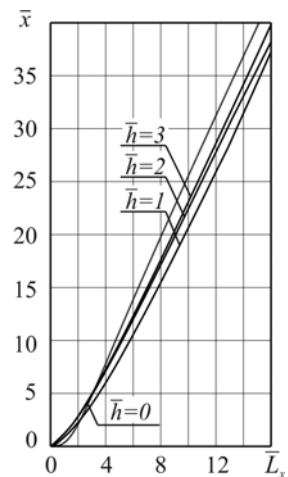


Рис. 6. Безразмерный расход по сечениям струи

#### Список литературы

1. Шепелев, И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении [Текст] / И.А. Шепелев. – М.: Стройиздат, 1978. – 145 с.
2. Гилязов, Д.Г. Исследование влияния высоты заглубления источника тепла на параметры конвективного потока [Текст] / Д.Г. Гилязов // Межвуз. сб. Гидромеханика в отопительно-вентиляционных устройствах. – Казань. – 1982. – С. 34–36.
3. Эльтерман, В.М. Вентиляция химических производств [Текст] / В.М. Эльтерман. – М.: Стройиздат, 1967. – 175 с.
4. Батулин, В.В. Аэрация промышленных зданий [Текст] / В.В. Батулин, В.М. Эльтерман – 2-е изд., исп. и доп. – М.: Госстройиздат, 1963. – 317 с.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Гришин Борис Михайлович**,  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Водоснабжение и водоотведение»  
Тел.: 92-95-08 (11-88), 89063965775  
E-mail: bgrishin@rambler.ru

**Андреев Сергей Юрьевич**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Водоснабжение и водоотведение»  
Тел.: 89022069177

**Бикунова Марина Викторовна**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Водоснабжение и водоотведение»  
Тел.: 92-95-08 (11-88)

**Сафронов Максим Александрович**,  
аспирант кафедры «Водоснабжение и водоотведение»  
Тел.: 92-95-08 (11-88)

**Савицкий Евгений Аркадьевич**,  
ст. преподаватель кафедры  
«Механизация и автоматизация  
строительного производства»

*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Grishin Boris Mikhailovich**,  
Doctor of Science, Professor,  
Head of the department «Water supply and sewerage».  
Tel.: 89063965775  
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

**Andreev Sergey Yuryevich**,  
Doctor of Sciences. Professor of the department  
«Water supply and sewerage»  
Tel.: 89022069177

**Bikunova Marina Viktorovna**,  
Candidate of Sciences,  
Associate Professor of the department  
«Water supply and sewerage»  
Tel.: 92-95-08 (11-88).

**Safronov Maksim Aleksartdrovich**,  
Postgraduate of the department  
«Water supply and sewerage».  
Tel.: 92-95-08 (11-88).

**Savitsky Evgeniy Arcadieievich**,  
The senior lecturer of the department  
«Production Mechanization and automatization»

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОАГУЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД

Б.М. Гришин, С.Ю. Андреев, М.В. Бикунова, М.А. Сафронов, Е.А. Савицкий

Предложен новый способ высокоградиентного перемешивания воды с растворами коагулянтов и воздухом при концентрированном коагулировании, позволяющий получить значительную экономию реагентов при обеспечении высокого эффекта очистки воды.

*Ключевые слова: очистка воды, концентрированное коагулирование, высокоградиентное перемешивание.*

## METHODS OF NATURAL WATERS COAGULATION TREATMENT PERFECTION

B.M. Grishin, S.Yu. Andreev, M.V. Bikunova, M.A. Safronov, E.A. Savitsky

A new method of high gradient water agitation with coagulant solutions and air at concentrated coagulation is suggested. The given manner allows to receive considerable reagents economy with high water purification effect.

*Keywords: water purification, concentrated coagulation, high gradient agitation.*

Интенсивность перемешивания воды с растворами реагентов оказывает сильное влияние на скорость протекания процессов очистки и обеззараживания воды, на величину оптимальных доз реагентов, используемых на водопроводных очистных сооружениях (ВОС). Соблюдение требуемых условий перемешивания воды особенно

важно при очистке воды коагулянтами, так как режим перемешивания воды фиксирует скорость распределения раствора коагулянта в объеме обрабатываемой воды, кинетику хлопьеобразования и технологические свойства сформированных хлопьев коагулированной взвеси.

В смесителях водоочистных станций, где осуществляется режим быстрого перемешивания, закладываются основы направленного коагуляционного структурообразования: создается определенная численная концентрация зародышевых агрегатов (микрохлопьев), регулируется плотность упаковки первичных астабилизированных частиц загрязнений и продуктов гидролиза коагулянта (ПГК). В камерах хлопьеобразования при значительно меньшей интенсивности перемешивания осуществляется дальнейшее увеличение коагуляционных структур до размеров, диктуемых условиями отделения их в осадок, и регулируется плотность упаковки микрохлопьев [1].

Изменение исходных условий создания хлопьев и режима смешения воды с раствором коагулянта накладывает весьма существенный отпечаток на оптимальный режим работы очистных сооружений.

Для оценки эффективности действия смесителей обычно используют среднее значение градиента скорости  $G$  ( $\text{с}^{-1}$ ), созданного при перемешивании воды, которая для гидравлических перемешивающих устройств, работающих в напорном режиме, является функцией потерь давления  $\Delta p$ , расхода воды  $Q$  через смеситель, объема смесителя  $V_c$ , а также реологических свойств смеси.

Для гидравлических смесителей рекомендуются значения  $G$ , которые находятся в диапазоне от  $1,2 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1}$  до  $3,0 \cdot 10^2 \text{ с}^{-1}$  [2]. Такая незначительная интенсивность перемешивания воды в смесителях может привести к медленному и неравномерному растворению коагулянта и продуктов его гидролиза в объеме воды и на поверхности частиц загрязнений, к образованию рыхлых, хотя и достаточно крупных микрохлопьев, а также к повышенному расходу коагулянта. Поэтому важной теоретической задачей является установление зависимостей между значениями  $G$  и дозами коагулянта, требуемыми для образования прочных коагуляционных структур.

На основе цепочно-ячеистой модели построения и деформации коагуляционной структуры Е.Д. Бабенковым в работах [1,3,4] была предпринята попытка количественной оценки влияния величины  $G$  на физические параметры коагулированной взвеси. Согласно этой модели сначала в перемешиваемой воде возникают цепочные агрегаты первичных частиц продуктов гидролиза коагулянта (ПГК) (рис. 1, а), длина  $l$  которых определяется, с одной стороны, силами взаимодействия частиц (предположительно – дипольным моментом), а с другой – градиентом скорости. Затем цепочные агрегаты адсорбируются на поверхности частиц загрязнений диаметром  $D$  (рис. 1, б), которые, в свою очередь, контактируя друг с другом через слои ПГК, образуют цепочно-ячеистую коагуляционную структуру (рис. 1, в) или микрохлопок.

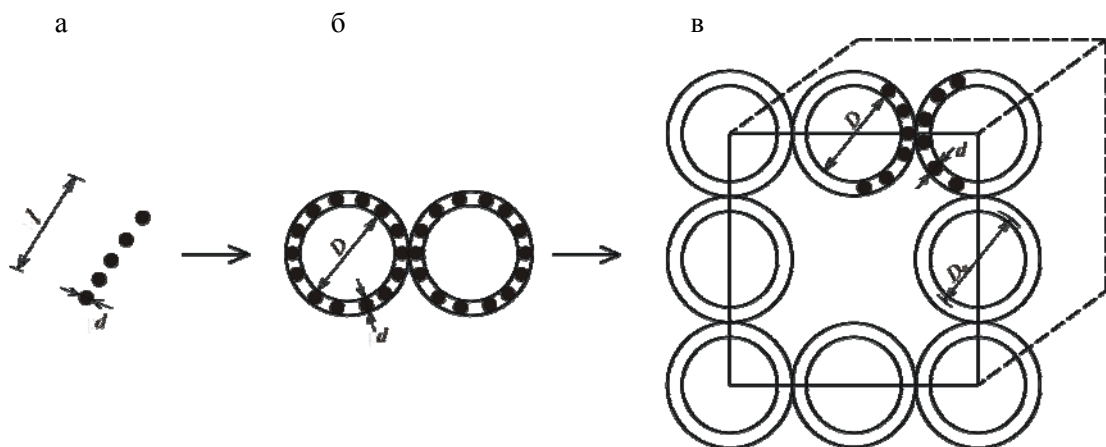


Рис. 1. Схема построения ячеисто-цепочной коагуляционной структуры: а – цепочный агрегат первичных частиц; б – контактное взаимодействие двух частиц примесей; в – коагуляционная структура (микрохлопок)

Удельная объемная доза коагулянта  $\alpha_V$ , требующаяся для взаимной фиксации частиц загрязнений, равна произведению числа частиц ПГК, участвующих в контакте, на объем одной такой частицы и, следовательно, прямо пропорциональна  $d$ :

$$\alpha_V = \frac{4 \cdot \Theta_m \cdot \pi \cdot D^2}{\pi \cdot d^2} \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{6}, \quad (1)$$

где  $\Theta_m$  – требуемая степень покрытия поверхности частиц загрязнений ПГК;  $D, d$  – соответственно диаметры частиц примесей и ПГК.

Величина силы контакта между частицами примесей и ПГК обратно пропорциональна величине  $d$  [1]. Таким образом, при одних и тех же дисперсности частиц загрязнений и степени покрытия их поверхности ПГК, чем мельче частицы ПГК, тем прочнее коагуляционная структура и меньше требуется коагулянта. Более интенсивное перемешивание увеличивает вероятность сорбции на поверхности частиц загрязнений мелких (зародышевых) частиц ПГК, что, согласно выражению (1), приводит к экономии коагулянта при одновременном увеличении прочности связи частиц в микрохлопьях.

Умножая правую и левую части уравнения (1) на  $N_q$  и  $\rho_q$ , где  $N_q$  и  $\rho_q$  – соответственно общее количество и плотность частиц загрязнений в единице объема воды, а также допуская, что плотность частиц ПГК  $\rho_k \approx \rho_q$ , и учитывая, что объем частицы загрязнения  $V_q = \frac{\pi \cdot D^3}{6}$ , получим выражение для определения весовой дозы коагулянта (мг/л), необходимой для удаления загрязнений из воды:

$$D_k = \frac{4 \cdot \Theta_m \cdot V_q \cdot \rho_q \cdot N_q \cdot d}{D} = 4 \cdot \Theta_m \cdot c \cdot \frac{d}{D}, \quad (2)$$

где  $c$  – весовая концентрация примесей в воде, мг/л.

Из формулы (2) следует, что при постоянных значениях  $c, d$  и  $D$  дозу коагулянта можно снизить за счет уменьшения требуемой степени покрытия поверхности частиц загрязнений ПГК. Это условие обеспечивается при перемешивании раствора коагулянта с водой в присутствии пузырьков воздуха. Пузырьки воздуха за счет электростатических сил взаимодействия притягивают частицы, занимая для контакта часть их поверхности (рис. 2). Кроме того, притяжение пузырька и частицы загрязнений может происходить за счет сил поверхностного натяжения при их контакте.

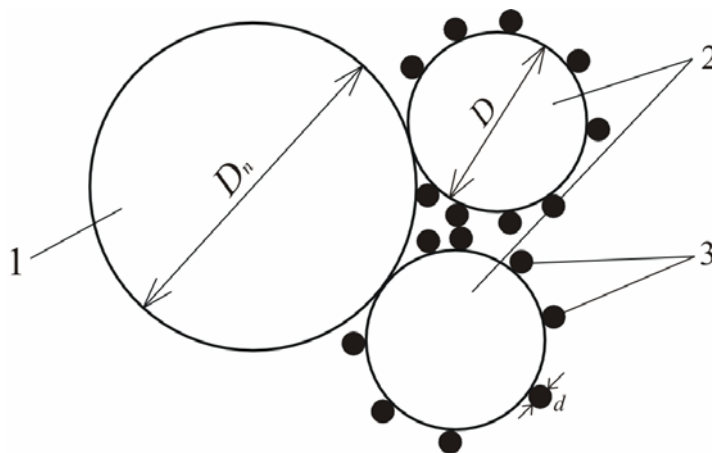


Рис. 2. Схема взаимодействия скоагулированных частиц примесей с пузырьком воздуха:  
1 – пузырек воздуха; 2 – частицы примесей; 3 – ПГК

Требуемая степень покрытия ПГК поверхности частиц загрязнений в этом случае будет определяться из выражения

$$\Theta_{\text{тп}} = \frac{\Theta_{\text{т}}}{\Pi_{\text{к}}}, \quad (3)$$

где  $\Pi_{\text{к}}$  – безразмерный параметр ( $\Pi_{\text{к}} > 1$ ), зависящий от удельной поверхности  $S_{\text{п}}$  пузырьков воздуха в единичном объеме обрабатываемой воды;

$$\Pi_{\text{к}} = k_{\text{с}} \cdot S_{\text{п}}^m, \quad (4)$$

где  $m$  – показатель степени;  $k_{\text{с}}$  – коэффициент пропорциональности.

По результатам опытов [5], показатель степени  $m$  может варьироваться от 0,5 до 1,0.

При газонасыщении воды  $\varphi$ , а также известных значениях среднего диаметра пузырьков  $d_{\text{п}}$  количество пузырьков в единице объема смесителя, шт/м<sup>3</sup>, будет равно:

$$N_{\text{п}} = \frac{1 \cdot \varphi \cdot 6}{\pi \cdot d_{\text{п}}^3}. \quad (5)$$

Общую площадь поверхности пузырьков воздуха, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, в единичном объеме смесителя можно определить по соотношению:

$$S_{\text{п}} = S_{\text{1п}} \cdot N_{\text{п}}, \quad (6)$$

где  $S_{\text{1п}} = \pi \cdot d_{\text{п}}^2$  – площадь поверхности одного пузырька, м<sup>2</sup>.

Подставляя уравнение (5) в уравнение (6), получим новое выражение для удельной поверхности пузырьков, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>:

$$S_{\text{п}} = \frac{6\varphi}{d_{\text{п}}}. \quad (7)$$

Следовательно, значение параметра  $\Pi_{\text{к}}$  в формуле (4) прямо пропорционально воздухомыщению обрабатываемой воды и обратно пропорционально среднему диаметру пузырьков воздуха.

Уменьшение диаметра пузырьков в водовоздушной смеси происходит за счет турбулентных пульсаций потока, возникающих при перемешивании.

В практических расчетах для определения  $d_{\text{п}}$  может быть рекомендована следующая формула [6]:

$$d_{\text{п}} = k_{\lambda} \left( \frac{\sigma}{\rho} \right)^{0,6} \cdot \varepsilon_0^{-0,4}, \quad (8)$$

где  $k_{\lambda}$  – коэффициент,  $k_{\lambda} = 0,40 - 0,43$ ;  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения неискривленной поверхности раздела фаз газ – жидкость, Н/м;  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon_0$  – среднее значение мощности, рассеиваемой в единице массы перемешиваемой среды, Вт/кг.

Используя формулу для определения градиента скорости

$$G = \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\nu_{\text{с}}}}, \quad (9)$$

где  $\nu_{\text{с}}$  – кинематический коэффициент вязкости водовоздушной смеси, м<sup>2</sup>/с, получим в окончательном виде выражение для определения диаметра пузырька воздуха:

$$d_{\text{п}} = k_{\lambda} \left( \frac{\sigma}{\rho} \right)^{0,6} \cdot (G^2 \nu_{\text{с}})^{-0,4}. \quad (10)$$

С учетом выражений (7) и (10) выражение для определения параметра  $\Pi_k$  по формуле (4) можно записать в виде

$$\Pi_k = k_s \cdot S_{\Pi}^m = k_s \left[ \frac{6 \cdot \varphi \cdot (G^2 \cdot v_c)^{0,4}}{k_\lambda (\sigma / \rho)^{0,6}} \right]^m. \quad (11)$$

Внося в формулу (2) вместо  $\Theta_T$  величину  $\Theta_{\text{тп}}$ , определяемую по формуле (3), с учетом формулы (11), получим следующее выражение для определения дозы коагулянта, мг/л:

$$D_k = \frac{4 \cdot \Theta_{\text{тп}} \cdot c \cdot d}{D \cdot k_s} \left[ \frac{6 \cdot \varphi \cdot (G^2 \cdot v_c)^{0,4}}{k_\lambda \cdot (\sigma / \rho)^{0,6}} \right]^{-m}. \quad (12)$$

Таким образом, доза коагулянта, введенного в смеситель с добавлением воздуха при постоянных значениях  $c$ ,  $d$  и  $D$ , будет обратно пропорциональна газонасыщению водовоздушной смеси  $\varphi$  в степени  $m$  и градиенту скорости перемешивания  $G$  в степени  $0,8 m$ .

Высокая степень газонасыщения воды с минимальными энергозатратами может быть обеспечена при использовании концентрированного коагулирования, когда сжатый воздух подается во вспомогательный поток, обработанный одним или несколькими коагулянтами. Кроме того, на трубопроводе вспомогательного потока более удобно организовать условия для интенсивного перемешивания водовоздушной смеси с растворами коагулянтов.

На основании анализа теоретических исследований процессов коагуляции воды авторами предложен новый способ с применением высокоградиентного перемешивания вспомогательного потока воды с растворами реагентов – сульфата алюминия (СА), полиоксихлорида алюминия (ПОХА) – и сжатым воздухом при концентрированном коагулировании. Предложенный способ реализуется по следующей схеме (рис. 3) [7].

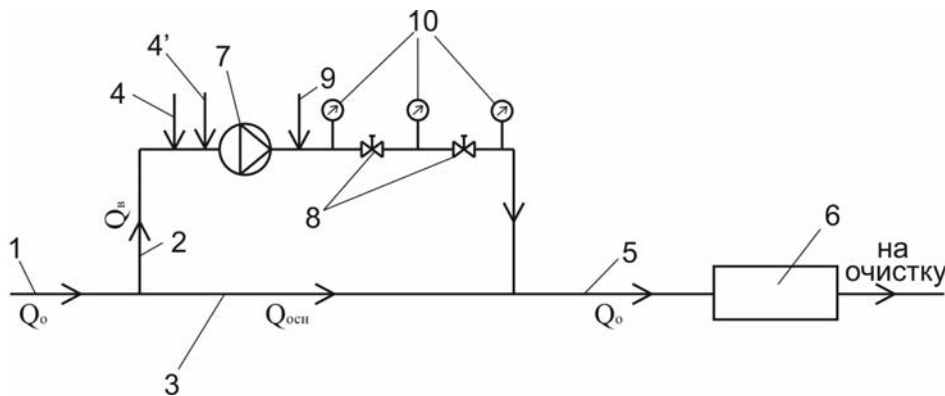


Рис. 3. Схема обработки воды по способу высокоградиентного перемешивания при концентрированном коагулировании:

- 1 – подача воды; 2 – отвод части воды на реагентную обработку (вспомогательный поток);
- 3 – основной поток; 4, 4' – подача коагулянтов ПОХА и СА; 5 – отвод общего потока;
- 6 – камера хлопьеобразования; 7 – центробежный насос; 8 – дроссельное устройство;
- 9 – подача сжатого воздуха; 10 – манометры

Вспомогательный поток очищаемой воды (с расходом  $Q_v$ ) подается во всасывающий патрубок повысительного центробежного насоса 7 и с требуемым давлением пропускается через дроссельные устройства 8. Степени закрытия дроссельных устройств подбираются таким образом, чтобы перепад давлений  $\Delta p_d$  перед и за каждым устройством при заданном расходе  $Q_v$  соответствовал расчетному перепаду



$\Delta p$ , позволяющему получать высокие значения градиента скорости  $G$  в определенных пределах. Растворы коагулянтов СА и ПОХА подаются во всасывающий патрубок насоса 7, а сжатый воздух с заданным расходом – непосредственно перед одним или несколькими дроссельными устройствами, где осуществляется диспергация пузырьков воздуха до размеров 300–500 мкм. Образующаяся высокодисперсная система «вода – воздух» обладает высокой удельной поверхностью, а пузырьки воздуха становятся дополнительными центрами коагуляции гетерофазных загрязнений природных вод. Кроме того, аэрирование ускоряет процесс десорбции углекислоты, образующейся вследствие гидролиза коагулянта.

Таким образом, за счет суммарного воздействия нескольких факторов (быстрого и полного смешения коагулянта с водой, создания высокодисперсной водовоздушной смеси, концентрированного коагулирования) в предлагаемом смесительном узле создаются благоприятные условия для проведения эффективной последующей очистки природных вод на сооружениях различного типа.

Поскольку повысительный насос является достаточно энергоемким устройством, процентное отношение расхода вспомогательного потока в предлагаемом способе к общему расходу очищаемой воды не превышает значений  $\Pi_y=3...5\%$ , а требуемое давление, развиваемое повысительным насосом, задается на 10–15 % выше значения суммарного перепада давлений на дросселях  $\Delta p_d$ , что позволяет минимизировать энергопотребление при перекачивании вспомогательного потока.

Для экспериментального подтверждения теоретических положений, касающихся разработки реагентосберегающей технологии очистки воды при совместном использовании коагулянтов СА и ПОХА были проведены лабораторные исследования на ВОС г. Пензы в различные периоды года.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что наиболее значимое снижение загрязнений в процессе водоочистки имеет место при относительном объемном воздухомыщении вспомогательного потока воды в пределах от 0,08 до 0,12, а также перемешивании данного потока с коагулянтами в две ступени с градиентами скорости  $G_1=3,2 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$  и  $G_2=1,0 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ . Диаграммы остаточной мутности воды, обработанной предлагаемым способом для летнего и осенне-зимнего периодов, показаны на рис. 4 и 5.

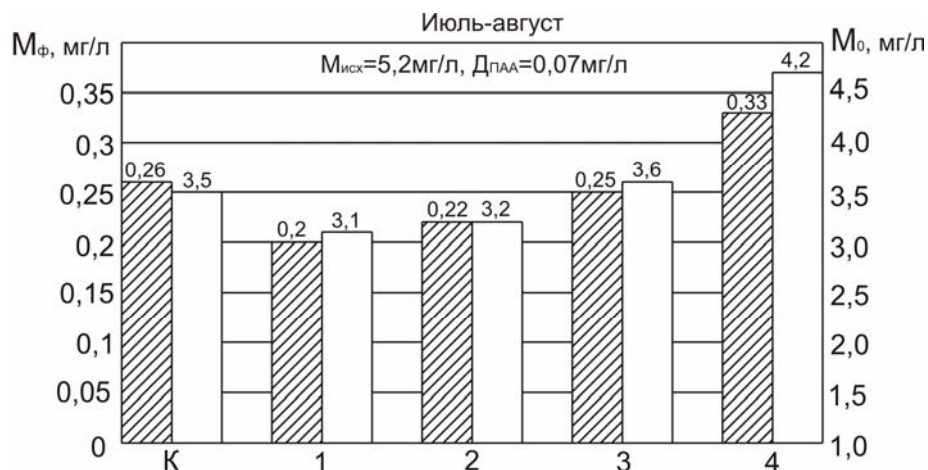


Рис. 4. Диаграммы остаточной мутности воды после отстаивания и фильтрации при двухступенчатом перемешивании вспомогательного объема воды с воздухом ( $\varphi=0,1$ ) и СА с дозой 7,0 мг/л для значений  $\Pi_y$ :

1 – 7%; 2 – 5%; 3 – 3%; 4 – 1%;

К – контрольная проба, обработанная СА с дозой  $D_k=10,0$  мг/л:

▨ – фильтрат (левая шкала); □ – вода после отстаивания (правая шкала)

Показано, что применение способа концентрированного коагулирования с рекомендуемыми параметрами воздухом насыщения и перемешивания вспомогательного объема (потока) воды при значениях  $\Pi_y=3\%$  позволяет снизить дозы СА в летний и осенне-зимний периоды по сравнению с традиционным методом коагуляционной обработки всего объема очищаемой воды на 25–30 % при обеспечении требуемого по санитарным нормам качества очищенной водопроводной воды.

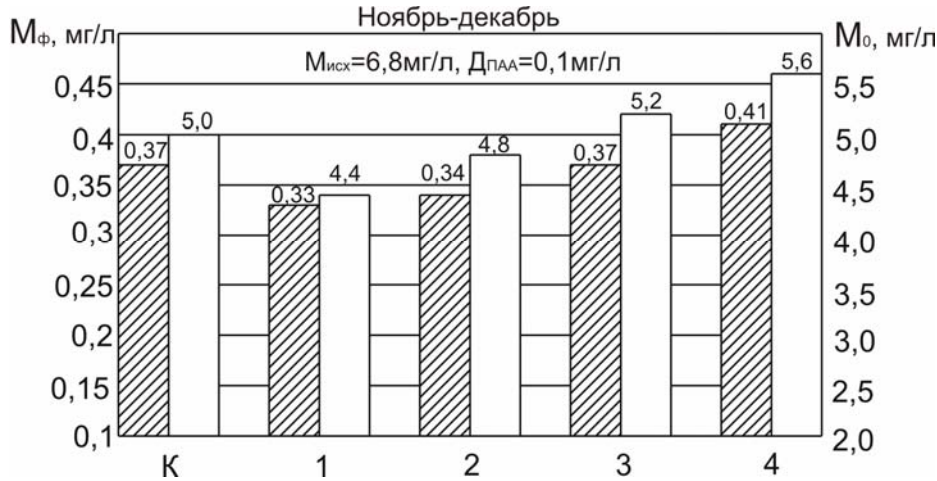


Рис. 5. Диаграммы остаточной мутности воды после отстаивания и фильтрации при двухступенчатом перемешивании вспомогательного объема воды с воздухом ( $\varphi=0,1$ ) и СА с дозой 10,0 мг/л для значений  $\Pi_y$ :

1 – 7 %; 2 – 5 %; 3 – 3 %; 4 – 1 %;

К – контрольная проба, обработанная СА с дозой  $D_k=15,0$  мг/л:

▨ – фильтрат (левая шкала); □ – вода после отстаивания (правая шкала)

Установлено, что минимальная величина  $\Pi_y$  должна определяться, исходя из условия нахождения рН вспомогательного объема воды после введения в него коагулянтов с расчетными дозами, отнесенными к общему объему очищаемой воды, в области значений не ниже 3,8–3,9 для эффективного осуществления последующих процессов хлопьеобразования и водоочистки.

Экспериментально доказано, что в период паводка наиболее значимое снижение весовых расходов реагентов (до 30 %) достигается совместным использованием СА с содержанием  $Al_2O_3$  16 % и ПОХА «АКВА-АУРАТ™ 30», с содержанием  $Al_2O_3$  30 %, при этом соотношения расходов СА и ПОХА должны быть в пределах 6:1 – 7:1.

В ходе проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Получены теоретические зависимости, показывающие, что доза коагулянта, введенного в смеситель при одновременной аэрации воды, пропорциональна концентрации гетерофазных примесей и обратно пропорциональна среднему размеру частиц загрязнений, газонасыщению полученной водовоздушной смеси и градиенту скорости перемешивания.

2. На основании теоретических исследований предложен реагентосберегающий способ высокоградиентного перемешивания вспомогательного потока воды с растворами коагулянтов и сжатым воздухом при концентрированном коагулировании.

3. Экспериментально подтверждено, что использование сжатого воздуха при ступенчатом высокоградиентном концентрированном коагулировании позволяет повысить эффективность последующей очистки воды поверхностного источника. Наиболее значимое снижение загрязнений в процессе водоочистки имеет место при относительном объемном воздухом насыщении вспомогательного объема воды в пределах от 0,08 до 0,12, а также перемешивании данного объема с коагулянтами в две ступени с градиентами скорости  $G_1=3,2 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$  и  $G_2=1,0 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ .

4. Установлено, что применение способа концентрированного коагулирования с рекомендуемыми параметрами воздухонасыщения и перемешивания вспомогательного объема (потока) воды позволяет снизить дозы СА в летний и осенне-зимний периоды по сравнению с традиционным методом коагуляционной обработки всего объема очищаемой воды на 25–30 %. В период паводка наиболее значимое снижение весовых расходов реагентов (порядка 30 %) достигается совместным использованием СА и ПОХА «АКВА-АУРАТ™ 30», при этом соотношения расходов СА и ПОХА должны быть в пределах 6:1 – 7:1.

#### Список литературы

1. Бабенков, Е.Д. Режим перемешивания воды в процессах водоподготовки [Текст] / Е.Д. Бабенков // Химия и технология воды. – 1984. – Т. 2. – № 3.
2. Драгинский, В.А. Коагуляция в технологии очистки природных и сточных вод [Текст] / В.А. Драгинский, Л.П. Алексеева, С.В. Гетманцев. – М., 2005. – 576 с.
3. Бабенков, Е.Д. Влияние перемешивания воды на физические параметры коагулированной взвеси [Текст] / Е.Д. Бабенков // Химия и технология воды. – 1980. – Т. 2. – № 5.
4. Бабенков, Е.Д. Влияние степени дисперсности примесей на физические параметры коагулированной взвеси [Текст] / Е.Д. Бабенков // Химия и технология воды. – 1983. – Т. 5. – № 1.
5. O'Melia C.R., Stumm W. Agregation of silica dispersions by iron (III). – J. Colloid and Interface Sci., 1967, 23 N 3, p. 437–447.
6. Гришин, Л.Б. Совершенствование очистки нефтесодержащих производственных сточных вод [Текст]: дис.... канд. техн. наук / Л.Б. Гришин. – Пенза: ПГУАС, 2009. – 144 с.
7. Гришин, Б.М. Экспериментальные исследования очистки воды Сурского водохранилища с использованием алюмосодержащих коагулянтов [Текст] / Б.М. Гришин [и др.] // Водоочистка. – 2010. – №7. – С. 23–30.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Андреев Сергей Юрьевич**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Водоснабжение и водоотведение»

**Гришин Борис Михайлович**,  
доктор технических наук, профессор, зав.  
кафедрой «Водоснабжение и  
водоотведение»  
Тел.: 92-95-08 (11-88), 89063965775  
E-mail: bgrishin@rambler.ru

**Алексеева Татьяна Викторовна**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Водоснабжение и  
водоотведение»  
Тел.: 92-95-08 (11-88)

**Ширшин Игорь Борисович**,  
аспирант кафедры  
«Водоснабжение и водоотведение»

*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Andreev Sergey Yuryevich**,  
Doctor of Sciences. Professor of the department  
«Water supply and sewerage»

**Grishin Boris Mikhailovich**,  
Doctor of Sciences, Professor of the department  
«Water supply and sewerage»  
Tel.: 89063965775  
E-mail: bgrishin@rambler.ru

**Alekseeva Tatyana Viktorovna**,  
Candidate of Sciences,  
Associate Professor of the department  
«Water supply and sewerage»  
Tel.: 92-95-08 (11-88).

**Shirshin Igor Borisovich**,  
Postgraduate of the department  
«Water supply and sewerage»

## НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БЕЗРЕАГЕНТНОЙ ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, СОДЕРЖАЩИХ НЕФТЕПРОДУКТЫ

С.Ю. Андреев, Б.М.Гришин, Т.В.Алексеева, И.Б.Ширшин

Приведены результаты промышленного внедрения новой технологии безреагентной флотационной очистки сточных вод ТЭЦ, предусматривающей использование электрогидродинамических устройств для получения тонкодисперсной водовоздушной смеси. Внедрение предложенной технологии позволило увеличить эффективность безреагентной флотационной очистки в 1,5–1,9 раза.

*Ключевые слова: сточные воды, флотационная очистка, водовоздушная смесь, электрогидродинамическое устройство, флотокомплекс.*

## NEW TECHNOLOGY OF REAGENTLESS FLOATATION TREATMENT OF WASTE WATER CONTAINING OIL PRODUCTS

S.Y. Andreev, B.M. Grishin, T.V. Aleksejeva, I.B. Shirshin

The authors give the results of industrial use of new technology of reagentless floatation treatment on a HEC which provide the use of electric hydrodynamic device for getting thin dispersed air mixture. The use of this technology allows to rise reagentless floatation treatment effectiveness on 1,5–1,9 times.

*Keywords: waste water, floatation treatment, air mixture, electric hydrodynamic device.*

Современные теплоэлектроцентрали являются одним из крупнейших источников сточных вод, сбрасываемых в открытые водоемы. Так, в настоящее время годовой объем сточных вод, образующихся на теплоэлектроцентралях в нашей стране, достигает 1,2 км<sup>3</sup>/год, что составляет 8,5 % общего объема сточных вод, отводимых с ее территории. При ежегодно возрастающих объемах сточных вод общей тенденцией в промышленно развитых странах мира стало ужесточение требований к качеству их очистки. Принятие более строгих экологических норм в нашей стране проходит на фоне ограниченных финансовых возможностей промышленных предприятий, обу-

словленных экономической ситуацией. В этой связи возникает острая необходимость в применении принципиально новых технологических и конструктивных решений в области очистки сточных вод.

Флотационный процесс очистки основан на способности содержащихся в сточных водах гидрофобных частиц прилипать к границе раздела фаз (жидкость-газ). Граница раздела фаз (водяная пленка) создается при насыщении обрабатываемой жидкости пузырьками газа.

Пузырьки газа при всплывании сталкиваются с дисперсными частицами, в результате чего происходит их прилипание к поверхности пузырька (образование флотокомплекса). Флотокомплексы (дисперсная частица – пузырек) поднимаются на поверхность жидкости и создают пенный слой, в котором и происходит концентрирование дисперсной фазы.

Образование флотокомплекса сопровождается уменьшением свободной энергии системы. Для единицы площади контакта избыток свободной энергии, Дж/м<sup>2</sup>,

$$W_y = \sigma_{ж-г} (1 - \cos \theta), \quad (1)$$

где  $\sigma_{ж-г}$  – коэффициент поверхностного натяжения на границе жидкость-газ, Дж/м<sup>2</sup>;  $\theta$  – краевой угол смачивания поверхности «флотируемая частица – жидкость» [град].

Величину  $(1 - \cos \theta)$  называют мерой флотируемости частиц. Флотируются только частицы, имеющие гидрофобную поверхность ( $\theta > 90^\circ$ ;  $1 - \cos \theta > 1$ ). Капельки нефтепродуктов в сточных водах имеют ярко выраженную гидрофобную поверхность и поэтому хорошо флотируются.

Эффективность флотационного процесса, наряду со свойствами поверхности флотируемых частиц, определяется также величиной удельной поверхности диспергированной газовой фазы  $S_y$  (м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>) и показателем эффективности захвата всплывающим пузырьком флотируемой частицы – коэффициентом захвата  $E$ .

Удельная поверхность является одной из важнейших характеристик газовой дисперсии, позволяющей судить об избыточной энергии дисперсной системы  $\Delta W = W_y \cdot S_y$ , Дж/м<sup>2</sup>. Ее величина, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, для дисперсной системы газовых пузырьков, имеющих строго сферическую форму диаметром  $d_n \leq 0,8$  мм, может быть определена по формуле:

$$S_y = 6 \frac{\phi}{d_n}, \quad (2)$$

где  $\phi$  – коэффициент газонаполнения флотационного объема, м<sup>3</sup>,

$$\phi = \frac{W_r}{W_\phi} = \frac{W_r}{W_\phi + W_r}, \quad (3)$$

где  $W_\phi$  – объем флотационного бассейна, м<sup>3</sup>;  $W_r$  и  $W_\phi$  – объем газовой и жидкой фазы.

Согласно современным теоретическим моделям процесса флотации эффективность захвата дисперсной частицы  $E$  всплывающим пузырьком воздуха прямо пропорциональна отношению квадратов радиусов дисперсной частицы и пузырька воздуха.

Поскольку размер капелек частиц дисперсной нефтяной эмульсии в нефтесодержащих сточных водах колеблется в пределах  $r_c = 50 \dots 70$  мкм, то процесс безреагентной флотации будет эффективен лишь при дисперсности пузырьков газа  $R_0 = 60 \dots 85$  мкм.

Среди методов получения пузырьков достаточно малого размера в настоящее время наиболее широко используется метод напорной флотации (выделение газа из пересыщенного раствора жидкости), который предусматривает насыщение сточных вод воздухом под избыточным давлением и выделение из сточных вод тонкодисперсных пузырьков воздуха после сброса давления.

На первом этапе после сброса давления в жидкости образуются зародышевые пузырьки газа, размер которых равен:

$$R_{з.п} = \frac{2\sigma_{жг}}{p_1 - p_2}, \quad (4)$$

где  $p_1$  и  $p_2$  – соответственно давления до и после дросселирующего устройства, Па.

Во второй фазе происходит выделение растворенного газа, объем которого тем больше, чем выше пересыщение жидкости газом. При пересыщении в 200 % средний размер образующихся пузырьков воздуха составляет  $d_n=45$  мкм, коэффициент газонаполнения при этом составляет  $\varphi=0,035$ ; при пересыщении 400 % –  $d_n=75$  мкм;  $\varphi=0,07$ ; при пересыщении 800 % –  $d_n=110$  мкм,  $\varphi=0,14$ .

Опыт эксплуатации очистных сооружений нефтесодержащих сточных вод ТЭЦ показал, что эффективность метода безреагентной напорной флотации  $\eta_\phi$  не может быть увеличена путем повышения степени пересыщения очищаемого потока воздухом за счет увеличения давления в сатураторе (рис.1).

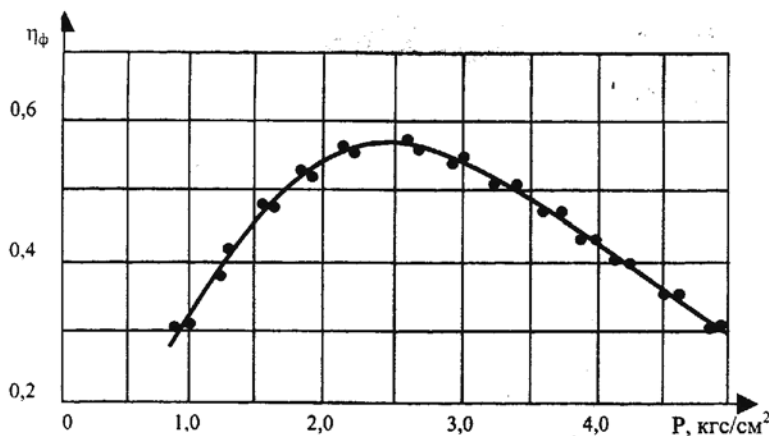


Рис. 1. Зависимость эффективности нефтесодержащих сточных вод методом безреагентной напорной флотации от давления в сатураторе

#### Промышленное внедрение

Сотрудниками кафедры водоснабжения и водоотведения Пензенского государственного университета архитектуры и строительства была разработана новая технология приготовления высокодиспергированной водовоздушной смеси, положенная в основу схемы реконструкции участка очистки нефтесодержащих стоков ТЭЦ г.Пензы.

До реконструкции на участке очистки нефтесодержащих сточных вод ТЭЦ была реализована прямоточная схема напорной флотационной очистки с насыщением воздухом всего расхода сточных вод (рис.2,а) производительностью  $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Нефтесодержащие сточные воды забираются насосом 1 из накопительного резервуара и под давлением подаются в напорный бак 3. Сточные воды насыщаются воздухом за чет эжектора 2, устанавливаемого на линии, соединяющей напорный и всасывающий патрубки насоса. Полученная газожидкостная смесь сжимается в насосе и подается в напорный резервуар (сатуратор) 3, где в течение 5 мин происходит растворение воздуха. Насыщенные воздухом сточные воды пропускаются через дросселирующее устройство 4 для понижения давления и далее поступают во флотатор 5, где образуются пузырьки воздуха, которые, проходя через слой сточных вод, транспортируют вверх частицы нефтепродуктов. Очищенные на флотаторе сточные воды подаются на глубокую доочистку в механический фильтр и фильтр с активированным углем.

Новая схема флотационной очистки включала в себя: приемный резервуар, насос, эжектор, устанавливаемый на напорной линии, электрогидродинамическое устройство 7, камеру с коалесцирующей загрузкой 9, классификатор фракций водовоздушной смеси 10, флотатор 5. Основным элементом новой схемы являлось электрогидродинамическое устройство (ЭГДУ).

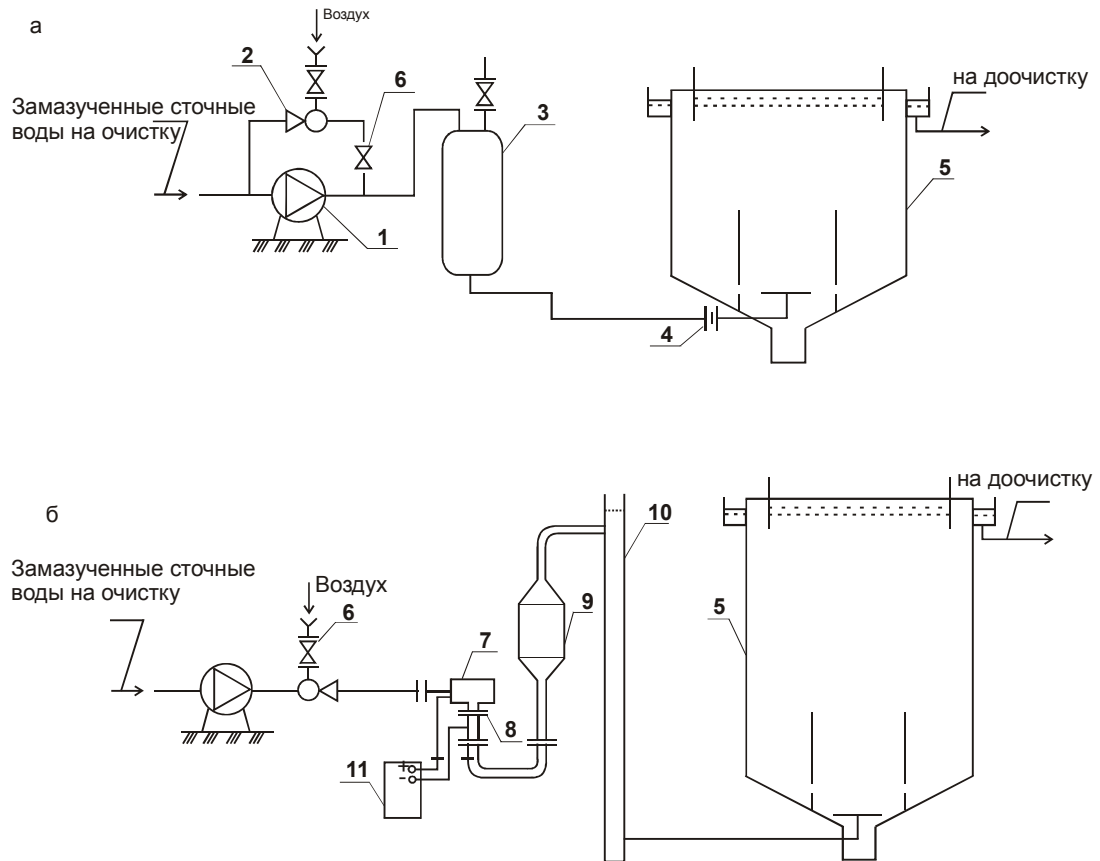


Рис.2. Реконструкция участка очистки замазученных сточных вод ТЭЦ-1:  
а – до реконструкции; б – после реконструкции

Общий вид электрогидродинамического устройства (ЭГДУ) и камеры с коалесцирующей загрузкой представлен на рис.3.



Рис.3. Общий вид ЭГДУ и камеры с коалесцирующей загрузкой

Новая схема предусматривает установку эжектора на линии, транспортирующей основной расход сточных вод. Газонаполнение водовоздушной смеси после эжектора составляло  $\varphi = 0,5 \dots 0,6$ .

В электрогидродинамическом устройстве под действием высокоградиентных турбулентных пульсаций и неоднородного электрического поля происходило диспергирование водовоздушной эмульсии и образование устойчивых воздушных пузырьков диаметром 50–200 мкм. При пропускании через камеру с коалесцирующей загрузкой пузырьки воздуха сохраняли свои размеры. В качестве коалесцирующей загрузки использовались кольца Рашига диаметром 50 мм. В межпоровом пространстве коалесцирующей загрузки протекали гидродинамические процессы, сопровождающиеся возникновением высокоградиентных пульсаций скорости потока, и процессы адгезии – накопления на поверхности загрузки нефтепродуктов с образованием пленки, которая затем отрывалась с образованием крупных капель, участвующих в процессах последующей гетерокоагуляции.

Отделение пузырьков воздуха, имеющих диаметр более 100 мкм, осуществлялось в классификаторе фракций, после чего высокодисперсная газожидкостная смесь ( $d_n = 40 \dots 100$  мкм;  $\varphi = 0,08 \dots 0,12$ ) подавалась на флотатор.

Реализация новой технологии на участке очистки нефтесодержащих стоков ТЭЦ позволила получить следующие результаты:

1. Получена однородная мелкодисперсная смесь, содержащая пузырьки воздуха диаметром 40–100 мкм.
2. Эффективность флотационного отделения нефтепродуктов из нефтесодержащих сточных вод увеличилась с 40–45 % до 65–77 %.
3. Коэффициент газонаполнения во флотационном объеме увеличился с 2,2–3,7 % до 8–12 %.
4. При повышении степени очистки нефтепродуктов на флотаторе продолжительность фильтроцикла доочистки сточных вод на угольном адсорбере увеличена в 2,0–2,5 раза при неизменном качестве фильтрата.
5. Предложенная технология очистки сточных вод рекомендуется к широкому внедрению на очистных сооружениях нефтесодержащих сточных вод предприятий энергетического комплекса.

#### Список литературы

1. Дерягин, Б.В. Основы и контроль процессов флотации [Текст] / Б.В. Дерягин, С.С. Духин, Н.Н. Рулев. – М.: Недра, 1980.
2. Рулев, Н.Н. Гидродинамическое разрушение дисперсных систем [Текст] / Н.Н. Рулев, С.В. Карасев // Химия и технология воды. – 1990. – Т.12. – №10. – С. 887–890.
3. Стахов, Е.А. Руководство по расчету и применению напорных флотационных установок для очистки замазученных сточных вод на объектах Минобороны [Текст] / Е.А. Стахов. – М.: ЛВВИСКУ, 1981.



*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Береговой Александр Маркович**, доктор технических наук, профессор кафедры «Городское строительство и архитектура»

Тел.: (8412) 49-72-13

E-mail: vabereg@Rambler.ru

**Береговой Виталий Александрович**, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Строительные материалы»

Тел.: (8412) 49-72-13

E-mail: vabereg @ Rambler.ru

**Мальцев Алексей Викторович**, аспирант кафедры «Городское строительство и архитектура»

Тел.: (8412)790849

E-mail gsia @ pguas.ru

**Петрянина Мария Александровна**, бакалавр кафедры «Экспертиза и управление недвижимостью»

Тел. (8412)89050153930

E-mail gsia @ pguas.ru

*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Beregovoi Alexandr Marcovitch**, Doctor of Science, Professor of the department «Urban construction and Architecture»

Tel.. (8412) 49-72-13

E-mail: vabereg @ Rambler.ru

**Beregovoi Vitali Alecsandrovitch**, Candidate of Science, Assistant Professor, Head of the department «Building Materials»

Tel.: (8412) 49-76-54

E-mail: vabereg @ Rambler.ru

**Maltsev Alecsei Victorovitch**, Postgraduate of the department «Urban construction and Architecture»

Tel.: (8412) 790849

E-mail gsia @ pguas.ru

**Petryanina Marya Alecsandrovna**, bachelor of the department

Tel.: (8412) 89050153930

E-mail gsia @ pguas.ru

## ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ЗДАНИЯХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Петрянина

Рассмотрены некоторые климатические факторы в ряде центральных регионов России, влияющие на суммарный обобщенный показатель энергосберегающего эффекта в зданиях. Проанализированы те показатели эффективности, которые в условиях экстремальных климатических воздействий оказывают наибольшее влияние на величину обобщенного показателя.

*Ключевые слова: климатические факторы, энергосбережение, системный анализ, показатели эффективности.*

## ENERGY SAVINGS IN BUILDINGS UNDER THE ACTION OF EXTREME CLIMATIC FACTORS

A.M. Beregovoi, V. A. Beregovoi, A.V.Maltsev, M.A. Petryanina

The authors have considered some parameters of indoor climate, which influence the total index of energy savings in the buildings. They have analysed those efficiency indices which have the greatest influence on the total index in extreme climatic conditions.

*Keywords: climatic factors, energy saving, system analysis, efficiency index.*

Проектирование экономичных по расходу тепловой энергии зданий, формирование в них здоровой и эстетически полноценной среды обитания основывается на учете всего разнообразия природно-климатических условий в конкретных регионах строительства.

Имеющиеся научные разработки по архитектурно-строительной климатологии, климатическому районированию, природно-климатической типологии еще не полностью охватывают те особенности природно-климатических условий в том или ином регионе строительства, которые в наибольшей степени влияют на циклические тепловые воздействия наружной среды, являющиеся причиной интенсивных тепловых потерь через наружную оболочку зданий.

В стадии проектирования здания приближенное представление о специфике климата обычно формируется на основе средних многолетних прогнозов местной метеорологической службы с учетом климатических данных, приведенных в работах [1, 2].

Наибольшие тепловые потери несут здания в периоды низких температур наружного воздуха и сильного температурно-ветрового напора зимой. В процессе интенсивной солнечной радиации при умеренно низкой температуре наружного воздуха в зданиях, ориентированных лучепрозрачными ограждениями на светлые стороны горизонта, напротив, происходит дополнительный подогрев помещений теплом солнечной радиации.

С целью более точной оценки воздействия атмосферы и тепловых потоков природной среды на энергоэффективность проектируемых и эксплуатируемых зданий и сооружений нами составлены климатограммы для 6 крупных городов Среднего Поволжья на основании имеющихся нормативных климатических данных [1, 2]. На рис. 1, 2 показаны некоторые климатограммы, характеризующие амплитуду колебаний температуры наружного воздуха в периоды похолоданий и потеплений, а также приход солнечной радиации для г. Пензы, расположенного во II климатической зоне страны.

Анализ нормативных климатических данных, а также составленных климатограмм позволил выявить следующие характерные особенности климата, тепловых воздействий природной среды на здания и сооружения, проектируемые и эксплуатируемые в регионах Среднего Поволжья.

1. Здания, эксплуатируемые в этих регионах, периодически подвергаются во время отопительного сезона экстремальным климатическим воздействиям: очень низким температурам и сильному температурно-ветровому напору, которые для первого климатического района являются более долговременными факторами влияния.

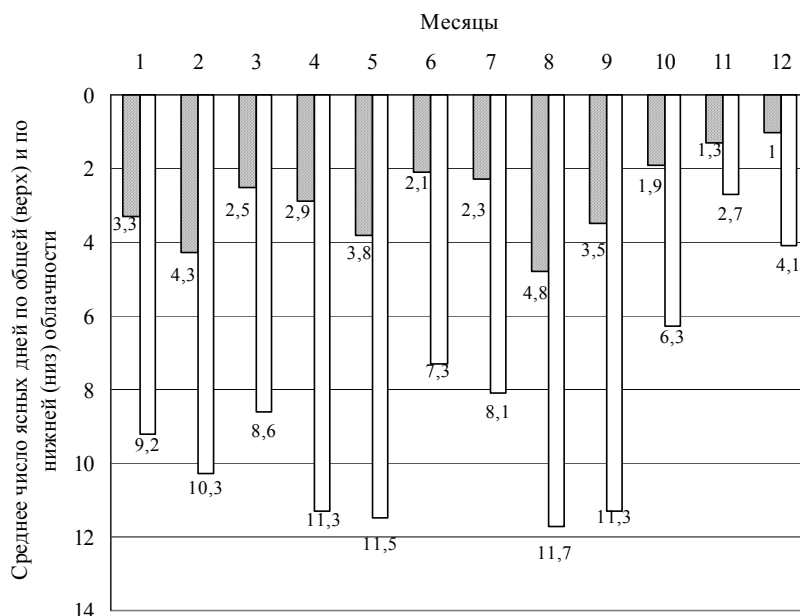


Рис. 1. Среднее число ясных дней в г. Пензе

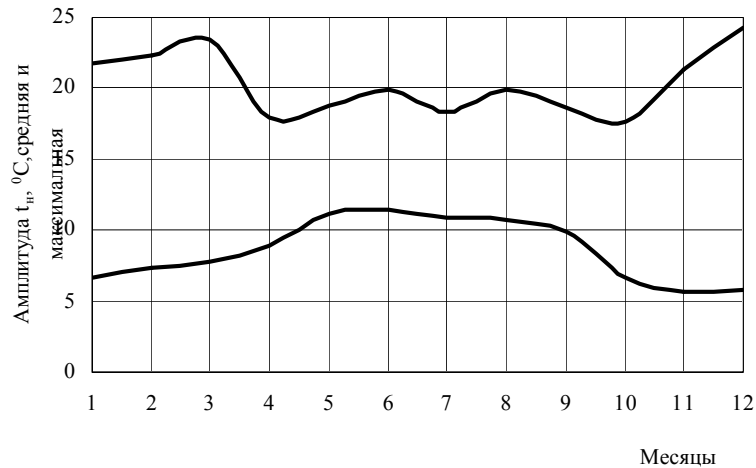


Рис. 2. Амплитуда колебаний температуры наружного воздуха в г. Пензе

Это обстоятельство явилось причиной того, что в процессе архитектурно-строительного проектирования не всегда в полной мере учитывался весь комплекс климатических факторов, воздействующих на здание в условиях умеренного климата.

2. В зданиях, построенных по таким проектам, могут наблюдаться переохлаждение помещений, ориентированных на господствующее направление ветра зимой, ухудшение температурно-влажностного режима торцовых стен, а также теплового и воздушного режимов внутренней среды проживания, что существенно повышает удельную величину теплотер и снижает энергоэффективность данных сооружений.

3. В регионах Среднего Поволжья наблюдаются значительные циклические колебания температуры наружного воздуха, что указывает на необходимость проектирования наружных ограждающих конструкций с достаточными теплозащитными качествами и тепловой инерцией.

4. Преобладающее направление ветров в самое холодное время отопительного периода – южное, западное и смежные с ними направления. По этой причине целесообразно наружные ограждения повышенной воздухопроницаемости ориентировать параллельно ветрам данных направлений.

5. Характерной особенностью климатических условий территорий Среднего Поволжья и центральных регионов России является то, что на поддержание комфортных условий микроклимата внутренней среды помещений требуются значительные затраты энергии. Это и обуславливает необходимость разработки таких объемно-планировочных, архитектурно-конструктивных решений, методов и способов повышения энергоэффективности зданий, которые бы обеспечивали максимальную экономию традиционных и активное использование возобновляемых источников энергии.

Более точная оценка эффекта энергосбережения в зданиях, подвергаемых воздействию отдельных климатических факторов или их сочетаний, может быть получена на основе критериального подхода к оценке энергосберегающего эффекта в зданиях [3, 4].

Данный анализ климатических воздействий для решения задачи в условиях полной определенности может быть выполнен на основе суммарного обобщенного критерия  $K_{ui}$ , рассмотренного в работах [5,6] и определяемого на основании безразмерных показателей  $k_{ij}$ :

$$K_{ui} = \sum_{j=1}^n q_j \cdot k_{ij}, \quad i=1, \dots, m; j=1, \dots, n, \quad (1)$$

где  $q_j$  – коэффициенты весомости, определяемые экспериментальным или расчетным путем.

В работе [4] отмечается, что по причине противоречивости и понижающего эффекта комплексного воздействия отдельных факторов единой энергосистемы здания величина  $K_{ui}$  будет весьма приближенно равна сумме произведений  $q_i \cdot k_{ij}$ . Поэтому с

учетом понижающего суммарного эффекта отдельных факторов влияния, выраженных показателями  $k_{ij}$ , формула (1) принимает вид:

$$K_{ui}^* = \sum_{j=1}^n q_j \cdot k_{ij} + \sum_{j=1}^n q_j^* \cdot k_{ij}^* \cdot r, \quad (2)$$

где  $\sum_{j=1}^n q_j \cdot k_{ij}$  и  $\sum_{j=1}^n q_j^* \cdot k_{ij}^*$  – соответственно сумма произведений  $q_j \cdot k_{ij}$ , в которых сочетание безразмерных показателей эффективности не вызывает понижающего эффекта в энергосбережении или, напротив, обеспечивает его;  $r$  – коэффициент понижения суммарного эффекта ряда безразмерных показателей, определяемый экспериментальным или расчетным путем.

В формуле (2) обобщенный критерий  $K_{ui}$  представлен как комплексный показатель энергосберегающего эффекта, на который непосредственно влияет конструктивное решение наружных ограждений при нормативных параметрах микроклимата помещений.

Рассмотрим влияние на энергосбережение в здании следующих экстремальных или близких к экстремальным климатических факторов в холодное время года.

1. Экстремально большое количество осадков.
2. Стабильная низкая температура наружного воздуха.
3. Период резкого похолодания, характеризуемый большой амплитудой колебания температуры наружного воздуха (длится обычно в течение нескольких дней).
4. Интенсивная солнечная радиация при умеренно низкой температуре наружного воздуха.
5. Большой температурно-ветровой напор (сочетание низкой температуры и сильного ветра).

Последние три климатических фактора чередуются или сочетаются между собой практически ежегодно, тогда как первые два обычно отмечаются в практике метеонаблюдений последних лет гораздо реже. Исключение составляет зимний период 2009–2010 гг. Стабильно низкие температуры, начавшиеся в декабре месяце при практическом отсутствии оттепелей (наблюдалась всего одна кратковременная оттепель в начале января), и обильные осадки привели к большим снегоотложениям на поверхности крыш. В зданиях, особенно старой застройки, из-за неэффективной тепловой защиты крыш такие снежные наносы превратились в массивный снежно-ледяной панцирь, таяние которого с приходом весеннего тепла вызвало многочисленные протечки кровель, интенсивное увлажнение утеплителя, временную потерю его теплоизолирующей функции и снижение эффекта энергосбережения.

Примем допущение, что в течение некоторого времени  $z$  на здание оказывает воздействие тот или иной из вышеперечисленных климатических факторов. Тогда суммарная величина обобщенного показателя  $K_{ui}$  выразится так:

$$K_{ui}^* = \left. \begin{aligned} & \sum_{z_1}^{z_2} \sum_{j=1}^n q_j \cdot k_{ij} + \sum_{z_1}^{z_2} \sum_{j=1}^n q_j^* \cdot k_{ij}^* \cdot r + \text{для фактора 1} \\ & + \sum_{z_3}^{z_4} \sum_{j=1}^n q_j \cdot k_{ij} + \sum_{z_3}^{z_4} \sum_{j=1}^n q_j^* \cdot k_{ij}^* \cdot r + \text{для фактора 2} \\ & + \sum_{z_5}^{z_6} \sum_{j=1}^n q_j \cdot k_{ij} + \sum_{z_5}^{z_6} \sum_{j=1}^n q_j^* \cdot k_{ij}^* \cdot r + \text{для фактора 3} \\ & + \sum_{z_7}^{z_8} \sum_{j=1}^n q_j \cdot k_{ij} + \sum_{z_7}^{z_8} \sum_{j=1}^n q_j^* \cdot k_{ij}^* \cdot r + \text{для фактора 4} \\ & + \sum_{z_9}^{z_{10}} \sum_{j=1}^n q_j \cdot k_{ij} + \sum_{z_9}^{z_{10}} \sum_{j=1}^n q_j^* \cdot k_{ij}^* \cdot r \text{ для фактора 5} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Величина показателя  $K_{ui}$  в формуле (3) зависит от времени воздействия того или иного климатического фактора, коэффициентов весомости  $q_{ij}$  и безразмерных показа-

телей эффективности  $k_{ij}$ . Число показателей эффективности может быть большим, так же как и количество вариантов по выбору принимаемых конструктивных и планировочных решений зданий и его ограждений. Поэтому для поиска варианта, обеспечивающего максимальный энергосберегающий эффект, следует уделить особое внимание тем показателям эффективности  $k_{ij}$  и их коэффициентам весомости  $q_{ij}$ , которые в условиях воздействий конкретных климатических факторов оказывают наибольшее влияние на величину обобщенного показателя  $K_{ui}$ .

Некоторые показатели эффективности  $k_{ij}$ , оказывающие наибольшее влияние на теплопотери через наружные ограждения, и коэффициенты весомости  $q_{ij}$ , которые приводят к понижению энергосберегающего эффекта в зданиях, показаны в таблице.

Коэффициенты и показатели суммарного обобщенного критерия  $K_{ui}$

Климатические факторы (по пунктам)	Коэффициенты $q_{ij}$ , понижающие энергосберегающий эффект и учитывающие параметры	Показатели эффективности $k_{ij}$ , оказывающие наибольшее влияние на теплопотери и оценивающие параметры
1. Экстремально большое количество осадков в виде снега	Коэффициенты весомости, увеличивающие тепловой поток к поверхности кровли; $q_{jRk}$ – небольшое приведенное сопротивление теплопередаче конструкции крыши; $q_{jt}$ – недостаточная теплоизоляция поверхности вентблоков, горячих трубопроводов в пространстве «холодного» чердака; $q_{jв}$ – недостаточная площадь боковых вентотверстий в стенах «холодного» чердака	$k_{jRk}$ – приведенное сопротивление теплопередаче конструкции крыши; $k_{jt}$ – состояние теплоизоляции поверхности нагретых элементов в «холодном» чердаке; $k_{jв}$ – интенсивность естественной вентиляции «холодного» чердака в отопительный период
2. Стабильная низкая температура наружного воздуха	$q_{jR}$ – небольшое приведенное сопротивление теплопередаче наружного ограждения; $q_{jx}$ – нерациональное расположение конструктивных слоев в ограждении	$k_{iR}$ – приведенное сопротивление теплопередаче наружного ограждения; $k_{ix}$ – рациональное расположение конструктивных слоев
3. Период резкого похолодания	$q_{iD}$ – небольшая величина тепловой инерции	$k_{iD}$ – тепловая инерция наружного ограждения
4. Интенсивная солнечная радиация	$q_{ij}$ – малая площадь энергоактивных участков (ЭАУ); $q_{ie}$ – низкая тепловая эффективность ЭАУ; $q_{io}$ – ошибка в ориентации ЭАУ	$k_{ij}$ – площадь ЭАУ; $k_{ie}$ – тепловая эффективность ЭАУ; $k_{io}$ – ориентация ЭАУ
5. Большой температурно-ветровой напор	$q_{iv}$ – повышенная воздухопроницаемость ограждений; $q_{io}$ – неоптимальная ориентация здания на господствующий ветер, отсутствие ветрозащитных «экранов»; $q_{iR}$ – небольшое приведенное сопротивление теплопередаче наружного ограждения	$k_{iv}$ – воздухопроницаемость наружных ограждений; $k_{io}$ – ориентация здания, ветрозащитные «экраны»; $k_{iR}$ – приведенное сопротивление теплопередаче наружного ограждения

В заключение получены следующие результаты.

1. Показаны аналитические выражения суммарного обобщенного показателя энергосберегающего эффекта в периоды воздействий на здание экстремальных или близких к экстремальным климатических факторов.

2. Рассмотрено влияние на энергосберегающий эффект безразмерных показателей эффективности и их коэффициентов весомости.

#### Список литературы

1. СНиП 23-01-99. Строительная климатология [Текст] / Госстрой России. – М.: ГУПЦПП. – 2000. – 57 с.

2. Научно-прикладной справочник по климату СССР [Текст]. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Вып. 12. – Л.: Гидрометеиздат, 1988.

3. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК–ПРЕСС. 2002. – 194 с.

4. Береговой, А.М. Архитектурно-строительные аспекты экономии тепла в регулируемой энергосистеме жилой застройки [Текст] / А.М. Береговой, А.П. Прошин, В.А. Береговой, О.Л. Викторова, А.В. Максимов // Изв. вузов. Строительство. – 2004. – №7. – С. 91–97.

5. Дегтярев, В.И. Системный анализ и исследование операций [Текст] / В.И. Дегтярев. – М.: Высш. шк., 1996. – 335 с.

6. Завадскас, Э.К. Методика выбора рациональных вариантов строительства в условиях неопределенности [Текст] / Э.К. Завадскас // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2003. – №7. – С. 35–37.

# АРХИТЕКТУРА

# ARCHITECTURE

УДК 72.0

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Лапшина Елена Геннадьевна,**

кандидат архитектуры, профессор, заведующая кафедрой «Основы архитектурного проектирования»

Тел. (факс): 841-249-59-29, 841-248-74-76

E-mail.: oap@pguas.ru

*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Lapshina Elena Gennadievna,**

Candidate of Architecture. Professor. Head of the department «Foundation of architectural designing»

Tel. (fax): 841-249-59-29, 841-248-74-76

E-mail.: oap@pguas.ru

## СИМВОЛ ГОРОДА: ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ ИСТОРИЧЕСКИХ, КУЛЬТУРНЫХ И АРХИТЕКТУРНЫХ ТРАДИЦИЙ

Е.Г. Лапшина

Приведены результаты поиска доминанты города, его знака, символа, той основной черты, которая характеризует историческую судьбу города российской глубинки, его самобытность. Дана характеристика Пензы и ее сравнение с культурными центрами страны, а также другими городами Поволжья. Представлен анализ памятных мест, знаков и монументов, фиксирующих исторические этапы развития города. Выделены типы памятников, монументов, установленных в честь выдающихся деятелей и значимых исторических событий.

*Ключевые слова: архитектурная среда, памятный знак, символ города.*

## TOWN SYMBOL: CONTINUITY OF HISTORICAL, CULTURAL AND ARCHITECTURAL TRADITIONS

E.G. Lapshina

The aim of this article is to find the dominating idea of the town – its sign or symbol, the main feature characterizing historical fate of a Russian remote city. Penza is compared with other cities in the Volga region. Some memorial places, monument and signs connected with the history of the city are analyzed. The author marks out some types of monuments established in honour of famous people and events.

*Keywords: architectural environment, memorial sign, town symbol.*

Памятные знаки – обязательные атрибуты любого города. Они фиксируют важные исторические события, культурные традиции места и народа, его населяющего. В этом смысле не являются исключением города российской провинции. Каждый город в лице его коренного населения, подходя к определенному временному рубежу, например к своему юбилею, пытается осмыслить это событие, выяснить, как исторические этапы отразились в его архитектурной среде.

Чтобы определить доминанту города Пензы в преддверии его 350-летия, попытаемся сравнить его с другими городами – ровесниками. Наиболее значительный из них – Петербург, ставший по своему статусу северной столицей, что было изначально определено. Этим он в корне отличен от Пензы. Петербург стал центром государства, несмотря на свое приграничное положение. Город Пенза, заложенный в то же примерно время на другой – южной – границе государства российского, был и, в сущности, остается поныне глубокой провинцией России.

Вспомните, как глубокая провинциальность наглядно, метафорически отражена как в литературе, так и в других видах искусства. Действительно, среди населения России, не посетившего Пензу, бытует мнение, что этот город расположен если не на Камчатке или в Сибири, то, по крайней мере, где-то на Урале. Часто Пензу путают с Пермью.

Что же тогда значит выражение «глубокая провинция», если оно не связано с географическим положением, удаленностью от центра культуры и цивилизации? К слову, Пенза находится всего в 600–700 км от столицы, что по российским меркам весьма близко – в пределах 10-часовой доступности. Не связано оно и с количеством жителей – Пенза заняла 28-е место в России среди городов, где население перевалило за полмиллиона жителей.

По нашему мнению, российскую глубинку характеризует закрытость, отдаленность от «столбовых» дорог культурного «мейн-стрима». Плохо это или хорошо? Зачем стране глубокая провинция? Чем грозит ее вымирание или истребление? Является ли благом равномерно «размазанный» по территории страны «цивилизованный слой»? Все эти вопросы очень важны, и ответы на них определяют направление развития страны и народа, её населяющего.

Пенза, как и многие поселения России, – город многонациональный. Здесь присутствует мордовский этнос, от истоков населявший территорию Посурья, широко раскинувшуюся вдоль реки Суры, в которую впадает р.Пенза, давшая название городу. Большую массу населения составляют русские, которые пришли сюда по указу царя Алексея Михайловича в середине XVII века и заложили город-крепость на границе с Дикой Степью. Среди жителей города есть представители других этносов – чуваша, татары, украинцы, армяне, немцы и т.д. Каждый из них несет свою культуру, которая в жерле большого города переплавляется в нечто общее, выливающееся в виде народной героики и неких значимых событий в городскую среду, на площади и улицы, парки и дворовые пространства.

Прошедшие столетия, исторические потери и приобретения оставили в городе определенный след в виде архитектурных знаковых форм и памятников – монументов (рис.1).

Дореволюционный период представлен немногими сохранившимися памятниками. Одним из них должен был стать монумент Александру II на верхней, Соборной (ныне Советской) площади. Памятник так и не успели возвести. Теперь от него остался только постамент, названный в народе «Грот» (рис.2). На этом месте к 350-летию города Пензы предполагается установить памятник царю-основателю города Алексею Михайловичу.

В советский период каждая уважающая себя администрация обязательно устанавливала в городе на самом видном месте памятник Ленину. В Пензе таким местом стала нижняя площадь, получившая название – площадь Ленина.

Первый в мире памятник Карлу Марксу открыт в Пензе еще в 1918 г. Выполненный из гипса, он простоял на Советской площади всего несколько дней. Его заменили гранитным бюстом идеолога коммунизма.

Монументы воздвигались не только известным политикам, но и знаменитым деятелям культуры. Первый в мире памятник выдающемуся режиссёру В.Э. Мейерхольду также был установлен в Пензе.



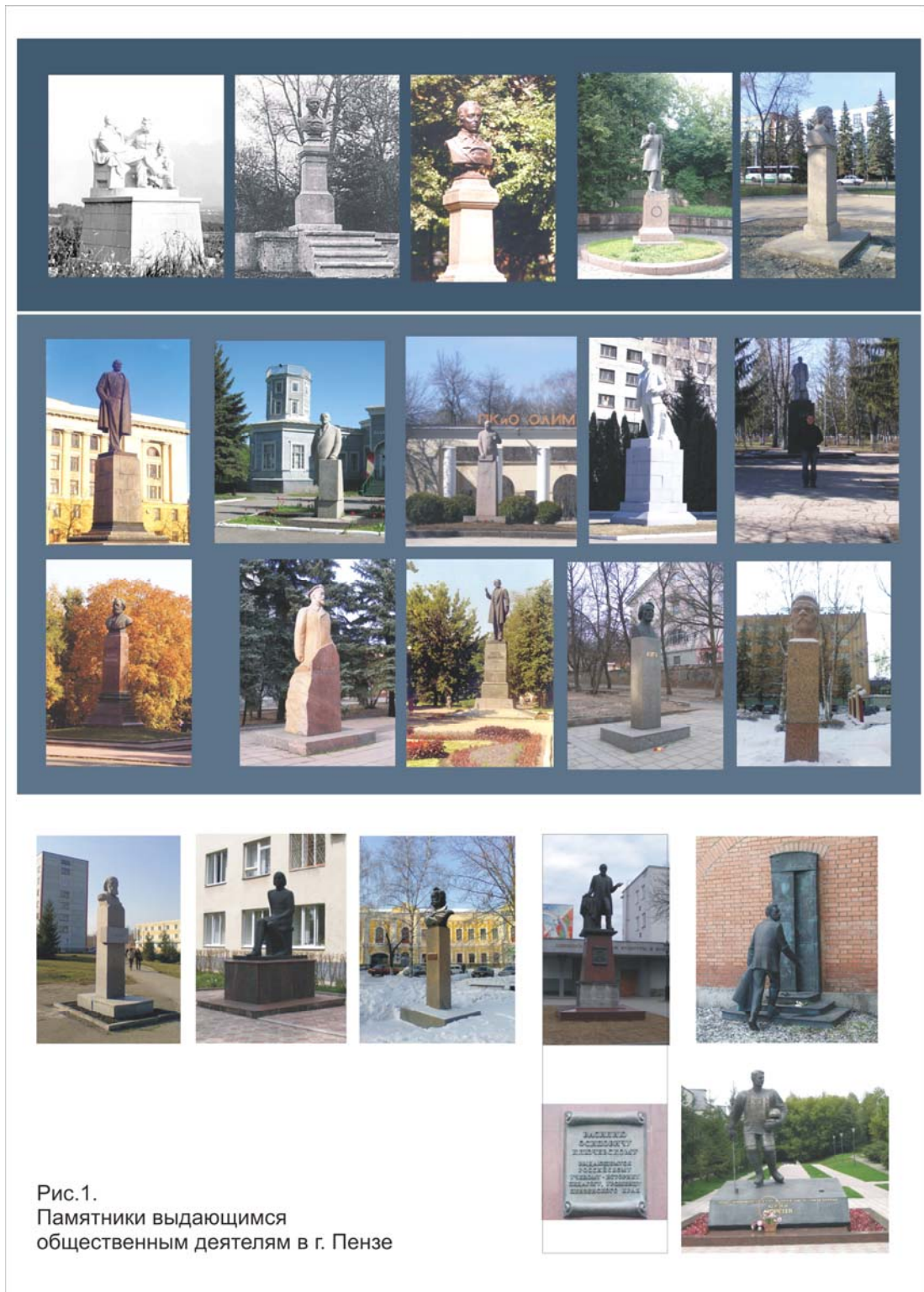




Рис.2.  
Памятники в честь знаменательных  
событий города Пензы

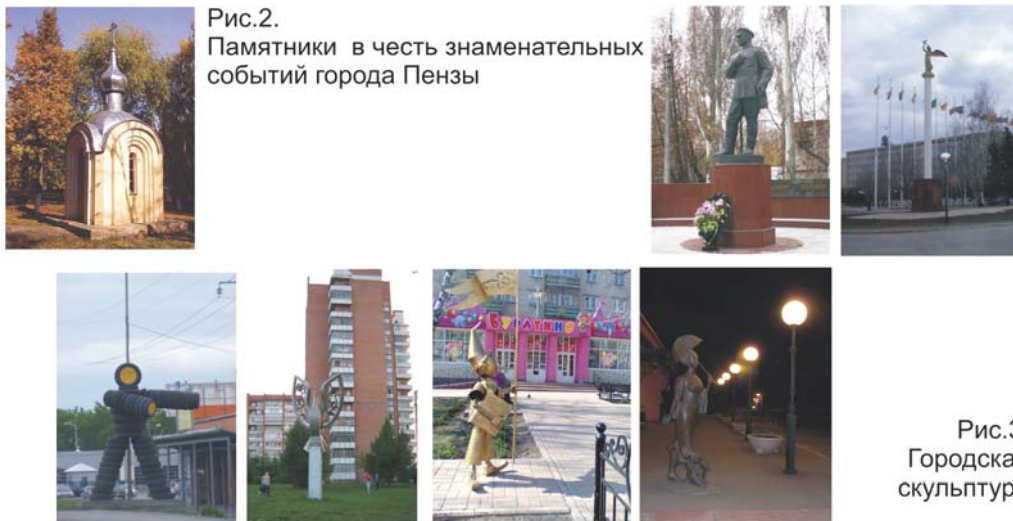


Рис.3.  
Городская  
скульптура

На фасадах зданий, отмеченных событиями истории или культуры, установлены мемориальные доски. Так, в 2002 году на здании музея одной картины открыта мемориальная доска выдающемуся общественному деятелю, нашему земляку Георгу Васильевичу Мясникову. В 2010 году в честь 125-летия знаменитого художника В.Татлина, окончившего Пензенское художественное училище им. К.А.Савицкого 100 лет назад, открыта памятная доска, установленная на фасаде училища. Недавно открыта мемориальная доска на здании Центра русской хоровой и вокальной культуры в честь знаменитого композитора и хорового дирижера А.А. Архангельского.

Анализ архивных материалов, изучение других исторических источников показал, что памятные знаки отражают следующие этапы культурно-исторического развития города в Поволжском регионе:

1. Город- крепость.
2. Город имперского периода.
3. Город советского периода.
4. Город постсоветского периода (современное состояние).

Как выделить в мемориальном строе города главное? Что же является знаковой чертой, доминантой города Пензы сегодня?

На наш взгляд, Пенза как провинциальный город являет собой символ некой социальной глубинности вообще, сокрытости или, если угодно, тайны, в которой содержатся, концентрируются все истоки, начала будущих личностных вершин и взлетов, зерна и ростки великих дел и великих людей. Здесь, на Пензенской земле зарождались и вызревали те, кто стал впоследствии славой России – имперской ли, советской ли, не столь важно. Широко известны такие имена, как Лермонтов и Радищев, Белинский и Ульянов и многие другие. На Пензенской земле проходило их личностное становление, вобравшее в себя все ценное от культурных корней этого места, происходил их профессиональный и гражданский рост.

Таким образом, можно считать символом провинциального города, выражающим его сущность, – росток (или исток) – первый толчок, начало. Российская глубинка – это начало того, что разовьется в дальнейшем и будет пышно цвести где-то, может быть, очень далеко от своей малой родины.

Символический знак такого рода в городе Пензе уже существует. Он, может быть, несколько тяжеловат по форме, но очень точен по смыслу. Речь идет о памятном знаке «Росток», возведенном на набережной реки Суры (автор А.А.Оя). Некогда, во времена судоходной речной связи между городами Поволжья, набережная была лицом города. Теперь – это место празднеств и народных гуляний.

Однако к 350-летию юбилею города Пензы, учитывая смену способов передвижения с речного транспорта на сухопутный, знак «Росток» целесообразнее установить при въезде в город – на развилке железной дороги и шоссе, ведущих со стороны Москвы. Таких мест два: одно расположено у границы города, другое – в черте города, на проспекте Победы. Последнее отмечено недавно возведенным жилым высотным зданием.

У высотных домов города Пензы есть, к сожалению, существенный изъян – они не имеют завершения. Такие «безголовые» ориентиры в системе визуальных связей города просто не работают. Каждая вертикальная форма должна быть увенчана своей «главой». Для «высотки» на проспекте Победы, вставшей у моста, перекинутого через железную дорогу, венчающим сооружением, размещенным на плоской кровле, мог бы стать новый знак «Росток».

Подобным образом, решены все высотные доминанты бурно строящейся Москвы. В молодом городе Заречном, расположенном недалеко от Пензы и отметившем в прошлом году свой 50-летний юбилей, другой способ выявления высотных зданий – ритмичность их расположения, которая прослеживается в их общем силуэте. Именно силуэт «гиперкапители», служащей завершением вертикального сооружения или здания-«колонны», обычно определяет индивидуальность образа, задает опознаваемость.

Так, в системе высотных доминант Пензы, обеспечивающих визуальные связи в городской среде, может появиться памятный знак к ожидаемому юбилею – новый «Росток» как символ города, выросшего в российской глубинке.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Вилкова Анастасия Сергеевна**,  
аспирант кафедры «Градостроительство».  
E-mail: vilkova\_nastyia@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Vilkova Anastasiya Sergeevna**,  
Postgraduate of the department  
«Urban Theory»  
E-mail: vilkova\_nastyia@mail.ru

## ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ АСПЕКТ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА\*

А.С. Вилкова

Раскрываются объективные представления о современном многофункциональном комплексе (МФК) в градостроительном аспекте. Систематизируются градостроительные характеристики формирования МФК: разновидности по месту размещения в структуре города (загородные МФК, в срединной зоне города), роль МФК в структуре обслуживания (МФК регионального значения, центры планировочных районов). Отмечаются особенности комплексного характера обслуживания в МФК.

*Ключевые слова: многофункциональный комплекс, разновидности по месту размещения, структура обслуживания.*

## MIXED-USE SHOPPING CENTER: TOWN PLANNING ASPECT

A.S. Vilkova

Objective notions about town planning aspect of mixed-use centers are observed in this article. Town planning characteristics of mixed-use centers are systemized in this article, according to the variety of their distribution in town and their role in service structure (regional significance, planning districts centers). Some features of mixed-use center complex service is stated.

*Keywords: mixed-use shopping center, variety by location, mixed-use center in the structure of service.*

Раскрытие градостроительного аспекта формирования многофункционального комплекса на базе торгового центра (МФК) актуально для решения проблемы получения систематизированных данных о способах размещения МФК в структуре города и роли МФК в структуре обслуживания. Проблема обусловлена распространением все более активного влияния инвесторов и заказчиков на многие стороны проектирования и планирования коммерческого объекта в городской среде (в частности МФК) в условиях рыночно ориентированного мышления в обществе. Это приводит к неоднозначным и не всегда объективным утверждениям по вопросу организации МФК, основной смысл которых в общем виде сводится к получению максимальной прибыли с объекта. Поэтому зачастую архитектор-проектировщик (особенно начинающий проектную деятельность) следует за требованиями заказчика без аналитического подхода к проектированию коммерческого объекта (МФК), что вызвано отсутствием теоретически обоснованных аргументов, позволяющих сделать наиболее оптимальный

\* Статья выполнена по материалам проведенной автором НИР в 2010 г. при финансовой поддержке РААСН.

выбор того или иного проектного решения МФК в той или иной градостроительной ситуации.

Систематизирование данных о градостроительных характеристиках МФК нового поколения необходимо не только для реального проектирования при обосновании места размещения объекта. Использование полученных данных особенно важно в педагогической практике. В разделе «Отечественные многофункциональные здания и комплексы» дисциплины «Жилые и общественные здания» основная литература приходится на период проектирования данных типов зданий в 60-80-е годы XX века (типовое проектирование в отечественной практике) [1]. Приводимые примеры и теория не отвечают современным представлениям о коммерческих объектах нового поколения и преллагают будущему архитектору заведомо противоречивые данные о теории и современной практике проектирования МФК.

В современной теории типологии (XXI века) существуют лишь выборочные публикации, посвященные МФК с торговой функцией на примерах определенных городов. В современном градостроительном аспекте развития МФК отмечалось, что существуют «два главных пути размещения таких комплексов: 1) в центре города, 2) на межмагистральных территориях» [2]. Однако не давались развернутые характеристики того или иного типа размещения МФК нового поколения, критерии, обуславливающие целесообразность развития разнообразных общественных функций при торговле в той или иной градостроительной ситуации, а также не были отмечены основные признаки МФК как объекта в структуре обслуживания.

Целью исследования является систематизация градостроительных характеристик МФК на базе торгового центра. Методика исследования основана на комплексном анализе проектных решений схем генеральных планов МФК, полученных автором в ходе проведения ряда натурных обследований функционирующих МФК.

Для формирования более полного представления о МФК как о типе здания в современном городе необходимо ввести его определение и обозначить характеристику условий современного развития МФК.

Многофункциональный комплекс на базе торгового центра – это градостроительный объект, включающий разнообразные общественные функции при торговле, которые формируют его привлекательность для потребителя и интегрируются с учетом достижения максимально эффективного взаимовлияния функциональных компонентов друг на друга.

Общим, что объединяет объекты МФК с торговой функцией за рубежом и в России – это их принадлежность частным капиталам, общность в процессах свободной торговли, сближение потребительской и деловой культуры в едином здании, создание всеобщей индустрии развлечений. Все это формирует единую коммерческую сеть торгово-общественных услуг, для реализации которой приемлемы объекты со значительным потенциалом арендопригодных площадей, обладающие гибкой архитектурной формой, обеспеченные необходимыми условиями транспортной доступности и удобные при эксплуатации.

Появление функционально насыщенного объекта в структуре города возможно на определенной стадии экономического развития населения. Одной из предпосылок строительства МФК является повышение жизненного уровня значительной части населения города, то есть уровень среднедушевых денежных доходов<sup>1</sup> трудоспособных групп населения оказывается достойным его субъектов, у потребителя появляются время и финансовые возможности для удовлетворения нужд не первой необходимости (например, развлечения). При этом для потребителя при выборе товаров и услуг цена на них перестает быть первоочередным условием, диктующим тот или иной выбор. Приоритетами выбора становятся широкий ассортимент, качество

<sup>1</sup> Среднедушевой денежный доход населения – фактические денежные доходы, включающие оплату по труду, премии, надбавки, пособия и т.п., рассчитанные на одного статистического человека в месяц // Российский статистический ежегодник 2006: стат. сб. М.: Росстат, 2006. 806 с.

товара и услуг [3]. Особое значение приобретает эстетика внутреннего дизайна и комфорт пребывания в комплексе (это заметно при сравнении качества внутренней архитектурной среды современных зарубежных МФК с отечественными).

Сегодня в отечественной практике МФК на базе торгового центра появляются в крупных и крупнейших городах. Раскрытию градостроительного аспекта формирования МФК с торговой функцией способствует исследование действующих объектов по месту размещения относительно зон города и роли в структуре обслуживания.

На основании натурных обследований, проведенных автором, действующих объектов, МФК по месту размещения систематизированы следующим образом (рис. 1):

**I. За городом; на периферии города (городская окраина)** – это МФК, размещаемые вдоль магистральных дорог со скоростным движением, на загородных или периферийных участках. Об этом свидетельствуют примеры на рис. 2, 3 [4]. Территория размещения определяет возможность освоения объектом значительных по площади участков под застройку (усредненный показатель более 15 га, по данным обследований, проведенных автором), что способствует развитию следующих признаков объекта:

- 1) увеличенные площади открытых стоянок (более 1000 м/м);
- 2) уменьшение этажности – до 4 этажей, включая подземные уровни;
- 3) уменьшение количества подземных этажей (до 1);
- 4) тенденция объемно-пространственного развития объекта по линейно-протяженным схемам.

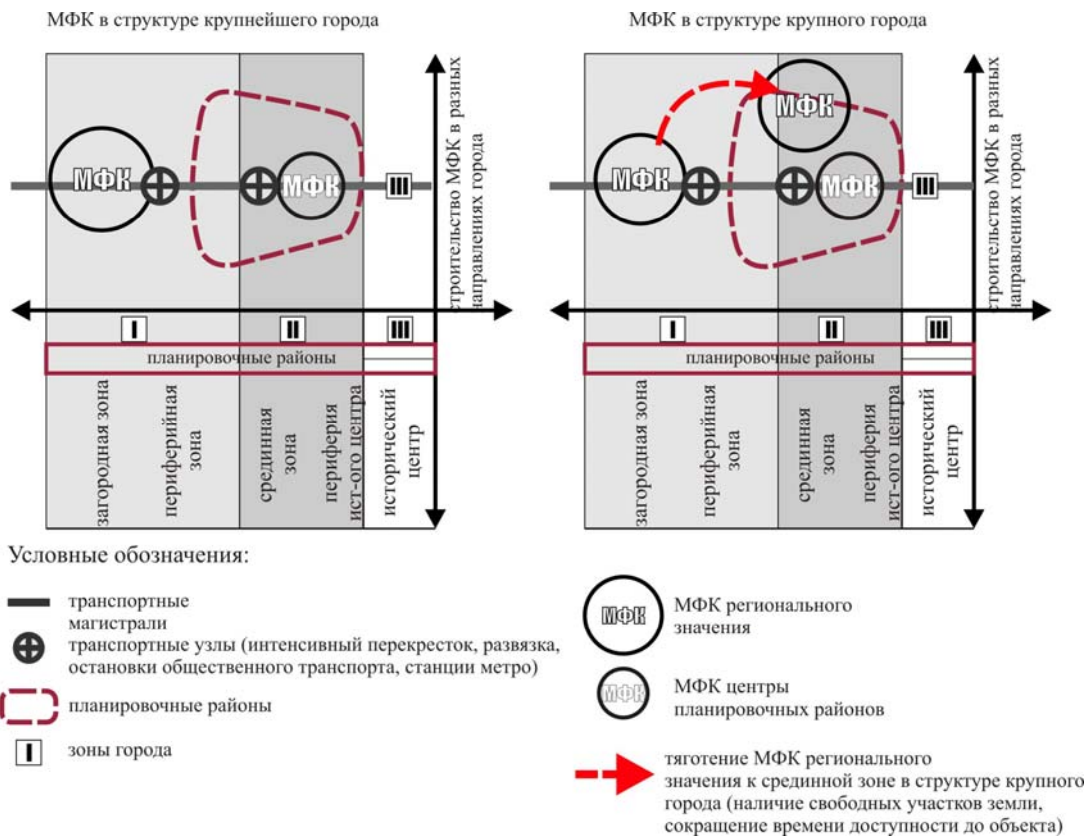


Рис. 1. Разновидности МФК по месту размещения в структуре города

При размещении МФК вне зоны доступности организация его работы должна быть рассчитана на длительное пребывание городского потребителя. Длительное пребывание способствует появлению у посетителя свободного времени, помимо того, что уходит на покупки. При этом начинают работать пространства разнообразных общественных функций в МФК.



Рис. 2. Схема генплана многофункционального комплекса, расположенного за городом (г.Химки, Московская область, Ленинградское шоссе, трасса М-10, 2004 г., Callison Architecture Inc.)

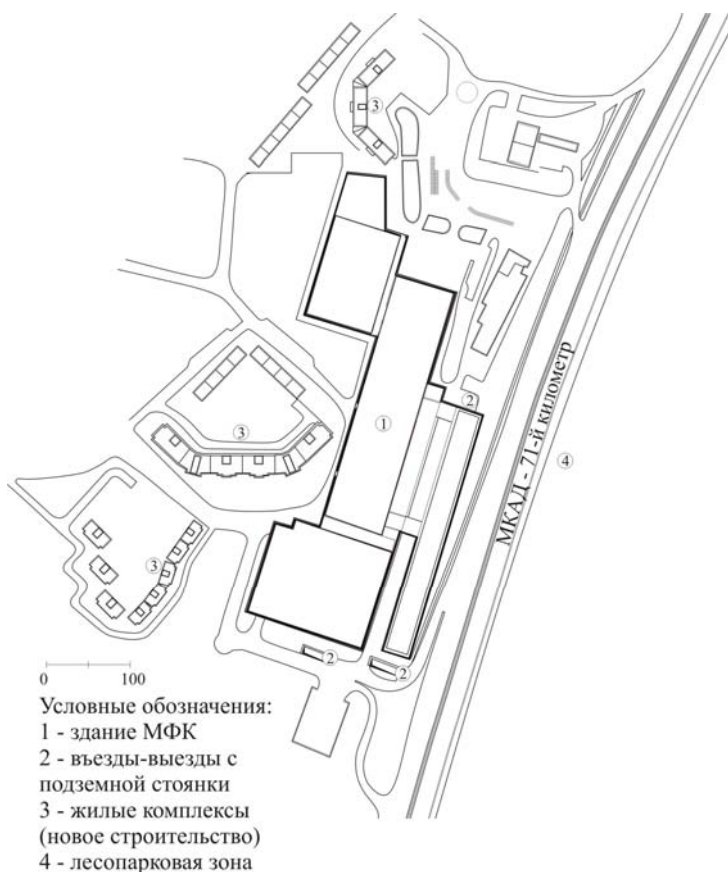


Рис. 3. Схема генплана многофункционального комплекса, расположенного за городом (Московская область, МКАД 71-й километр, откр. 2004 г., Nps Tchoban Voss)

Затраты на время передвижения до МФК компенсируются функциональной комплексностью объекта, широким ассортиментом товаров. Основные критерии закрепления общественных функций при торговле в МФК за городом, на периферии города:

- возможность привлечения потребителей на удаленный от городской застройки объект;

- необходимость организации досуга и отдыха потребителя при длительном времени пребывания в комплексе;
- функциональная комплексность как своеобразная компенсация затрат на время передвижения до объекта;
- возможность интегрирования в МФК общественных функций специфического характера, размеры площадей которых не позволяют им развиваться в условиях городской застройки (крупные выставочные и международные центры, яхт-клубы, гольф клубы и т.п.).

**II. Срединная зона города.** МФК, сформированные в условиях сложившейся застройки с площадью участка в среднем до 15 га (по данным обследований, проведенных автором) (рис. 4, 5) [4].



Рис. 4. Схема генплана многофункционального комплекса на пл. Киевского вокзала, г.Москва, откр. 2006 г, арх.Ю.П.Платонов



Рис. 5. Схема генплана многофункционального комплекса, расположенного в срединном поясе города (г. Москва, просп. Вернадского, откр. 2006 г., LOFT architects, Erozu architects.)



Уменьшение размера площади участка формирует следующие особенности объекта:

- 1) компактный характер планировочных решений МФК;
- 2) вертикальное развитие (подземное, надземное);
- 3) организация парковки в структуре объема комплекса (подземная, между этажами, на кровле).

Необходимое вертикальное развитие МФК в стесненных условиях городской застройки приводит к тому, что потребитель, попадая в комплекс с уровня земли, оказывается на одном из промежуточных этажей объекта. Для того чтобы заставить посетителя обойти весь МФК (снизу-вверх), начинают работать приемы внутренней организации комплекса, в числе которых размещение разнообразных привлекательных общественных функций в зонах, не рентабельных для торговли (например, верхние этажи). Формирование максимальной проходимости объема МФК является одним из условий экономической эффективности объекта.

В МФК второй разновидности общественные функции при торговле закрепляются с целью:

- организации досуга населения, проживающего в прилегающих районах к МФК;
- формирования конкурентной способности МФК среди объектов коммерческой недвижимости по городу;
- дополнения и обеспечения разнообразия существующей системы обслуживания населения.

**III. Исторический центр.** Здесь МФК, как правило, не являются объектами нового строительства, а представляют собой объекты реконструкции, комплексы исторических построек, затрагивают вопросы сохранения культурного наследия, соподчиненности историческому окружению и представляют самостоятельную тему для исследования.

Итак, первая и вторая разновидности МФК на базе торгового центра в качестве объектов нового строительства по месту размещения являются двумя основными направлениями развития относительно зон города.

Помимо общностей типов МФК по месту размещения, МФК систематизируются по роли в структуре обслуживания населения. В теории известно, что исключительно объекты торговли присутствуют во всех структурных элементах города и формируют возможность попутного обслуживания потребителя. При этом изменяется радиус обслуживания, размеры площадей торговых предприятий и ассортимент предлагаемых товаров [5, с.336–348; 6, с.351]. С формированием разнообразных общественных функций при торговле в одном здании возрастает социальная значимость объекта. Комплексность современного объекта позволяет потребителю приобрести не только необходимые товары, но и одновременно создает возможность для проведения свободного времени, организации досуга в МФК (например, на выходных – сделать покупки на неделю вперед и посетить с семьей развлекательный центр – все за единовременное пребывание). Для загородных МФК характерна эпизодическая значимость посещения объекта, ориентированная преимущественно на потребителя с личным транспортом. Для МФК в срединном поясе города, помимо эпизодического обслуживания, не исключается возможность периодического потребления. Прежде всего, это обусловлено тем, что МФК срединной зоны функционируют в условиях существующей застройки (жилье, места приложения труда), более приближены к потребителю и находятся в зонах с повышенной плотностью дневного населения в отличие от загородных МФК.

Итак, МФК в структуре обслуживания действуют на уровне более крупных планировочных образований, чем микрорайон, жилой район, и систематизируются в две группы.

*МФК регионального значения.*

Основные признаки:

- размещение на не освоенных новым строительством территориях, реконструируемых промышленных зонах города, внегородских участках и городских окраинах, имеющих транспортные связи с дорогами магистрального и общегородского значения;

– степень соотношения площади участка ( $S_{уч.}$ ) и площади застройки зданием ( $S_{застр.зд.}$ ) по усредненному показателю составляет 1/3, что определяет наличие резерва свободной территории вокруг объекта (по данным обследований, проведенных автором). Это позволяет организовать открытую стоянку, снижая затраты на подземное строительство и вертикальные коммуникации; предоставляет возможность реализации творческого подхода к решению ландшафта МФК малыми архитектурными формами, средствами дизайна и т.п.;

– интегрирование сопутствующих функций направлено на привлечение территориально удаленного от МФК потребителя; торговая функция, как правило, представлена крупными якорными арендаторами<sup>1</sup> с широким ассортиментом товаров;

– пространственная модель объекта – горизонтально развитая система.

Место размещения МФК регионального значения в городах разной величины варьируется, что было определено при сравнении объектов в крупнейшем и крупном городах.

Для регионального типа МФК в условиях крупнейшего города характерно размещение на внегородских территориях и городских окраинах, обладающих резервом свободных участков и предоставляющих условия для создания вместительных стоянок. Интегрирование сопутствующих функций направлено на привлечение территориально удаленного потребителя.

Для МФК регионального типа в условиях крупного города (с населением 500 тыс. жителей) не исключается возможность размещения в срединном поясе. Это обусловлено существующим в этой зоне резервом свободных участков земли (не освоенные новым строительством территории, освобождаемые, реконструируемые промышленные зоны), сокращением времени доступности до объекта в условиях отсутствия скоростного транспорта. При этом пространственная модель МФК регионального типа, как для крупнейшего, так и для крупного города, представляет собой горизонтально развитую систему на основе блочного интегрирования разнообразных функций с крупными торговыми операторами.

*МФК – центры планировочных районов.*

Основные признаки:

– размещение в условиях сложившейся застройки, в зонах с повышенной плотностью дневного населения;

– степень соотношения  $S_{уч}$  и  $S_{застр.зд}$  по усредненному показателю составляет 1/2–1/1,5 (по данным обследований, проведенных автором). Участок размещения максимально используется зданием МФК за исключением необходимых путей подходов и подъездов к объекту;

– выбор общественных функций при торговле направлен на дополнение и расширение спектра услуг и развлечений в существующей системе обслуживания планировочного района;

– пространственная модель объекта основана на вертикальном развитии.

Отличительной особенностью МФК на базе торгового центра является способность функционировать в условиях, как сложившейся системы обслуживания населения, так и ее полного отсутствия. Следствием интегрирования разнообразных общественных функций в единый объект, формирования комплексного обслуживания потребителя (предоставление разнообразных услуг в едином объеме на разных этажах) становится тенденция к исчезновению понятия радиуса обслуживания у МФК. Привлечению потребителей не всегда связанных территориально жильем или местами приложения труда с МФК способствует разнообразие функций, рассчитанных на широкую потребительскую аудиторию, в сочетании с современными приемами

<sup>1</sup> Якорный арендатор – юридическое или физическое лицо, которое берет в аренду площадь не менее 5–15% от общей площади торгово-общественного здания, генерирует основные потоки посетителей [Электронный ресурс] // Торговая недвижимость. Режим доступа: [www.ru/wikipedia.org](http://www.ru/wikipedia.org).

организации торговли (гибкая ценовая политика, варьирование ассортиментом товаров, подбор якорных арендаторов).

В заключение сделаны следующие выводы:

1. Выявление мест размещения и характеристик МФК в структуре города свидетельствует о стихийности строительства МФК как о своеобразной закономерности их развития в современных условиях. Успешное функционирование МФК за рамками упорядоченного распределения в структуре города и между собой возможно при сочетании:

- функциональной комплексности объекта;
- интегрирования индивидуально неповторимых функций, отличающих один МФК от другого;
- создания необходимых условий транспортной доступности.

2. Комплексность объекта предполагает его эпизодическое или периодическое посещение, ориентированное преимущественно на потребителя с личным транспортом.

3. Комплексным характером обслуживания в МФК обосновывается возможность осуществления потребителем максимально разнообразных видов деятельности в едином объеме (на разных этажах) за минимальное время, сокращая нецелесообразные передвижения по городу.

#### Список литературы

1. Кулага, В.Л. Общественные центры в сложившейся жилой застройке [Текст] / В.Л. Кулага, В.Г. Курышев. – М.: Стройиздат, 1981. – 56 с.
2. Гельфонд, А.Л. Многофункциональный торговый центр как элемент системы обслуживания [Текст] / А.Л. Гельфонд // Архитектурный вестник. – 2008. – № 4. – С. 139–146.
3. Торговые сети: экспансия в регионы [Электронный ресурс]// от 31.05.06 г. – Режим доступа: [http:// www.atlant.ru](http://www.atlant.ru) (дата обращения 5.08.2010).
4. Моллы.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www.malls.ru](http://www.malls.ru) (дата обращения 25.10.10).
5. Авдотьин, Л.Н. Градостроительное проектирование [Текст] / Л.Н. Авдотьин. – М.: Стройиздат, 1989. – 432 с.
6. Адамович, В.В. Архитектурное проектирование общественных зданий и сооружений [Текст] / В.В. Адамович. – М.: Стройиздат, 1984. – 543 с.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Королева Лариса Александровна**,  
доктор исторических наук, профессор,  
зав. кафедрой «История»  
Адрес: 440060 г. Пенза,  
ул. Рахманинова 24-48  
Тел.: 89022045395  
E-mail: la-koro@yandex.ru

**Королев Алексей Александрович**,  
доктор исторических наук,  
доцент кафедры «История»  
Адрес: 440060 г. Пенза,  
ул. Рахманинова 20-234  
Тел.: (8412) 95-70-79  
E-mail: sansan@pnz.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Koroljova Larisa Aleksandrovna**,  
Doctor of History, Professor, Head  
of the department «History».  
Address: 440060, Penza,  
24, Rakhmaninov St., ap. 48  
Tel.: 89022045395  
E-mail: la-koro@yandex.ru

**Koroljov Alexey Aleksandrovich**,  
Doctor of History, Associate Professor  
of the department «History».  
Address: 440060, Penza,  
20, Rakhmaninov St., ap. 234  
Tel.: (8412) 95-70-79  
E-mail: sansan@pnz.ru

## МЕЧЕТИ ПЕНЗЕНСКОГО РЕГИОНА: ИСТОРИЯ И АРХИТЕКТУРА

Л.А. Королева, А.А. Королев

Анализируются вопросы происхождения, архитектуры, содержания культовых зданий, воссоздания мечетей Пензенской области.

*Ключевые слова: Россия, СССР, ислам, мечеть, Пензенская область.*

## MOSQUES IN THE PENZA REGION: HISTORY AND ARCHITECTURE

L.A. Koroljova, A.A. Koroljov

In the article the questions of the origin, architecture, maintenance of cult buildings and reconstruction of mosques in the Penza region are analyzed.

*Keywords: Russia, the USSR, Islam, a mosque, Penza region.*

Мечети являются материальной базой социальной консолидации мусульман, духовными центрами мусульманского населения и опорными точками в процессе массового распространения ислама. Большая часть мусульманских общин возникла и существует на базе мечетей. Без их создания активная пропаганда исламского учения весьма проблематична.

Первые мечети появились в Пензенском крае (г. Мохша — на территории современного пос. Наровчат) в начале XIV в. при его вхождении в состав одного из улусов Золотой Орды [4, с. 332–333]. В связи с активизацией миссионерской деятельности Русской православной церкви к 1744 г. большая часть пензенских мечетей была разрушена. После указа Сената от 1756 г. в Пензенской губернии возобновляется активное строительство молитвенных зданий мусульман и в 1826 г. насчитывалось уже 70 мечетей [4, с. 332–333].

Советская власть нанесла значительный ущерб исламским культовым зданиям. Так, количество мечетей в Пензенской области к концу 1940-х гг., по сравнению с дореволюционным периодом, составляло лишь 17,5 % [2, д. 2, л. 34]. В соответствии с «Инструкцией для уполномоченных Совета по делам религиозных культов» после разрешения Совета на открытие мечети необходимо было в 7-дневный срок заключить с местными верующими договор на передачу здания мечети и культового имущества.

В договоре предусматривалась передача здания в бессрочное бесплатное пользование верующим, которые, в свою очередь, должны были «беречь здание,.. мечетью и ... предметами культа ... пользоваться исключительно для удовлетворения религиозных потребностей...» [2, д. 14, л. 16].

Мечети в Пензенской области являлись своего рода универсальными культовыми зданиями, т.е. среди них уже отсутствовало четкое деление на соборные и пятничные, сельские и квартальные. При большинстве мечетей, зарегистрированных по состоянию на 01.01.1952 г., имелись минареты, с 1960-х гг. «призывы» муэдзинов проводились не с минаретов, а в коридорах мечетей во избежание конфликтов с властями. Бассейнов или специальных сооружений для омовений, как правило, в средне-волжских культовых зданиях не было [2, д. 26, л. 183; д. 18, л. 124].

Мечети в Пензенской области имеют свои характерные особенности: отсутствует внутренний двор; высокая крыша, как правило, двускатная с единственным минаретом. Обычно татарская мечеть располагается на пересечении улиц, в городских массивах, а не на площади; ее внешний вид зачастую не отличается от жилых домов. Татарская мечеть почти всегда носит имя конкретного исторического персонажа. Мечети в основном были возведены в период с 1875 по 1908 г. и представляли собой деревянные срубовые здания средней вместимости 200–500 чел. Из архивных материалов следует, что «официальные» пензенские мечети были зарегистрированы в основном в 1945–1946 гг. К 1960-х гг. многие сельские мечети были уже электрифицированы, тогда как во многих жилых домах отсутствовало электрическое освещение. Ни одно из зданий мечетей на территории Пензенской области не было признано памятником архитектуры [3, д. 33, л. 27].

В Пензенской области в 1945 г. было зафиксировано 7 действовавших исламских культовых зданий – мечетей. Недействовавших мечетей в середине 1940-х гг. в Пензенском крае было 75. Собственно в Пензе действующей мечети не было. В качестве места сбора верующих мусульман использовались городское татарское кладбище и дома мусульман. Организаторами молений в Пензе являлись пенсионеры в возрасте 70–80 лет: Л. Бекташев, кладбищенский сторож, Л. Каркаев, Ларин, М. Тифитуллин. В 1960-х гг. была предпринята самовольная попытка построить на татарском кладбище здание мечети под видом здания для хранения похоронного инвентаря. Силовым вмешательством органов власти данное строительство было предотвращено [1, д. 5235, л. 59; 2, д. 2, л. 34; д. 1, л. 39; д. 18, 2. 124].

Советское пензенское исламское духовенство было представлено муллами (имамами) и муэдзинами (муэдзины при мечетях в Пензенской области появились только в 1960-х гг.). Мулла, обычно выбираемый самими мусульманами из своей среды, отправлял культ и иногда преподавал ислам детям. Муэдзин (азанчи) являлся служителем мечети, который призывал верующих мусульман на молитву (азан).

Мусульмане весьма активно подавали прошения об открытии мечетей, особенно в послевоенный период. Так, только в 1946 г. на имя уполномоченного Совета по делам религиозных культов по Пензенской области С.Д. Горбачева поступили ходатайства об открытии мечетей из 17 татарских селений. Инициаторами обращений в партийные и государственные организации с ходатайствами об открытии культовых зданий выступали в первую очередь люди пожилого возраста. Например, организаторами подачи заявления об открытии мечети в с. Алеево Неверкинского района Пензенской области являлись Я.И. Салихов, 66 лет, отец бывшего председателя колхоза; А.Б. Бексалиев, 65 лет, бывший мулла; Х.А. Рахматулин, 75 лет, отец председателя сельсовета [2, д. 1, л. 108; д. 5, л. 26]. Причем данные послания отличались особой эмоциональностью и многословием. В апреле 1956 г. на имя председателя Совета Министров СССР Н.А. Булганина и первого секретаря ЦК КПСС Н.С. Хрущева поступило заявление от «уполномоченного от коллектива верующих граждан» с. Средняя Елюзань Пензенской области И.А. Альбекова: «Мы, старики, ... решили обратиться к Вам с убедительной просьбой дать соответствующее распоряжение, кому следует, на открытие в селе ... мечети № 1 прихода для совершения богослужб нам, труженикам сельского хозяйства, вкладывавшим свой труд десятками лет. Даже не соизволил он

прислать нам ответа на наши неоднократные к нему ходатайства об этом. Теперь, в связи с его смертью, мы вновь решили обратиться к вам... Даем обязательство возместить все расходы, связанные с подачей телеграмм... Надеемся, что наша просьба труженников полей не останется пустым гласом вопиющего в пустыне» [2, д. 18, л. 269-об].

Вопрос использования культовых зданий для мусульман, пожалуй, был одним из самых больных. Да и представителям власти доставлял «головную боль». Так, в 1946 г. уполномоченный Совета по делам религиозных культов по Пензенской области С.Д. Горбачев вынужден был вмешаться в конфликт между Каменским райисполкомом и мусульманами. Как он сообщал в отчете, «имелся факт нарушения советского законодательства Каменским райисполкомом в том, что он допустил слом двух мечетей в с. Кочалейка, одна из этих мечетей была разрешена Советом к открытию. Каменский райисполком умалчивал об этом факте до посылки ... извещения верующим об открытии им мечети» [1, д. 4714, л. 45; 2, д. 41, л. 1]. В 1949 г. советские органы Неверкинского района Пензенской области самовольно начали использовать здание функционировавшей мечети с. Демино Неверкинского района под зернохранилище. В результате предпринятых мер со стороны уполномоченного Совета по Пензенской области мечеть была возвращена «в пользование верующих».

Выполняя постановления ЦК КПСС от 13 января 1960 г. и 16 марта 1961 г., в Пензенской области деятельность уполномоченного Совета по делам религиозных культов активизировалась. В русле антицерковной государственной политики в 1960 г. в Пензенской области были прекращены моления в действовавших мечетях в с. Татарский Канадей Кузнецкого района и с. Белозерка Бедно-Демьяновского района, затем обе мечети были закрыты. Основанием для закрытия мечети в с. Белозерке послужили ветхое состояние молитвенного здания и распад общины. В течение нескольких последних лет моления в мечети проводились исключительно по большим религиозным праздникам и в летнее время. Зимой помещение не отапливалось. После смерти муллы община длительное время не возбуждала ходатайства о назначении нового служителя культа. В связи с данными обстоятельствами областной исполком 22 февраля 1962 г. с согласия Совета по делам религиозных культов при Совете Министров СССР принял решение о закрытии мечети и снятии общины с регистрации. 30 января 1963 г. сельский облисполком опять же с согласия Совета по делам религиозных культов при Совете Министров СССР постановил снять с регистрации религиозную общину и закрыть мечеть в с. Татарский Канадей Кузнецкого района, поскольку на расстоянии одного километра в соседнем с. Большой Труев Кузнецкого района находилась действующая мечеть, в которой верующие могли удовлетворять свои религиозные потребности, кроме того, татар-канадейская религиозная община фактически распалась. По рекомендации уполномоченного Совета по Пензенской области С.С. Попова Кузнецкий райисполком вынес решение о запрещении проведения молений в здании мечети с. Малый Труев ввиду его неудовлетворительного технического состояния – провисли потолочные балки. Актив религиозной общины в ответ возбудил ходатайство о продлении функционирования мечети, для чего решено было провести капитальный ремонт здания. Областной исполком прошение верующих отклонил. В результате мусульмане стали удовлетворять свои религиозные потребности в соседнем с. Большой Труев. В 1960 г. действовавшая мечеть в с. Малый Труев Кузнецкого района была закрыта и снята с регистрации. Здания мечетей переоборудовали под школу (с. Малый Труев) и сельский клуб (с. Татарский Канадей). «Эпопея» с закрытием мечетей в с. Малый Труев, Большой Труев и Татарский Канадей Кузнецкого района началась еще в 1950-х гг. Прежде чем предпринимать столь кардинальные действия, уполномоченный Совета по Пензенской области С.С. Попов заручился поддержкой мухтасиба Я.С. Юсупова. В беседе Я.С. Юсупов на вопрос о необходимости иметь три действующие мечети в тех населенных пунктах ответил: «Можно обойтись и с одной мечетью, т.к. эти села близко расположены друг от друга. Если сумеете закрыть – закрывайте, я возражать не буду. Сам же я на эту тему с верующими говорить не буду, они меня «разорвут» за это...» [1, д. 4714, л. 45; д. 4114, л. 87]. В это же время были «своевременно выявлены создавшиеся удобные условия для закрытия

действующей мечети в с. Татарское Никольское Пачелмского района». Данное молитвенное здание в с. Татарское Никольское функционировало с 1945 г. Базой для ее деятельности было татарское население двух небольших сел – Татарское Никольское и Никитино Пачелмского района, насчитывавших около 130 дворов. По мнению уполномоченного Совета, контингент верующих с момента открытия мечети значительно сократился. Из-за малочисленности верующих моления в мечети проводились только в дни пятниц и религиозных праздников. Здание мечети пришло в ветхое состояние, у общины не имелось достаточно средств для необходимого ремонта помещения. Пачелмский райисполком по рекомендации уполномоченного Совета С.С. Попова запретил проведение в аварийном здании мечети молений верующих. Актив мусульманской общины пытался предотвратить закрытие мечети. Однако в результате «профилактической» работы уполномоченного Совета подавляющее большинство взрослого населения сел не оказало поддержки инициаторам. Мусульманская община начала распадаться. В мае 1960 г. здание мечети было разобрано, строительный материал от разборки использовали на постройку интерната при средней школе в с. Татарское Никольское Пачелмского района. По решению Совета по делам религиозных культов при Совете Министров от 28 июня 1960 г. данная община была снята с регистрационного учета действовавших религиозных общин. В течение 1960–1962 гг. в результате предпринятых мер со стороны уполномоченного Совета по делам религиозных культов на территории Пензенского края распалось 17 незарегистрированных мусульманских групп [2, д. 16, л. 37].

Также весьма продолжительной оказалась история, связанная с мечетью в с. Средняя Елюзань Пензенской области. Сельчане Средней Елюзани Городищенского района в 1958 г. самостоятельно, без согласования с уполномоченным Советом, провели капитальный ремонт пустующего мечетного здания и стали добиваться его открытия. Причем капитальные ремонтные работы проводились с ведома бывшего председателя сельсовета Г.А. Дашкина, директора совхоза Х.Р. Исляева, секретаря парткома совхоза Р.К. Агишева. Незаконные действия верующих были прекращены только при вмешательстве областных органов власти. Во время приема мухтасиба Я.С. Юсупова уполномоченным Советом по делам религиозных культов по Пензенской области ему было заявлено, что облисполком открытие второй мечети в селе не разрешит, поскольку в ней нет необходимости. Затем прозвучало, что «если религиозная община будет и в дальнейшем допускать самоуправленческие действия и попытается самовольно занять пустующее здание мечети, то будет решен вопрос о закрытии и действующей мечети в этом селе, так как религиозная община нарушает установленный законом порядок ее деятельности». После такого предупреждения Я.С. Юсупов лично выехал в село, провел встречу с верующими и заверил местные власти, что из данного села ходатайств об открытии второй мечети больше поступать не будет [2, д. 28, л. 51–52].

Однако в 1972 г. после объединения двух колхозов в один «Елюзанский» активность верующих мусульман начала проявляться с большей силой. В Совет по делам религий при Совете Министров СССР было направлено коллективное прошение за подписями 348 человек об открытии второй мечети в с. Средняя Елюзань. В июне 1974 г. в редакцию газеты «Пензенская правда» поступило анонимное письмо «от престарелых инвалидов Отечественной войны»: «Мы с просьбой обратились в Москву открыть мечеть, так как тяжело ходящим старикам... Но с каким правом городищенский райисполком отказал? ...Немного, год или два-три, потом жизнь наша сама по себе кончится. Или нам обратиться к товарищу Ермину, как нашему депутату?» [2, д. 63, л. 95]. Хотя на каждое обращение давались аргументированные и убедительные отказы от властных структур, поток ходатайств не прекращался. Заявление от Н.Я. Бараева и Ш.С. Бахтеева (№ 745/1 от 3 октября 1974 г.) и коллективное письмо от 22 верующих были направлены в ЦК КПСС, лично Л.И. Брежневу. Поскольку предыдущая практика прошений не возымела действия, то в посланиях начали звучать другие «сюжеты». Верующие обвиняли власти в том, что последние поверхностно подходят к вопросу, не вникают в ситуацию: «Уважаемые члены Политбюро ЦК КПСС!... Среди нас возрастает страсть к чистоте и гигиеничности проведения

исламского вероисповедания, не меркнет, а, напротив, все более усиливается желание достигнуть цели, несмотря на незаконно проводимые сельским советом денежные взыскания». Под «денежными взысканиями подразумевались штрафы за обращения об открытии второй мечети в размере 100, 120 руб., взимавшиеся местным председателем сельсовета. «Мы понимаем и верим, что все святое, нужное и полезное могло быть возвращено нам лишь тогда и в том случае, когда Политбюро,.. а также областное руководство подойдут к решению этого вопроса подлинно с ленинских позиций. Вы чересчур передоверяете местному руководству, а последнее ... богохульникам и стяжателям. Примером этого служит наш мулла из ныне действующей мечети. Он, «проповедник, святой гражданственности», Х.Х. Кызылов умеет ловчить перед кем угодно и так, как ему выгодно...». В письме указывалось, что Х.Х. Кызылов предоставил во время Великой Отечественной войны фиктивные справки об инвалидности, вследствие чего не подлежал призыву. Противодействие Х.Х. Кызылова открытию второй мечети авторы объясняли следующим образом: «Интересы денежного мешка и вдвое большей полноты ему, этому «священнослужителю», дороже и выгоднее истинной веры» [2, д. 63, л. 102–104]. Несмотря на многочисленные ходатайства, вторая мечеть в с. Средняя Елюзань не была открыта. В 1974 г. мечетное здание было занято под склад минеральных удобрений. Однако вскоре, весной 1975 г., по указанию руководства совхоза удобрения были вывезены на поля и культовое здание вновь оказалось свободным. Таким образом, вновь были созданы условия, провоцирующие верующих ходатайствовать об открытии мечети. В здании сельчане быстро сделали косметический ремонт. Руководителям совхоза «Елюзанский» было предложено немедленно занять мечетное здание для хранения совхозных материалов. Секретарь парткома совхоза Р.К. Агишев в декабре 1975 г. информировал район и область об организации в здании склада для хранения запчастей от сельхозмашин. Однако, как выяснилось в ходе проверки, данное сообщение было ложным, и здание мечети оставалось пустым. Более того, верующие продолжали его ремонтировать и уже провели новую электропроводку. Временно исполнявший обязанности директора совхоза «Елюзанский» И.Ф. Тугушев откровенно заявил, что невозможно занять под склад пустующее здание мечети из-за того, что рабочие просто отказываются выполнять распоряжения совхозного руководства [2, д. 87, л. 124; д. 91-а, л. 47; 1, д. 5235, л. 67].

Несмотря на либерализацию советской конфессиональной политики в СССР после войны, в целом, на конец 1940-х – начало 1950-х гг. приходится «всплеск» закрытия мечетей в Пензенской области: 1950 г. – с. Усть-Инза – под клуб; с. Демино, Погорельный Чирчими, Сулеймановка – под Андреевскую лесозащитную станцию; 1951 г. – с. Второе Тарлаково – под клуб; с. Кунчерово – под школу; 1952 г. – с. Алеево – под школу [2, д. 18, л. 185].

Недовольство верующих было столь велико, что в различные инстанции хлынул буквально поток прошений об открытии мечетей и жалоб на волонтаристские действия местных властей. Как следствие, в 1955 г. властями было принято Постановление Совета Министров СССР № 259 от 17 февраля 1955 г., по которому решения по ходатайствам верующих об открытии молитвенных зданий принимают Советы Министров союзных республик по согласованию с Советом по делам религиозных культов при Совете Министров СССР. Совету также предоставлялось право зарегистрировать фактически действующие, но незарегистрированные религиозные общества, имеющие молитвенные здания [1, д. 1, л. 39].

К середине 1960-х гг. динамика закрытия мечетей снизилась. В соответствии с указаниями Совета были отменены «как необоснованные преждевременно начавшие осуществляться мероприятия по закрытию мечети в с. Нижняя Елюзань Городищенского района Пензенской области» [2, д. 41, л. 46].

Верующие часто не были согласны с волонтаристскими решениями властей по поводу закрытия мечетей и зачастую самостоятельно пытались восстановить на местах справедливость в их понимании. Так, в середине 1950-х гг. в с. Кикино Каменского района Пензенской области мусульмане «посредине села самочинно стали строить



мечеть, возвели сруб и подготовили его для покрытия» [2, д. 16, л. 37]. Лишь вмешательством райисполкома строительство было прекращено.

Даже после прекращения использования мечетей по назначению коренного переоборудования зачастую в них не происходило, как будто верующие мусульмане надеялись на недолговечность «действий, не угодных Аллаху». Например, в с. Татарский Канадей Кузнецкого района Пензенской области одно из зданий мечети более десяти лет использовалось под школу. Первоначально в нем размещалась начальная школа, затем – филиал средней школы с. Большой Труев. Несмотря на длительный срок использования мечети в качестве школьного помещения, оно продолжало сохранять «церковный вид» – на здании сохранялся минарет (шпилевая башня с полумесяцем). Здание больше напоминало не советскую школу, а, скорее, духовное медресе. Хотя это не требовало никаких особых материальных затрат, минарет так и не разбирали. В пензенских селах Татарский Канадей, Татарская Пенделка, Бестянка Кузнецкого района пустующие здания мечетей также сохраняли «церковный» вид. Ни капитального переоборудования, ни разборки зданий так и не было проведено; шпили минаретов по-прежнему возвышались над мечетями. В с. Нижняя Елюзань Городищенского района, несмотря на наличие клуба, который размещался в здании бывшей мечети, культурно-просветительская работа практически не велась, поскольку «местное население (татары) по своим религиозным убеждениям считают за «грех» пользоваться культурно-просветительскими мероприятиями в здании, которое являлось «священным» местом» [2, д. 1, л. 290; д. 29, л. 224, 389–390].

С 1950-х гг. мусульманское духовенство, пытаясь «модернизировать свое религиозное учение и вопреки ранее принятым обычаям, открыто стало привлекать женщин-татарок в мечети» [2, д. 5, л. 132]. Мухтасиб Я.С. Юсупов поощрял посещение женщинами мечетей, считая, что запрещение «Корана в данном отношении устарело, поскольку именно через семью, через женщину идет воспитание с детства религиозного убеждения в ребенке. Муллы, которые уклонялись от привлечения женщин в мечети, он называл «твердолобыми». Один из представителей мусульманского духовенства в беседе с уполномоченным Совета по делам религиозных культов по Пензенской области заявил: «Женщина является другом мужчины. Она заботится о его здоровье, создает уют, воспитывает детей. Мы не можем оставить ее без нашего влияния. Раньше женщину просто незаслуженно обижали тем, что запрещали ей ходить в мечеть» [2, д. 5, л. 85]. Как следствие, в мечетях с. Большой Труев, Татарский Канадей, Бестянка Кузнецкого района Пензенской области были оборудованы специальные комнаты для моления женщин. В некоторых случаях оборудование отдельных помещений для молений женщин было связано с капитальным переоборудованием и перепланировкой мечети. В мечети с. Нижняя Елюзань Городищенского района под помещение для молений женщин был переоборудован нижний этаж мечети – склад под дрова. Община самостоятельно провела капитальный ремонт [2, д. 5, л. 131].

Обобщая и анализируя свой опыт по закрытию мечетей, уполномоченный Совета по Пензенской области делал разумные выводы: «Осуществление этих мероприятий, безусловно, должно проводиться продуманно, без какой-либо поспешности и административного нажима и должно повлечь за собой не просто формальное закрытие молитвенного здания, а фактическую ликвидацию религиозной общины и полное прекращение ее деятельности» [2, д. 29, л. 390].

Во второй половине 1980-х гг. наблюдается значительное усиление религиозности населения в стране; по мнению некоторых отечественных специалистов, произошло «возрождение» ислама, что нашло свое отражение и в Пензенской области. В период с 1990 г. в Пензенской губернии было построено более 23 мечетей [4, с. 333]. Строительство и восстановление мечетей осуществляются на средства религиозных общин и пожертвования населения.

Таким образом, вопреки системности и масштабности антицерковной работы государства мусульманские религиозные общины, в том числе и на базе мечетей, продолжали весьма эффективно функционировать, и уровень религиозности татарского населения Пензенской области оставался стабильно высоким; ислам доказал

свою жизнеспособность как форма общественного сознания, продемонстрировав способность адаптироваться к изменяющимся социальным и политическим условиям советского общества. Социалистический режим «допускал» лишь простые и непритязательные по своей архитектуре мусульманские культовые здания. Как верно заметил Халит Н.: «Попытки мусульман Поволжья сохранить функции мечети как общественного центра в новой истории Поволжья не сопровождались адекватными архитектурными решениями, и их архитектура практически вышла на грань вырождения» [5]. Восстановленные пензенские мечети повторяют прежние архитектурные принципы «репрессированных» культовых зданий.

#### Список литературы

1. Государственный архив Пензенской области (ГАПО). Ф. 148. Оп. 1.
2. ГАПО. Ф. 2392. Оп. 1.
3. Государственный архив Самарской области (ГАСО). Ф. 4089. Оп. 1.
4. Пензенская энциклопедия [Текст]. – Пенза; М.: Большая Российская энциклопедия, 2001. – 759 с.
5. Халит, Н. Полемика вокруг реконструкции мечети Кул-Шарифа в Казанском Кремле: политические аспекты защиты татарского архитектурного наследия [Электронный ресурс] / Н. Халит // ПАНОРАМА-ФОРРУМ. – 1997. – № 12. – Режим доступа: [www.kcn.ru/tat\\_ru/politics/pan/index](http://www.kcn.ru/tat_ru/politics/pan/index).

---

# ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

## ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 69.003

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Хрусталёв Борис Борисович**, доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономика, организация и инвестиции»  
Тел.: (88412) 55-75-53  
E-mail: hrustalev\_bb@mail.ru

**Горбунов Валерий Николаевич**, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, организация и инвестиции»  
Тел.: (88412) 55-75-53  
E-mail: valera\_gorbunov@mail.ru

**Акифьев Илья Владимирович**, аспирант кафедры «Экономика, организация и инвестиции»  
Тел.: (88412) 55-75-53  
E-mail: huntersu@yandex.ru

*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St., tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Khrustalev Boris Borisovich**, Doctor of Science in Economic, Professor, Head of the department «Economics Organization and Invest»  
Tel.: 8(8412)55-75-53  
E-mail: hrustalev\_bb@mail.ru

**Gorbunov Valeriy Nicholaevich**, Candidate of Science in Economic, Associate Professor of the department «Economics Organization and Invest»  
Tel.: (88412) 55-75-53  
E-mail: valera\_gorbunov@mail.ru

**Akifyev Ilya Vladimirovich**, Postgraduate of the department «Economics Organization and Invest»  
Tel.: (88412) 55-75-53  
E-mail: huntersu@yandex.ru

### ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ В ЗОНАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ\*

Б.Б. Хрусталёв, В.Н. Горбунов, И.В. Акифьев

Рассмотрены вопросы стратегического развития предприятий в зонах деятельности строительного комплекса Пензенской области. Предложены подходы к формированию стратегий на основе оценки влияния факторов внешней среды на уровень стратегического развития предприятий при вертикальном и горизонтальном развитии экономической системы строительного комплекса.

*Ключевые слова: строительный комплекс, зона деятельности, стратегия.*

---

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта РГНФ («Формирование и развитие зон деятельности предприятий региональных строительных комплексов (на примере Пензенской области)», проект 10-02-28203а/В.

## THE FORMATION OF DEVELOPMENT STRATEGY FOR ENTERPRISES IN ACTIVITY ZONES OF REGIONAL BUILDING COMPLEX OF PENZA REGION

B.B. Khrustalev, V.N. Gorbunov, I.V. Akifyev

The article deals with the issues of building complex enterprises strategic development in activity zones of Penza region. Some approaches to strategy formation on the basis of assessment of environmental factors impact on the level of strategic enterprise development in vertical and horizontal development of the building complex economic system are offered.

*Keywords: building complex, activity zone, strategy.*

Современная экономика определяет условия для функционирования и развития предприятий строительного комплекса, предъявляя особые требования к изучению вопросов стратегического развития и адаптации предприятий в сложных экономических ситуациях. В условиях административно-территориального деления в рамках муниципальных образований предприятиям сложно достигнуть высокого уровня развития, опираясь лишь на собственные возможности и ресурсы. Для решения этих задач требуется разработка моделей процесса принятия решения, что позволит осуществить выбор рационального варианта стратегии развития предприятия. Известен широкий спектр стратегий развития предприятий строительного комплекса, как традиционных, так и нетрадиционных. Конкретное предприятие сталкивается с необходимостью выбора варианта стратегии, отвечающего требованиям рынка, возможностям самого предприятия и обеспечивающего его эффективную работу. Для создания эффективной стратегии развития строительного предприятия следует комплексно подходить к её формированию, становлению и развитию.

При разработке и выборе стратегий развития предприятий строительного комплекса акцент может быть сделан на входные или выходные параметры экономической системы с учётом особенностей её горизонтального и вертикального развития. Можно выделить три направления развития предприятий строительного комплекса.

**Первое направление** – это развитие предприятий строительного комплекса с привязкой их к потребителю конечной продукции с целью снижения затрат, связанных с использованием трудовых, финансовых, информационных ресурсов, и одновременного повышения затрат по привлечению материальных ресурсов, их транспортировке и т.д.

**Второе направление** – это формирование стратегии развития строительного комплекса с учетом зон деятельности предприятий с привязкой их к материальным ресурсам с целью снижения затрат, связанных с использованием последних, и одновременного повышения затрат по привлечению всех остальных ресурсов.

**Третье направление** основывается на рациональном сочетании двух предыдущих направлений. Данный подход ориентирован на минимизацию расстояний перемещения, концентрацию ресурсов при горизонтальном развитии строительного комплекса.

Практическая реализация этих направлений осуществляется с учетом инновационных, инвестиционных факторов, а также факторов регионального и внутрифирменного развития. Для выбора рациональных направлений развития строительным предприятиям необходимо:

1. Провести анализ организационно-экономической ситуации на предприятии. Находясь в одной из четырех возможных ситуаций, предприятие строительного комплекса должно определить механизм по оптимизации параметров деятельности. С этой целью была разработана экономико-математическая модель формирования стратегии развития предприятий строительного комплекса (рис. 1), которая характеризует эффективный вариант развития.

2. Определить группы факторов, влияющих на эффективность деятельности строительных предприятий и уровень их стратегического развития, и выявить из полученной совокупности наиболее значимые факторы на основе метода экспертных оценок. Факторы можно условно разделить на четыре группы – инновационные, инвестиционные, внутрифирменные и рыночные.

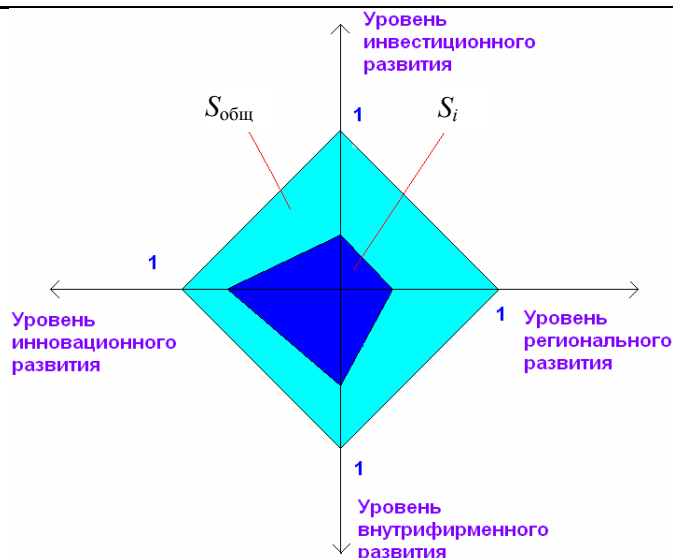


Рис. 1. Модель стратегического развития предприятий строительного комплекса с учетом основных организационно-экономических ситуаций:

$S_i$  – фактическая область реализации стратегии, образуемая всеми уровнями стратегического развития предприятия ( $Y_1 – Y_4$ ) в условиях конкретных ситуаций в пределах эффективной зоны деятельности;  $S_{общ}$  – потенциальная область реализации стратегии развития предприятия

3. Количественно оценить степень влияния выявленных факторов на эффективность деятельности строительных предприятий и уровень их стратегического развития (табл. 1). Эффективная деятельность предприятия по уровню стратегического развития может осуществляться по одному из четырех возможных вариантов.

Т а б л и ц а 1

Количественная оценка влияния факторов на уровень стратегического развития строительных предприятий

Показатель 1	Расчетная формула 2	Условные обозначения 3
Уровень инновационного развития $Y_1$	$Y_1 = \sqrt[3]{Y_{пт} \times Y_{ка} \times Y_{тс}}$	$Y_{ка}$ – уровень качества $Y_{пт}$ – уровень производительности труда $Y_{тс}$ – уровень технического состояния
Уровень регионального развития $Y_2$	$Y_2 = \sqrt[3]{Y_{тр} \times Y_{рр} \times Y_{рсор}}$	$Y_{тр}$ – уровень транспортной развитости региона $Y_{рр}$ – уровень инвестиционной привлекательности региона $Y_{рсор}$ – уровень развития строительной отрасли в регионе
Уровень инвестиционного развития $Y_3$	$Y_3 = \sqrt[3]{Y_{ссс} \times Y_{эф} \times Y_{р}}$	$Y_{ссс}$ – уровень соотношения заёмных и собственных средств предприятия $Y_{эф}$ – уровень эффективности основной деятельности $Y_{р}$ – интегральный уровень риска
Уровень внутрифирменного развития $Y_4$	$Y_4 = \sqrt[4]{Y_{впп} \times Y_{спец} \times Y_{и} \times Y_{ф}}$	$Y_{впп}$ – уровень выполнения плана проекта $Y_{спец}$ – уровень специализации $Y_{и}$ – уровень издержек производства $Y_{ф}$ – уровень использования финансовых ресурсов

1	2	3
Уровень стратегического развития $Y_{стр}$	$Y_{стрраз} = \sqrt[4]{Y_1 \times Y_2 \times Y_3 \times Y_4}$	$Y_1$ – уровень инновационного развития предприятия $Y_2$ – уровень инвестиционного развития предприятия $Y_3$ – уровень регионального развития предприятия $Y_4$ – уровень внутрифирменного развития предприятия

4. Рассчитать уровень стратегического развития предприятия ( $Y_{стр}^p$ ).

5. Полученный результат сравнить с планируемым уровнем стратегического развития ( $Y_{стр}^{пл}$ ). Если  $Y_{стр}^p > Y_{стр}^{пл}$ , то направление развития выбрано верно, и можно обойтись без рассмотрения вариантов повышения эффективности стратегии. Если  $Y_{стр}^p \leq Y_{стр}^{пл}$ , то предприятию необходимо определить уровень внутрифирменной стратегии развития предприятия и выбрать вариант повышения уровня стратегического развития.

6. При выполнении условия  $Y_{стр} > Y_{стр}^{пл}$  предприятие может установить одну из возможных рациональных форм стратегического развития.

Анализ вариантов перехода предприятия из менее благоприятной организационно-экономической ситуации в более благоприятную позволит выбрать эффективный вариант развития, разработать стратегию и получить требуемые конечные результаты деятельности (рис. 2).

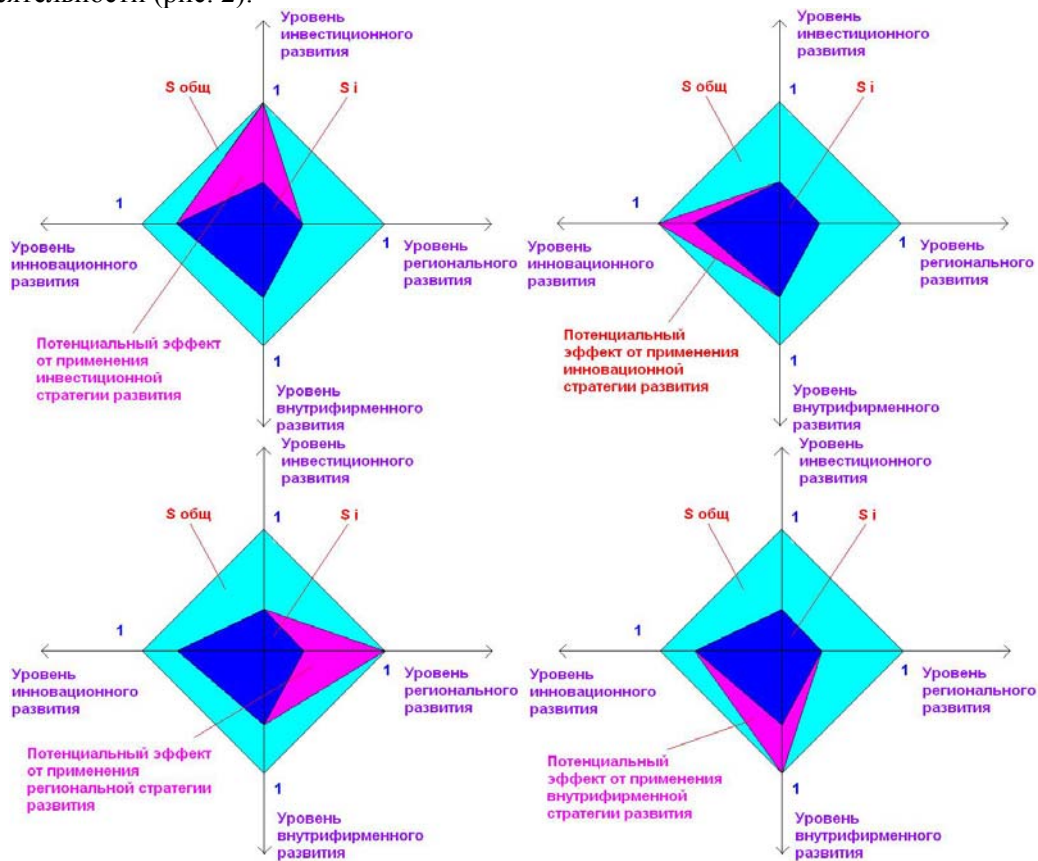


Рис. 2. Потенциальный эффект от применения каждого из видов стратегии применительно к конкретному предприятию:

$S_i$  – фактическая область реализации стратегии, образуемая всеми уровнями стратегического развития предприятия ( $Y_1 - Y_4$ ) в условиях конкретных ситуаций в пределах эффективной зоны деятельности;  
 $S_{общ}$  – потенциальная область реализации направлений стратегии развития предприятия

На основе общей модели стратегического развития предприятия возможны следующие варианты реализации стратегии:

1. При постоянных уровнях инвестиционного, регионального и внутрифирменного развития ( $Y_2$ ,  $Y_3$  и  $Y_4$ ) предприятие разрабатывает план мероприятий, направленных на развитие инновационной стратегии ( $S_1$ ).

2. При постоянных уровнях инновационного, регионального и внутрифирменного развития ( $Y_1$ ,  $Y_3$  и  $Y_4$ ) предприятие разрабатывает план мероприятий, направленных на развитие инвестиционной стратегии ( $S_2$ ).

3. При постоянных уровнях инновационного, инвестиционного и внутрифирменного развития ( $Y_1$ ,  $Y_2$  и  $Y_4$ ) предприятие разрабатывает план мероприятий, направленных на развитие региональной стратегии ( $S_3$ ).

4. При постоянных уровнях инновационного, инвестиционного и регионального развития ( $Y_1$ ,  $Y_2$  и  $Y_3$ ) предприятие разрабатывает план мероприятий, направленных на развитие внутрифирменной стратегии ( $S_4$ ).

Наиболее рациональным вариантом реализации стратегии является обобщённый вариант со следующими критериями деятельности:

$$\left. \begin{array}{l} X_i \rightarrow \max \\ B_i \rightarrow \text{opt} \\ C_i \rightarrow \max \\ S_i \rightarrow \text{opt} \\ Z_i \rightarrow \text{opt} \end{array} \right\} \rightarrow Y_{\text{стр}}, \Pi \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $X_i$  – факторы внешней и внутренней среды, влияющие на формирование стратегии развития предприятия;  $B_i$  – варианты развития экономической системы;  $C_i$  – экономико-организационные ситуации;  $S_i$  – стратегии развития предприятия;  $Z_i$  – эффективная зона деятельности предприятия;  $Y_{\text{стр}}$  – показатель уровня стратегического развития предприятия;  $\Pi$  – прибыль.

В табл. 2 представлены данные расчета уровней стратегического развития на конкретных предприятиях Пензенской области с учётом верно выбранной стратегии развития, находящихся в зонах эффективной деятельности.

Т а б л и ц а 2

Стратегическое развитие предприятий строительного комплекса Пензенской области в эффективных зонах деятельности

Зона деятельности	№ п/п	Район	Строительное предприятие	Минерально-сырьевая база	Уровень стратегического развития	Вариант	Необходимая стратегия
1	2	3	4	5	6	7	8
Северо-восточная	1	Нижне-ломовский	ООО «ЛомовРемСтрой»	+	0,35	$B_1$	$S_2$
	2	Пензенский	ООО «Регионгазтепломонтаж»	-	0,23		
	3	Мокшанский	ООО «Бинокор»	+	0,28		
Северо-западная	4	Никольский	ИП Шиндин Юрий Васильевич	-	0,05	$B_2$	$S_1$
	5	Городищенский	ЗАО «Грунт+»	-	0,24		
	6	Городищенский	ООО «Модуль»	-	0,21		

1	2	3	4	5	6	7	8
Центральная	7	Пензенский	ОАО «Пензастрой»	-	0,57	B <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
	8	Пензенский	ООО ПКФ «Термодом»	-	0,59		
	9	Пензенский	ЗАО «Стройдизайн-консалтинг»	-	0,56		
Юго-восточная	10	Тамалинский	ООО «Авантаж»	+	0,13	B <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>
	11	Сердобский	ООО «Горстрой»	-	0,15		
	12	Тамалинский	ООО «Производственно-строительная компания «Стройсервис»	+	0,1		
Юго-западная	13	Кузнецкий	ООО «Стройсервис»	-	0,40	B <sub>1</sub>	S <sub>3</sub>
	14	Кузнецкий	ЗАО «Спецстрой»	-	0,3		
	15	Кузнецкий	ООО «Строй-Н»	-	0,23		

Методика выбора стратегии развития предприятий ориентирована на использование документов бухгалтерской отчетности строительных предприятий и статистических данных того региона, в котором находятся предприятия. Суммарный эффект от реализации комплексной стратегии развития составил 18,2 млн руб. в течение 3,2 года.

Применение разработанной методики формирования стратегии развития предприятий в зонах деятельности будет способствовать реализации стратегии развития строительного комплекса региона и общей концепции управления развитием регионального строительного комплекса путем разработки и внедрения конкретных решений и мероприятий, принятия постановлений, подготовки инструкций, программ на уровне правительств областей и федеральных округов и т.д.

#### Список литературы

1. Хрусталёв, Б.Б. Основные направления становления и эффективного развития рационального инвестиционно-строительного комплекса [Текст] / Б.Б. Хрусталёв. – Пенза: ПГАСА, 2001. – 221 с.
2. Хрусталёв, Б.Б. Научные аспекты формирования и развития эффективных зон деятельности строительного комплекса [Текст] / Б.Б. Хрусталёв, В.Н. Горбунов, А.В. Оргин. – Пенза: ПГУАС, 2007. – 223 с.
3. Хрусталёв, Б.Б. Формирование зон хозяйствования строительного предприятия [Текст] / Б.Б. Хрусталёв, В.Н. Горбунов, И.В. Акифьев // Развитие экономических систем в условиях региональных отраслевых комплексов: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: ПГУАС, 2007. – С.271–275.



# ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПОДГОТОВКА В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ

## PROFESSIONAL TRAINING IN A TECHNICAL HIGHER EDUCATION ESTABLISHMENT

УДК 378.147:75

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Ли Николай Геннадьевич**,  
кандидат педагогических наук,  
профессор кафедры «Рисунок, живопись и  
скульптура». Докторант  
Адрес: 440071, г. Пенза, пр. Строителей,  
д. 37, кв. 56.

Тел.: (8412) 40-81-71  
E-mail: Li-N53@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Lee Nikolai Gennadievich**,  
Candidate of Science in pedagogical,  
Professor of the department  
«Drawing, painting and sculpture».  
Adress: 440071, Penza, 37, Prospect  
Stroiteley, ap. 56

Tel.: (8412) 40-81-71  
E-mail: Li-N53@mail.ru

### ПРОБЛЕМЫ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В ХУДОЖЕСТВЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ

Н.Г. Ли

Рассматриваются актуальные причины недостатка педагогических кадров в системе художественного образования, а также проблемы профессиональной подготовки будущих педагогов-художников в педагогических университетах. Выявляются мотивы снижения познавательной активности студентов на занятиях по академическому рисунку в вузах. Предлагаются пути и способы решения проблемы.

*Ключевые слова: педагогические кадры, художественное образование.*

### PROBLEMS OF THE PEDAGOGICAL PERSONNEL IN ART EDUCATION

N.G. Lee

Some pressing questions of pedagogical personnel deficiency in the system of art education and the problem of their vocational training are considered in the article. The author states the reasons of students cognitive activity decrease in practice of making academic figure in the higher educational establishments. Some ways of this problem decision are given.

*Keywords: pedagogical staff, art formation {\*education\*}.*

Сегодня многие художественные учебные заведения страны испытывают острую нехватку педагогических кадров. Проблема эта имела место и раньше, однако сейчас она приобрела угрожающий характер.

В настоящий момент кафедра изобразительных искусств функционирует благодаря специалистам, закончившим художественные вузы еще в советский период, их возраст составляет 50–65 лет. Количество молодых преподавателей составляет не более двух-трех человек. Лишь единицы из них имеют педагогическое образование, которое, как правило, вызывает большие нарекания. Очевидно, что дефицит педагогических кадров неизбежно приводит не только к текучести, но и к снижению качества художественного образования. Понятно, что проблема эта, в первую очередь, обусловлена низкой оплатой труда педагогов. Отсюда отсутствие интереса к педагогической работе у молодых людей, что в целом отражается на их профессиональной подготовке еще в педагогических университетах.

Нерешенность кадровой проблемы в сфере художественного образования в скором будущем может привести к его деградации. К этому сегодня есть все предпосылки.

Профессиональной подготовкой художников-педагогов занимаются исключительно художественно-графические факультеты педагогических университетов и следует отметить, что ее качество оставляет желать лучшего, поскольку то содержание образования, которое реализуется во многих педагогических университетах, не выдерживает никакой критики. Сегодня очень важно повысить качество профессиональной подготовки будущих специалистов. Это касается целого ряда вопросов, начиная с методических и заканчивая психологическими, поскольку именно эти вопросы, как показывают многолетний опыт и наблюдения за работой выпускников художественно-графического факультета, вызывают большие сомнения. В связи с этим особо хочется остановиться на методах обучения академическому рисунку в вузах, так как профессиональная подготовка будущих художников-педагогов во многом зависит и от полноценного усвоения предметных знаний, и от грамотного, профессионального освоения академического рисунка, живописи и других учебных дисциплин.

Результаты мониторинга, проведенного автором на ряде факультетов и кафедр изобразительных искусств, показал, что студенты по-прежнему осваивают академический рисунок исключительно на традиционно-репродуктивной основе. Дело в том, что репродуктивный характер обучения, несмотря на его положительные стороны, все же имеет и негативные моменты, в частности, приучает студентов к бессознательному, чувственному подходу к изучению учебной дисциплины, что существенным образом ограничивает процесс осмысленного восприятия окружающей действительности. Другими словами, студент, воспринимая натуру на уровне чувств, зачастую получает искаженную, недостоверную информацию, и такой подход к изучению академического рисунка мешает развитию и формированию абстрактно-логического мышления. Главная причина чувственного подхода студентов к изучению академического рисунка – это традиционно репродуктивный характер обучения, т.е. процесс учения студентов сводится к срисовыванию натуры.

Известно, что использование тех или иных методов определяет характер обучения (репродуктивный или продуктивный). Сам по себе репродуктивный метод исключительно важен в учебно-изобразительной деятельности, однако без использования других взаимодополняющих методов эффективность его будет снижена, что собственно и наблюдается многие годы при традиционном обучении. Поэтому в обучении необходимо использовать не только привычные методы, но и более эффективные взаимодополняющие методы и средства, так как привычные способы приучают студентов лишь к воспроизводящей функции, которая, как известно, не является главной задачей учебного академического рисунка.

Приученность студентов к репродуктивной функции ограничивает учебно-познавательную деятельность. Ведь учебно-познавательная деятельность подразумевает продуктивную, преобразующую деятельность с целью приобретения новых знаний, в том числе умений и навыков.

В изобразительном искусстве овладение техническим мастерством играет исключительно важную роль. Однако этого далеко не достаточно. Во-первых, необходимо разграничить понятие технического мастерства: одно дело – владеть в совершенстве техникой штриховки, другое – полнотональной техникой рисунка или техникой линейно-конструктивного изображения. Техническое мастерство рисовальщика, несомненно, является неотъемлемым компонентом его практической деятельности. Тем не менее наличие такого компонента не всегда отражает истинные знания предметного содержания. Во-вторых, овладение даже высоким уровнем технического мастерства, в частности, штрихотональной техникой рисования, еще не гарантирует наличия знаний и умений. В качестве примера будет уместно привести факты из истории методов обучения. За время существования академической школы рисунка, в частности, Академии художеств, многие ее выпускники так и не смогли проявить себя в творчестве, хотя и обладали определенным уровнем технического мастерства. Одна из причин этого явления заключается в процессе обучения, в котором чрезмерно много внимания уделялось тщательному штудированию природы, что привело к ограниченному учебному познанию. Технического мастерства в высоком понимании невозможно достичь без глубоких познаний предметного содержания, т.е. его научных основ: знания принципов и закономерностей построения изображений предметных форм, их связей и отношений и т.п. В то же время изучение академического рисунка – это не только знания (теория), но и практика, в процессе которой постепенно приобретаются умения и навыки. Всякое познание – это, прежде всего, активная, интеллектуальная, творческая и преобразующая деятельность студента. Проблема академической школы рисунка состоит в том, что до сих пор не преодолены консервативные взгляды, которые всегда мешали привнесению в школу новых знаний.

В системе обучения академическому рисунку в вузах одним из серьезных недостатков является упорное игнорирование таких крайне важных учебных заданий, как рисование по памяти, представление и воображение. Цель этих заданий состоит в том, чтобы студенты отошли от привычной для них чувственной деятельности и подходили к изучению рисунка более осмысленно. Отсутствие данных заданий связано с тем, что сами преподаватели в свое время не были приучены к работе такого рода и поэтому не придают значения их важности в учебном познании. Кроме того, велика сила инерции, желая двигаться по привычному пути.

Учебный академический рисунок от творческого отличается тем, что в его основу должен быть положен научный принцип познания. Что касается преобладания чувственности студентов в изучении академического рисунка, то такой подход, как показывает многолетняя педагогическая практика, больше мешает процессу познания студентов. Речь идет об обыденном (непреднамеренном) восприятии в учебном процессе, когда студент, наблюдая за природой, часто испытывает большие трудности в получении им достоверной информации о природе и о рисунке. Подтверждением сказанному может служить экспериментальная проверка знаний студентов, проведенная автором в нескольких региональных вузах.

Перед испытуемыми ставилась задача произвести конструктивное построение обрубочной головы в линейно-конструктивном исполнении по памяти. Цель данного задания – проверить степень усвоения прежних знаний, умений производить линейно-конструктивное построение формы головы человека по памяти, определить уровень развития абстрактно-логического мышления студентов. Сеанс длился 4 часа с показом натурной модели студентам в течение 10–15 минут и ее удалением от рисующих с интервалом в 20–30 минут. Результаты исследования показали, что из 13 испытуемых (выпускников художественных училищ, а ныне студентов заочной формы обучения художественно-графических факультетов) практически ни один не справился с этим заданием. Со вторым заданием – рисование гипсовой головы с природы в линейно-конструктивном построении изображения – испытуемые также не справились, поскольку, не владея линейно-конструктивным способом изображения, студенты вскоре перешли к привычному для них тональному рисованию, срисовывая модель на уровне ощущений. Лишь один студент справился с заданием на

начальном этапе построения, однако с переходом на второй этап (выявление формы головы тоном) вместо осмысленного подхода свел работу к срисовыванию светотеней. Эксперимент выявил, что студенты не готовы к выполнению умственных заданий, а приучены больше к срисовыванию с натуры, что свидетельствует об отсутствии у них при этом мыслительной деятельности. Несмотря на это, результаты эксперимента позволили выявить и не менее важные для нашего исследования факты, в частности, показали, что студенты на протяжении всего учебного процесса были вынуждены все свое внимание сосредоточивать на логике перспективно-конструктивного и объемно-пространственного построения изображения предметных форм. Удивительным и неожиданным для самих студентов (по результатам анкетирования) стал тот факт, что они впервые заметили у себя признаки активной умственной деятельности, чего не наблюдалось раньше при традиционном рисовании с натуры.

Вывести студентов на качественно новый уровень познания может использование в практике обучения линейно-конструктивного принципа изображения или метода как рационального способа деятельности, который приучает студентов мыслить абстрактно, логически, конструировать формы в процессе работы над рисунком, т.е. вырабатывает у студентов осмысленный подход к изучению академического рисунка и способствует концентрации внимания на сущности задачи рисунка – грамотное освоение рисунка. Данный метод, как показали результаты экспериментального исследования в течение ряда лет во многих учебных заведениях, в том числе в вузах, является наиболее эффективным способом обучения студентов академическому рисунку. Однако трудности состоят в том, что для успешной реализации этого метода в учебном процессе нужен компетентный педагог, способный правильно организовать учебный процесс и реально осуществлять этот метод. Преимущество аналитического метода, о котором идет речь, состоит в том, что, в отличие от используемого, он значительно активизирует учебно-познавательную деятельность студентов. Это значит, что данный метод позволяет студентам работать над рисунком более осмысленно. К сожалению, существует мнение, что этот метод приводит к схематизму. Такое явление действительно имеет место в практике обучения. Однако, как показал анализ результатов нашего исследования, главной причиной оказалось то, что многие преподаватели не готовы к реализации данного метода в учебном процессе. Очевидность такого факта свидетельствует о наличии проблемы в профессиональной подготовке педагогических кадров в университетах. Будущий педагог-художник, не освоивший линейно-конструктивный метод изображения, не сможет в должной мере осуществлять преподавательскую деятельность. Поэтому можно утверждать, что если преподаватель сам не овладел этим приемом изображения, то все попытки осуществить этот метод в учебном процессе не дадут желаемого результата. Разумеется, успешное решение данного вопроса не ограничивается освоением этого метода, а зависит от наличия комплекса профессиональных качеств обучающего: его профессионального уровня педагогического мастерства; уровня профессионально-художественной, методической и психологической подготовки и других важных качеств.

Другими словами, этот способ, по сути, является базовым методом обучения. Он позволяет студентам проникнуть в суть предметного содержания. Отсутствие у студентов процесса мышления свидетельствует о неэффективности используемых средств деятельности (формы, методы, приемы), включая актуальную на сегодняшний день проблему педагогических кадров. Используемые в традиционном обучении методы и средства по своим характеристикам (в отличие от аналитического) иррациональны, что уже дает основание говорить о преобладании чувств у студентов в познавательном процессе.

Вопрос владения преподавателями рисунка линейно-конструктивным принципом изображения является принципиально важным моментом в практике обучения студентов академическому рисунку, поэтому педагог-художник обязан в совершенстве владеть этим профессиональным приемом, чего требует специфика преподавания учебной дисциплины. При объяснении материала на доске в наглядной форме специальными графическими средствами (точками, линиями) восприятие информации становится более доступным, чем при устном объяснении. Более того, такая форма

изложения информации преподавателем рисунка, как правило, дает исчерпывающие ответы на многие сложные вопросы. Важность овладения таким методическим приемом педагогами исключительно существенна для объяснения студентам наиболее сложных для них положений, узлов, конструкций форм предметов и других закономерностей. Поэтому такой графический прием должен быть в числе главных методических средств будущего педагога-художника. В качестве примера с таким приемом изображения можно ознакомиться в авторских учебниках. Однако любая попытка овладеть таким принципом изображения без соответствующих знаний анатомии, перспективы, пропорции и других закономерностей не приведет к желаемым результатам. К большому сожалению, количество преподавателей, владеющих таким рациональным способом изображения, составляет лишь единицы. Поэтому при профессиональной подготовке педагогических кадров в педагогических университетах в том числе, следует обратить внимание на этот методический аспект.

В заключение следует сказать, что основная проблема привлечения квалифицированных педагогических кадров в сферу художественного образования заключается в необходимости поднятия престижа профессии педагога-художника.

УДК 94 (470)

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза, ул. Титова, д. 28, тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Морозов Сергей Дмитриевич**, доктор исторических наук, профессор кафедры «История» Адрес: 440049, г. Пенза, ул. Мира, д. 45, кв.24 Тел.: (8412) 68-37-88

*Penza State University of Architecture and Construction*

Russia, 440028, Penza, Titov St., 28, tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Morozov Sergey Dmitrievich**, Doctor of Historical Sciences, professor of the department «History» Address: 440049, Penza, 45, Mira St., ap. 24 Tel.: (8412) 68-37-88.

## ИСТОРИЧЕСКАЯ НАУКА В ЭПОХУ «ПЕРЕСТРОЙКИ»

С.Д. Морозов

В жанре исторической публицистики анализируются состояние и развитие Советской исторической науки накануне и в годы «перестройки» и «гласности», во второй половине 1980-х гг.

Рассматриваются наиболее актуальные направления и перспективы современных исторических исследований.

*Ключевые слова: «перестройка», «гласность», СССР, историческая наука, политика, догматизм, конъюнктура.*

*By the 25 year of beginning of «perestroika»  
in the USSR GREAT*

## HISTORY IN THE PERIOD OF «PERESTROIKA»

S.D. Morozov

The state and development of the Soviet History before and during the period of «perestroika» and «glasnost» in the end of 1980-s are analyzed in the genre of historical journalism.

*Keywords: «perestroika», «publicity», USSR, history, policy, dogmatism, conjuncture.*

В предперестроечные годы «колючая проволока» запретных зон мешала идти к истине прямой дорогой. Свобода дискуссий приглушалась всесильем партаппарата. Цензура гласная и негласная все чаще накладывала вето на свежие, оригинальные идеи. Марксизм, который мог бы стать одним из путей, ведущих к плодотворному познанию прошлого, все более окостеневал; он был огражден от критики, превратился в заслон плюрализму мнений, оказался «компасом с нажатой кнопкой», когда стрелка перестала двигаться и указывать правильное направление. Вредно было превращать марксизм в государственное мировоззрение, делая из него «священную корову», но не менее вредно делать из него «колорадского жука» на ниве исторической науки.

Под пером многих авторов история 1960–1970-х гг. заполнялась парадными мотивами и постепенно превращалась в путеводитель по «выставке достижений народного хозяйства», а на негативные явления надевались «шапки-невидимки». Вместо «студеной родниковой влаги» подлинной правды читателю предлагалась «теплая кипяченая вода», чаще всего подслащенная.

С началом «перестройки» первыми по историческим проблемам выступили публицисты. Они сделали большое дело, сорвав многие «запретные пломбы», распахнув многие «запечатанные двери»; они ударили в колокола, звона которых ждали миллионы читателей и телезрителей. Публицистика стала катализатором для официальной ис-

---

торической науки, которая признала неизбежность и необходимость новых подходов. То, что публицисты первыми ударили в «перестроечные исторические колокола» – их заслуга, но они же замутили «очистительную волну», покрыли ее «грязной пеной» нетребовательности, погони за сенсацией, торопливости, неряшливости и прямой фальсификации.

Когда началась «перестройка», положение в «департаменте» музы истории Клио менялось не сразу. Весной 1985 г. наступил период, когда в обществе и в науке лишь накапливались «перестроечные» идеи. Затем последовало медленное движение, вслед за которым наступило ураганное разрушение господствовавшей ранее идеологии, в том числе основных исторических концепций. Иными словами, познание прошлого походило на «закрытый котел», нагревание которого было незаметно постороннему глазу. Но «котел» все же нагревался и для многих неожиданно выяснилось, что температура уже весьма высока.

Конец 1980-х гг. ознаменовался высшим подъемом общественного интереса к истории. Она стала болевой точкой общественного сознания. Страна все решительнее вставала на путь преобразований, а для успешного движения вперед надо было отрешиться от всего негативного, что оставалось в прошлом. Общественное сознание было смущено, растревожено, взволновано тем, что скрывали минувшие годы. Обществу был нужен информационный шок, который бы встряхнул всех; он включал в себя удары по прошлому и по настоящему. Шок, естественно, оказался болезненным, при этом удар по прошлому был неадекватен, с явными перекосами. Слишком много публицистов, да и ученых стремились «бежать впереди прогресса».

Быть может, именно в годы «перестройки» настал звездный час исторического знания. Никогда прежде дыхание вчерашнего дня так не опаляло день текущий. Еще совсем недавно величавая, орденосная, но несколько отстраненная от жизненных реалий и высокомерная – история вошла в повседневную жизнь каждого. Мысль о том, что история тесно связана с современностью, более чем банальна. «Перестройка» показала конкретно, наглядно, как день вчерашний встречается с днем нынешним, показала точки их соприкосновения. Встреча минувшего и настоящего оказалась не элементарным геометрическим пересечением прямых линий, а нелегкой и болезненной.

На рубеже 1980–1990-х гг. историки оказались среди развалин старой методологии, старой идеологии, старого мировоззрения. Поникла львиная голова К.Маркса, опустилась призывная рука В.И.Ленина. Разрушенность старого и несозданность нового – вот характерная черта этого этапа. Историков захлестывали волны воинствующего дилетантизма, новой политизации, новой тенденциозности, что неизбежно вело к новой фальсификации и новой лжи. За внешней активностью и кажущейся новизной явственно были ощутимы «старые вирусы», прекрасно адаптировавшиеся в новой обстановке и быстро размножившиеся в новой питательной среде.

В принципе правильно, что не надо «сыпать соль на рану», но делать вид, что раны вообще не было и нет – бессмысленно и вредно. «Фигура умолчания» стала слишком заметной фигурой в трудах историков. Масштабная и неоднократная переоценка ценностей, смена лавровых венков на терновые венцы и наоборот, превращение лидеров партии и красных полководцев во «врагов народа», затем в героев-мучеников, а затем в палачей и мучителей – вот характерные черты российской «перестроечной» историографии применительно к событиям и персонажам XX в. В политике и исторической науке стало массовым отречение от своих взглядов – не просто отречение, а сладострастное затаптывание старых святынь. В 1990-х гг. одни историки оказались под знаком полного отрицания марксизма, другие продолжали защищать марксизм, а в основном у большинства в головах были каша и сумятица.

Старую Россию стали бездумно изображать как страну, где правители были мудры и бескорыстны, где все предприниматели состояли сплошь из Третьяковых, Щукиных, Бахрушиных, Морозовых, а народ – из обаятельных поручиков Голицыных и корнетов Оболенских, мчавшихся на тройках к Яру, и румяных гимназисток, катавших на лебедино изогнутых саночках и пьянеющих от экологически чистого воздуха.

---

Требование исторической правды стало обязательным рефреном «перестройки». Правду ждали, как обязательную спутницу здорового общества, но на деле правда не смогла праздновать победу. Многие историки занимались преимущественно копанием в «грязном белье» прошлого, иные катапультировались из марксизма так умело и быстро, как будто всю жизнь готовились к этому. Неразумные сенсации стали привлекать внимание куда больше, чем попытки разумного объяснения событий. Историческая правда в годы «перестройки» снова оказалась «Золушкой»; ей обещали, но не подарили «хрустальные башмачки», не превратили в «принцессу», а заставили бродить в густом тумане ложных стереотипов и новых фальсификаций.

С началом «перестройки» компартию стали обвинять во многих ошибках и просчетах, а затем возник и закрепился синдром «первородного греха», то есть идея о том, что сами исходные теоретические и политические позиции партии были в корне ошибочны, и все последующее стало неизбежным следствием вредоносных первичных идей. Начавшееся разрушение марксистских исторических концепций, как основы исследовательской работы, к сожалению, не привело к созданию новых концепций, к развертыванию позитивной работы на основе плюрализма. Плюрализм плюрализмом, но нужны зрелость суждений и четкость взглядов. Зыбкие, расплывчатые, неустойчивые концепции, слабость теоретической мысли – плохие помощники в подъеме науки.

Во время «перестройки» митинговый период в исторической науке был неизбежен, но этап наукообразной митинговости затянулся, переход от «круглых столов» к письменным, прямоугольным произошел не сразу. С началом «перестройки» историческая наука неуклонно дрейфовала в направлении разрушения старых схем и концепций. Статьи, книги, сборники этих лет отмечены печатью переходного периода и потому носят промежуточный характер. Изменения были перманентны, что делало основную массу литературы зыбкой и неустойчивой в концепционном плане. Эти изменения были неизбежными, отражая отказ общества от коммунистического мировоззрения.

В конце 1980-х – начале 1990-х гг. под влиянием кризиса, неудач и потерь критика недавнего прошлого стала обвальная. В прошлом стали искать причины всех провалов и поражений. Был задействован синдром, весьма часто возникавший при смене правительств, персон, режимов, который можно назвать синдромом «Авгиевых конюшен». Новые фигуранты заявляли: до нас все было, как в этих пресловутых конюшнях, расчистим – значит, совершим подвиг Геракла, не расчистим – вина в чрезмерном изобилии скопившегося навоза.

«Развод» большинства историков с марксизмом состоялся, не слишком цивилизованно, но состоялся. Историческая наука потеряла строгого, педантичного, не терпевшего и намека на измену, «супруга»; она оказалась в смятении и растерянности. Неуклюжие, торопливые попытки привить к «поломанному дереву» концепции исторического развития России «черенки», взятые из «чужих питомников», не принесли результатов. Концепции не прививаются сверху, а вырастают снизу – из творческого осмысления комплекса фактов.

В ходе «перестройки» в средствах массовой информации преобладала политико-историческая тенденциозность и односторонность. Эта тенденциозность приняла массовый характер, влияя на большинство населения. Массовость, последовательность, постоянство теле-, радиопропаганды создали определенную целенаправленную убежденность в обществе, а общественное мнение влияло и влияет на тех, кто формулирует исторические оценки. Создался замкнутый круг, весьма устойчивый, но отнюдь не заколдованный.

Часто в ходе революций и возникновения новых режимов говорят о неизбежности возникновения «пены». Часто все и вся списывается на «детские болезни». Это ошибочно, так как понятие «пены» слишком широко и неоднозначно. Пена на гребне прозрачной морской волны, родникового ручья, бегущего с горной вершины, отлична от пены в потоке сточных вод городской канализации. Поэтому важно отделять то, что действительно преходяще, являясь неизбежными издержками, от того, что становится каждодневным и постоянным.

Переход от шепота на громкий крик, подмена раскованности развязностью, недостаточная аргументированность при выдвигании новых проблем, легковесность



заманчивых гипотез при слабой фактической подпитке, агрессивная запальчивость вместо разумной полемики, публикации, где мысль не подкреплена новыми фактами, или где новые факты не просвечены «рентгеном мысли» – все это может быть «детскими болезнями» при крушении старых и возникновении новых концепций. Однако не забудем, что одни «детские болезни» уходят легко и навсегда, другие оставляют следы, а третьи перерастают в хронические недуги.

Политизация науки порождает догматизм и конъюнктурщину. Но при общей матери этих двух явлений, при очевидном родстве, между ними есть несомненные различия. Догматизм, порожденный политикой, начинает жить самостоятельной жизнью, приобретает инерционную силу, становится «долгоиграющей пластинкой». Конъюнктурщина заставляет вертеться подобно флюгеру в соответствии с изменением политических веяний, действуя в целом в рамках общего догматизма, однако она отличается, вместе с тем, не окостенением и застыванием, а беспринципной подвижностью.

Политика – старый и неумолимый бич исторической науки, хотя исторические мелодии всегда имели политическую и идеологическую оркестровку. От этого не уберезет никакая «башня из слоновой кости». Исторические труды ценны тогда, когда автор, независимо от политических симпатий или антипатий, стремится к объективному изложению событий, основываясь на документах и достоверных фактах.

Историк должен обладать общественным достоинством, не превращаться в «мальчика для битья», однако не следует преувеличивать свою значимость и выступать в роли «первого парня на селе». Нужно идти в ногу со временем, но не быть рабом времени; чувствовать запросы общества, изменения в его настроениях, но не менять своих суждений, руководствуясь только конъюнктурой, откликаться на его запросы, не имея научной основы.

История часто служила ластиком, которым политика стирала нежелательные для нее страницы прошлого, или малярной кистью, которой те же страницы закрашивали или перекрашивали из белого цвета в черный и наоборот.

Огульный подход ко всему старому, стремление все отвергать и опровергать только за то, что оно старое – далек от подлинной науки. Только подключение новых фактов, новое прочтение старых, новое осмысление известного в сопоставлении с ранее неизвестным – принесут свои плоды в преодолении догматизма. Если ученый докажет, что прежняя концепция имеет право на существование, что новые факты ей не противоречат – пусть эта концепция продолжает жить.

Особенности политической жизни России XX в., ее удивительные зигзаги, невероятные виражи, крутые переломы наложили отпечаток на историческую науку, сделали ее во многом заложницей политики, бросая от монастырско-строгой задогматизированности к беспринципной конъюнктурщине, породили в большинстве случаев научно необоснованную смену взглядов и оценок, идеологические повороты на 180 градусов. Освещение иных исторических проблем XX в., изображенное графически, походит на рельеф горного хребта или на кардиограмму – оно зигзагообразно, с резкими перепадами.

История хорошо знает, что от имени народа часто выступают не самые разумные и искренние, а обладатели самых мощных голосовых связок. Есть историки, подобные фокуснику, умеющему в нужный момент вытащить нужную карту из рукава. С исторической наукой случается эффект «персидской княжны». Она бессильна защитить себя, когда хмельной Степан Разин бросает ее в «набежавшую волну». Так и науку бросают в волны политики. Как ни печально, но история перекраивается по новым лекалам чуть ли не каждое десятилетие.

Историк – сын своего времени. Он, как и его сограждане, испытывает бытовые тяготы, терзается сомнениями, верит и теряет веру, он подвержен «ветрам эпохи». Но историку положено лучше, чем согражданам, осознавать связь времен, ощущать поступь истории, понимать положительное или отрицательное значение происходящего, видеть за деревьями настоящий лес.

Люди, писавшие историю, прежде всего стремились прославить деяния тех, от кого зависели, опорочить и ославить противников своих работодателей. Со временем менялись формы, но суть оставалась неизменной. Есть «стреноженные кони», а есть «вольные ска-

---

кунь», но и скакунам нужен овес, а он нынче дорог. Социально-политическая ангажированность нанесла серьезный урон престижу исторической науки России, ее общественному достоинству. Зависимость истории от политики пока остается неизменной.

Наука пока не смогла открыть тайну возникновения человека, определить, как, когда и от чего произошли неведомые мутации, позволившие некоему четвероногому существу встать на две конечности, освободив руки, научиться использовать дубину и камень. К ученым нельзя предъявить претензии, ибо слишком мало следов сохранили ушедшие сотни тысяч лет, занеся немного, что осталось, илом древних рек и песками пустынь. Парадоксально, но в век проникновения в тайны Вселенной и земной материи, сознание сотен миллионов людей не поднимается выше легенд о сотворении мира за семь дней и непорочном зачатии. Удивительно, но уровень массового сознания во многом остался таким же, каким был две тысячи лет назад.

Историческая наука не стала мудрым наставником при неразумном правителе, хотя в принципе могла бы им стать, не стала «пророчицей Кассандрой», хотя во многом и могла бы. Она осталась «бабушкой», рассказывающей детям сказки на ночь; «учителем», заканчивающим преподавание истории в четвертом классе; мокрым от пота «добытчиком руды», из которой писатели среднего таланта творят увлекательные романы; «ярмарочным медведем» с кольцом в ноздре, пляшущим под дудку хозяина.

История не проявила себя наукой, способной предостеречь, тем более, предотвратить ошибки и трагедии. Ей пока оказалось не под силу раскрыть мотивации и причины повторяющихся явлений – экономических кризисов, революций, войн, – механизмы их возникновения и распространения.

То обстоятельство, что исторический опыт не использовался и не используется в должной мере – факт несомненный. Но кто же в этом виноват? Сама учительница жизни или ее бездарные ученики? Историческая наука, призванная объяснить явные и найти скрытые пружины и механизмы, создающие в разных странах и в разное время схожие ситуации? Вожди, владыки, правители, лидеры, мешающие этой науке стать настоящей наставницей человечества и высокомерно пренебрегающие ее советами? Думается, виноваты обе стороны.

Критика в адрес исторической науки, ее методологии и оценок не может и не должна прекратиться. Критика не бывает порционной по количеству или дозированной по временам года. Без постоянного критического взгляда на себя наука не может развиваться. Историзм – это не только достоверность фактов, событий, имен, точность освещения обстоятельств места и времени, не только показ явлений, действий в их взаимосвязи и развитии, не только умение увидеть главное, определяющее исторический процесс, отделяя второстепенное. Главное же – это глубокое проникновение в эпоху, постижение менталитета того времени в сочетании с неизменными чертами человеческого характера и высоты нынешнего знания.

Правда истории иногда приветствуется властью имущими, если направлена против прошлых, настоящих или потенциальных противников, а чаще рассматривается как «горькая пилюля» с подозрением на отравленность. Хорошо, если необходимость принятия «пилюли» признается, а то выбросят в окно или запрячут в дальний угол. Магистральный путь науки – творческий, направленный на углубленное понимание исторического развития, отбрасывающий обветшавшие догмы, старое двухцветное видение прошлого, – процесс, стремящийся на основе объективного, всестороннего изучения документов познать всю многоцветность, все многообразие прошлого, приблизиться к его адекватному изображению. Одно искажение факта влечет за собой другое, второе притягивает третье – так возникает магнитное поле неправды. Без фактов история подобна «водопроводу без воды», а без концепционного осмысления история, как наука, «обесточена». Достоверность фактов – «страховой полис» историка.

Историческая наука призвана показать человека в прошлом таким, каким он был – сложным, противоречивым, с трудолюбием и ленью, добротой и жестокостью, щедростью и скупостью, любовью и ненавистью, а главное – изучать столкновения и переплетения этих свойств во время войн и революций, в повседневности, на работе, в часы досуга, во взаимоотношении полов и поколений, в непрерывно меняющихся исторических условиях.