

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ISSN 2542-0151

№ 3 Т. 8  
2018

## URBAN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



САМАРА

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ISSN 2542-0151

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

URBAN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Т.8, № 3

САМАРА  
2018

УДК 71+72

Градостроительство и архитектура=Urban construction and architecture. 2018. Т. 8, № 3. 146 с.

Учредитель:

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

Главный редактор – д.т.н., профессор А.К. СТРЕЛКОВ

Заместитель главного редактора по направлению «Строительство» – д.т.н., профессор В.И. КИЧИГИН

Заместитель главного редактора по направлению «Архитектура» – к.арх., профессор В.А. САМОГОРОВ

Ответственный секретарь – к.филол.н. М.С. ДОСКОВСКАЯ

**Редакционная коллегия:**

И.И. АРТЮХОВ, д.т.н., профессор (Саратов)  
Е.А. АХМЕДОВА, д. арх., профессор  
Ю.П. БОЧАРОВ, д. арх., профессор (Москва)  
А.Л. ВАСИЛЬЕВ, д.т.н., доцент (Н. Новгород)  
В.В. ВАХНИНА, д.т.н., профессор (Тольятти)  
С.Я. ГАЛИЦКОВ, д.т.н., профессор  
А.Д. ГЕЛЬФОНД, д. арх., профессор (Н. Новгород)  
В.П. ГЕНЕРАЛОВ, к. арх., профессор  
А.И. ДАНИЛУШКИН, д.т.н., профессор  
В.В. ЕЛИСТРАТОВ, д.т.н., профессор (С.–Петербург)  
В.Н. ЗЕНЦОВ, д.т.н., профессор (Уфа)  
Т.В. КАРАКОВА, д. арх., профессор  
А.А. КУДИНОВ – д.т.н., профессор  
И.В. ЛИПАТОВ, д.т.н., доцент (Н. Новгород)  
Г.В. МУРАШКИН, д.т.н., профессор

В.Д. НАЗАРОВ, д.т.н., профессор (Уфа)  
Н.Д. ПОТИЕНКО, к. арх., доцент  
В.А. СЕЛЕЗНЁВ, д.т.н., профессор (Тольятти)  
С.В. СТЕПАНОВ, д.т.н., доцент  
А.И. ХЛЫСТОВ, д.т.н., профессор  
К.Л. ЧЕРТЕС, д.т.н., профессор  
Н.Г. ЧУМАЧЕНКО, д.т.н., профессор  
В.А. ШАБАНОВ, к.т.н., профессор  
Д.А. ШЛЯХИН – д.т.н., профессор  
А. БОРОДИНЕЦ, D.Sc., профессор (Рига, Латвия)  
Г. РАДОВИЧ, D.Sc. arch., профессор (Подгорица, Черногория)  
М. КНЕЗЕВИЧ, D.Sc., профессор (Подгорица, Черногория)  
Я. МАТУШКА, PhD, доцент (Пардубице, Чешская Республика)  
С. ОГНЕНОВИЧ, PhD, профессор (Скопье, Македония)  
М. ПРЕМРОВ, D.Sc., профессор (Марибор, Словения)  
Д. САФАРИК, главный редактор СТВУН Journal (Чикаго, США)

Editor in Chief – D. Eng., Prof. A.K. STRELKOV

Deputy Editor (Construction) – D. Eng., Prof. V.I. KICHIGIN

Deputy Editor (Architecture) – PhD in Architecture, Prof. V.A. SAMOGOROV

Executive Secretary – PhD in Philology M.S. DOSKOVSKAYA

**Editorial Board:**

I.I. ARTYUKHOV, D. Eng., Prof. (Saratov)  
E.A. AKHMEDOVA, D. Arch., Prof.  
Y.P. BOCHAROV, D. Arch., Prof. (Moscow)  
A.L. VASILYEV D. Eng., Ass. Prof. (N. Novgorod)  
V.V. VAKHINA, D. Eng., Prof. (Tolyatti)  
S.YA. GALITSKOV, D. Eng., Prof.  
A.L. GELFOND, D. Arch., Prof. (N. Novgorod)  
V.P. GENERALOV, PhD in Architecture, Prof.  
A.I. DANILUSHKIN, D. Eng., Prof.  
V.N. ELISTRATOV, D. Eng., Prof. (Sa. Petersburg)  
V.N. ZENTSOV, D. Eng., Prof. (Ufa)  
T.V. KARAKOVA, D. Arch., Prof.  
A.A. KUDINOV, D.Eng., Prof.  
I.V. LIPATOV, D. Eng., Ass. Prof. (N. Novgorod)  
G.V. MURASHKIN, D. Eng., Prof.

V.D. NAZAROV, D. Eng., Prof. (Ufa)  
N.D. POTIENKO, PhD in Architecture, Ass.Prof.  
V.A. SELEZNEV, D. Eng., Prof. (Tolyatti)  
S.V. STEPANOV, D. Eng., Ass. Prof.  
A.I. KHLYSTOV, D. Eng., Prof.  
K.L. CHERTES, D. Eng., Prof.  
N.G. CHUMACHENKO, D. Eng., Prof.  
V.A. SHABANOV, PhD in Engineering, Prof.  
D.A. SHLYAKHIN, D.Eng., Prof.  
A. BORODINECS, D.Sc., Prof. (Riga, Latvia)  
G. RADOVIĆ, D.Sc. arch., Prof. (Podgorica, Montenegro)  
M. KNEZEVIC, D.Sc., Prof. (Podgorica, Montenegro)  
J. MATUŠKA, Ph.D., Ass. Prof. (Pardubice, Czech Republic)  
S. OGNJENOVIC, Ph.D., Prof. (Skopje, Macedonia)  
M. PREMROV, D.Sc., prof., (Maribor, Slovenia)  
D. SAFARIK (Chicago, the USA)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-68052 от 13 декабря 2016 года

Журнал включен с 01.12.2015 г. в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий,

в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций

на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Журнал индексируется в системе РИНЦ и в международной базе ERIH (European Reference Index for the Humanities)

Каждой статье присваивается идентификатор цифрового объекта DOI

Индекс журнала в каталоге Агентства «Роспечать»: 70570

Научное издание

Редактор Г.Ф. Конопина

Корректор М.В. Веселова

На обложке Сызранский (Александровский) мост, Самарская область

Подписано в печать 26.11.2018 г. Формат 60х90 1/8. Бумага мелованная.

Печать офсетная. Печ. л. 18,25. Тираж 300 экз. Заказ № 1743

Адрес редакции: 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 635

Телефоны: (846) 242-36-98

Интернет-сайт: <http://journal.samgasu.ru>

Отпечатано в типографии ООО «КНИЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО»:

443070, г. Самара, ул. Песчаная, 1; тел. (846) 267-36-82

## Содержание

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

- СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ**
- 4 Глазачев А.О., Гимадетдинова Л.Ю., Гончарук А.П., Недосеко И.В. Выбор оптимальной конструкции жесткой дорожной одежды из сборных железобетонных плит по результатам расчета на сдвигоустойчивость методом конечных элементов
- 8 Ильин Н.А., Мордовский С.С., Васильева Е.Е., Таланов В.Н. Определение площади арматуры железобетонной колонны круглого сечения
- 12 Панфилов Д.А., Ильин Н.А., Жильцов Ю.В., Блинкова Е.В. Методика оценки огнестойкости составных строительных конструкций зданий
- 18 Пищулёв А.А., Блинкова Е.В., Макарова Ш.Н. Повышение качества бетонных работ путем применения полимерных материалов для изготовления индивидуальных опалубочных систем и BIM технологий
- ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ**
- 22 Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Голиков В.А. Оптимизация теплозащитных характеристик наружных стен загородных коттеджей, утепленных монолитным пенобетоном
- 26 Зеленцов Д.В., Чертес К.Л. Теоретические особенности и практическое приложение аэрации многокомпонентных динамических геологических сред
- 29 Курганова О.Ю. Применение дополнительных искомых функций и локальных систем координат в задачах теплопроводности для многослойных строительных конструкций
- 33 Немченко В.И., Посашков М.В., Губин П.А. Методика мониторинга сетей отопительной котельной по данным коммерческого учета
- 39 Пуринг С.М., Ватузов Д.Н. Повышение эффективности работы вихревых пылеуловителей
- ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ**
- 43 Воронов А.А., Мальшкина Е.С., Вялкова Е.И., Максимова С.В. Совершенствование рациональных городских инженерных систем очистки поверхностных сточных вод
- 51 Крестин Е.А. К вопросу о течении вязкой несжимаемой жидкости в плоском коническом щелевом канале
- 55 Серпокровлов Н.С., Вильсон Е.В., Долженко Л.А., Саид М.А. Особенности пуска сооружений биологической очистки сточных вод в режимах нитрификации и денитрификации
- 62 Шувалов М.В., Комаров Д.С. Первоочередные мероприятия реновации зон исторической застройки городов

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- 68 Рязанов А.А., Латыпов В.М., Рязанов А.Н., Рязанова В.А. Оптимизация состава сырьевой шихты низкотемпературного цемента на основе топливосодержащих отходов углеобогащения
- ТЕОРИЯ И ИСТОРИЯ АРХИТЕКТУРЫ, РЕСТАВРАЦИЯ И РЕКОНСТРУКЦИЯ ИСТОРИКО-АРХИТЕКТУРНОГО НАСЛЕДИЯ**
- 73 Гоголева Н.А. Тектоника кристаллических куполов и оболочек и факторы, определяющие их объемно-пространственную композицию
- 78 Иванова Л.И., Карасёв Ф.В. Регенерация объектов ландшафтной архитектуры в структуре домовладений городских усадеб XIX – начала XX века
- 85 Косенкова Е.В., Литвинов Д.В. Архитектурно-планировочные принципы реконструкции городских мостов
- 93 Косенкова Н.А., Серова А.А. Воздействие архитектурно-исторической среды на культовые объекты Самары
- 99 Орлова Н.А., Орлов Д.Н., Молчанова В.В. Средовой туризм. Фрагменты целостной исторической застройки как объект туристической привлекательности
- АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**
- 106 Артемьева Т.Г. Функционально-пространственная типология и алгоритм формирования объемно-планировочной концепции жилого интерьера
- 111 Медведева Н.Ю., Денисов Д.В., Паршин А.Н. Атриумные пространства: реализация фрактальных моделей локальных и градостроительных структур
- ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**
- 117 Шарова И.Д. Алгоритм проектирования городской велотранспортной инфраструктуры
- ЭНЕРГЕТИКА**
- ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**
- 124 Артюхов И.И., Степанов С.Ф., Земцов А.И., Тулепова Г.Н. Переходные процессы в микросети на основе группы автономно работающих синхронных генераторов
- 130 Вахнина В.В., Кузнецов В.Н., Шаповалов В.А., Горохов И.В., Черненко А.Н. Учет конструкции бака однофазного силового автотрансформатора электроэнергетических систем при расчете температуры его поверхностей
- ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА**
- 137 Петрова Н.П., Цынаева А.А. Разработка и исследование калориферов с градиентными интенсивностями калориферов
- 145 **ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ**



**А. О. ГЛАЗАЧЕВ  
Л. Ю. ГИМАДЕТДИНОВА  
А. П. ГОНЧАРУК  
И. В. НЕДОСЕКО**

### **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЕТА НА СДВИГОУСТОЙЧИВОСТЬ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

OPTIMAL DESIGN OF RIGID PAVEMENT MADE OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE SLABS BASED ON THE RESULTS OF THE CALCULATION OF THE SHEAR RESISTANCE BY FINITE ELEMENTS METHOD

*Приводится сравнительный анализ результатов расчета жесткой дорожной одежды из сборных железобетонных плит на сдвигоустойчивость, полученных классическим инженерным методом и с использованием численных расчетов. Делается вывод о возможности применения современных инструментов проектирования для разработки оптимальной конструкции жестких дорожных одежд.*

*The article presents a comparative analysis of the results of the calculation of rigid pavement on the shear stability obtained by the classical engineering method and using numerical calculations. The conclusion is made about the possibility of using modern design tools to select the optimal design of rigid pavement.*

**Ключевые слова:** дорожная одежда, численные методы расчета, сдвигоустойчивость

**Keywords:** road clothes, numerical methods of calculation, shear stability

Бетон и железобетон используются в дорожном строительстве еще с XIX столетия. Естественно, что за такой долгий период в технологии устройства бетонных оснований и покрытий для автомобильных дорог различных категорий произошли большие изменения, в частности в последние десятилетия в развитых странах мира вместо стандартного бетона (обычных классов по прочности В20-В30) все шире используются бетоны нового поколения — высокопрочные, дисперсно-армированные и др. [1–3]. Однако отечественные методики проектирования автомобильных дорог с бетонными покрытиями (как правило, на основе сборных железобетонных дорожных плит типа ПДН), созданные в 50-70-е гг. XX в., к сожалению, во многом устарели и не отвеча-

ют современным требованиям. Например, действующими нормативами при подборе толщины слоев дорожной одежды и материалов, из которых они будут изготовлены, нормативными документами [4–7] предусмотрен обязательный расчет на сдвигоустойчивость подстилающего грунта и слабых конструктивных слоев. Основное требование — чтобы под действием кратковременных и длительных нагрузок за весь срок службы не накапливались недопустимые остаточные деформации формоизменения. Это значит, что под действием нагрузок в грунте или слоях дорожной одежды могут возникать зоны пластических деформаций сдвига. Добиваться, чтобы таких зон не возникало совсем, экономически нецелесообразно, поэтому их развитие ограничивается недо-

пустимыми остаточными деформациями, которые могут повлиять на эксплуатационную надежность как дороги в целом, так и отдельных ее элементов. По методике расчета [5] такие деформации не будут накапливаться, если выполняется условие

$$T \leq \frac{T_{np}}{K_{np}^{mp}},$$

где  $K_{np}^{mp}$  — требуемое минимальное значение коэффициента прочности, определяемое с учетом заданного уровня надежности;  $T$  — расчетное активное напряжение сдвига в расчетной точке конструкции от действующей временной нагрузки;  $T_{np}$  — предельная величина активного напряжения сдвига, превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг.

В соответствии с [5] предельная величина активного напряжения сдвига определяется из условия равновесия в точке, где производится проверка. Здесь необходимо знать прочностные параметры грунта (угол внутреннего трения и удельное сцепление), а также вес вышележащего слоя. Кроме того, при расчете учитывается характер работы разных материалов на контакте слоев применением соответствующих коэффициентов. Действующие напряжения сдвига в интересующей точке определяются на основании специальных номограмм. Применение таких номограмм является удобным и быстрым инструментом для выполнения расчета, но как и все подобные методы он имеет ряд допущений и не учитывает многих факторов. Все это компенсируется запасами надежности, что не всегда обоснованно с экономической точки зрения.

Как и другие инженерные расчеты на динамическое воздействие, данная методика сводится к статическому расчету системы. Динамическое воздействие учитывается повышающими коэффициентами для нагрузок. Цикличность нагружения – сниже-

нием значений механических характеристик грунта. Все это в целом учитывает особенности работы конструкции и с определенной точностью дает возможность получить параметры, которые требуется заложить в конструкцию при проектировании.

В настоящее время активно развиваются инструменты моделирования и численного расчета конструкций, основанные на методах конечных элементов [8]. Такими инструментами служат различные программные комплексы, которые дают возможность выполнить расчет не только в упругой постановке, но и с учетом более сложных процессов путем применения различных моделей.

Так, при подборе конструкции дорожной одежды при строительстве автодороги Кашкалево-Новотазларово в Бураевском районе Республики Башкортостан был выполнен расчет на сдвигоустойчивость с использованием геотехнического программного комплекса Plaxis 3D. Расчет в целом производился по методике [5], за исключением того, что напряжения сдвига определялись не по номограммам, а численным методом.

Для выполнения расчетов были приняты следующие исходные данные:

- тип дорожной одежды (капитальный);
- категория дороги (IV);
- дорожно-климатическая зона (Ш1);
- нормативная нагрузка на ось (115 кН);
- коэффициент надежности по нагрузке (0,95).

Расчет выполнялся для уровня надежности 0,95 с коэффициентом прочности 1,00. Поперечный профиль дороги представлен на рис. 1.

При моделировании приняты следующие параметры конструктивных слоев дорожной одежды:

- железобетонные плиты ПНД серии 3.503.1-91 толщиной 140 мм;
- выравнивающий слой из песка толщиной 50 мм;

Конструкция дорожной одежды с покрытием из сборных дорожных плит ПНД по серии 3.503.1-91

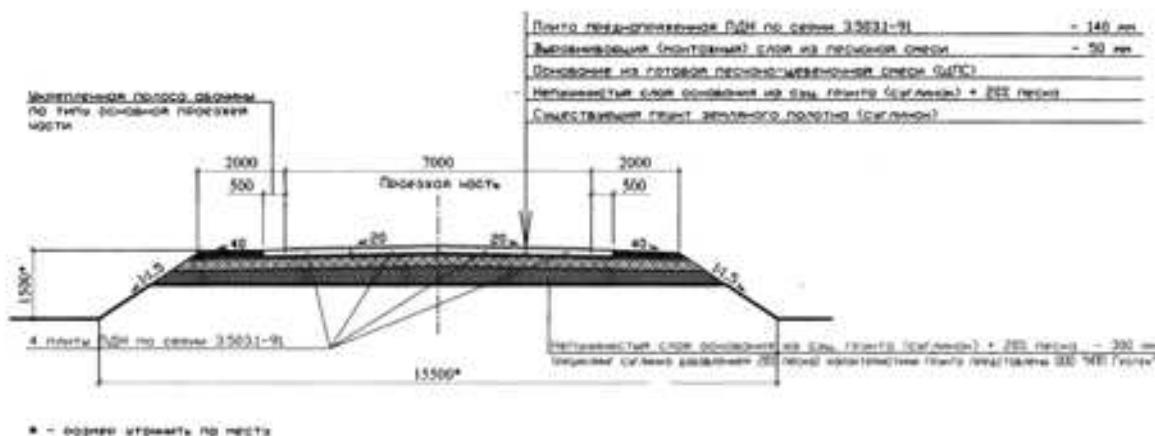


Рис. 1. Поперечный профиль дороги

- щебеночно-песчаная смесь (ЩПС) толщиной 350(400) мм;
  - суглинок с песком (супесь) толщиной 300(250) мм;
  - суглинок.
- При численных расчетах в качестве модели материала железобетонной плиты покрытия применя-

лась упруго-линейная модель, которая подчиняется закону Гука. Для моделирования грунтового основания использовалась модель Мора-Кулона. Она описывает упругое поведение среды при напряжениях ниже предела текучести и простое равнообъемное пластическое течение при напряжениях на пределе текучести.

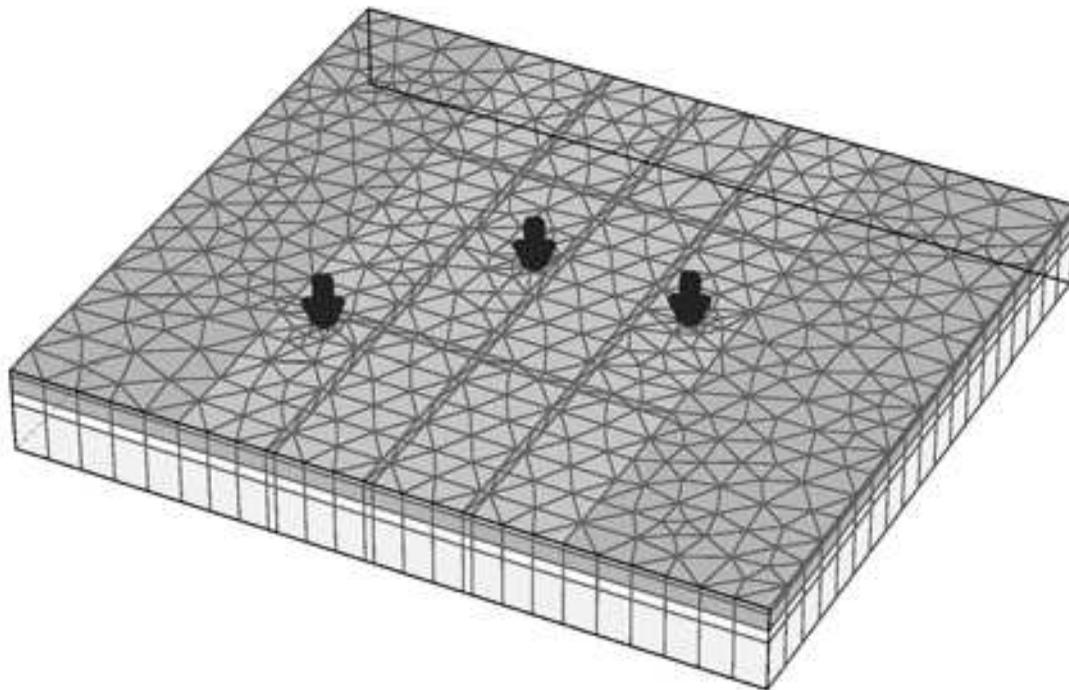


Рис. 2. Расчетная схема численной модели

В ходе численного моделирования в трехмерной постановке была сгенерирована расчетная схема, представленная на рис. 2. Приложение нагрузки выполнялось путем приложения круглого пятна давления диаметром 36,5 см. Нагрузка прикладывалась в трех положениях плиты: 1) в центре, 2) у края длинной стороны и 3) у края короткой стороны. Анализ напряжений велся при толщине ЩПС 350 мм (глубина 54 см) и 400 мм (глубина 59 см). Общая толщина дорожной одежды остается без изменений — 84 см.

В результате расчетов были получены касательные напряжения на глубинах 54; 59 и 84 см для трех вариантов приложения нагрузки. В соответствии с [5] были определены предельные напряжения сдвига для интересующих нас глубин, что позволило вычислить коэффициенты прочности. Для толщины слоя ЩПС 350 мм коэффициент прочности составил 0,80, а для толщины слоя 400 мм — 1,05. Таким образом, критерий выполнения условия прочности на сдвиг для уровня надежности 0,95 соблюдается при толщине ЩПС 400 мм.

При определении напряжений сдвига по номограммам дорожная одежда получалась с более мощными слоями. Применение численных методов моделирования позволило наиболее точно учесть работу всех элементов конструкций. Напряжения в грунте зависят от учета жесткости железобетонной плиты и ее распределительной способности, что при моделировании достаточно просто выполнить.

По принятым техническим решениям планируется строительство опытного участка дороги, где будет проводиться мониторинг состояния и контроль основных параметров конструкций дорожной одежды и земляного полотна, в результате чего можно будет сопоставить результаты расчета с результатами наблюдений.

При более широком применении численных расчетов с использованием сложных грунтовых моделей можно получать не только значения напряжения, но и значения упругих и остаточных деформаций с учетом режима работы конструкции (цикличность нагружения и т. д.) и других особенностей материала конструкций.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сталефибробетонные конструкции в автомобильном строительстве Республики Башкортостан / И.В. Недосеко, В.В. Бабков, Ш.Х. Аминов, И.Б. Струговец, В.Н. Мохов, Р.Ш. Дистанов // Строительные материалы. 2006. № 3. С. 50–53.

2. Сталефибробетон в производстве изделий и конструкций дорожного назначения / В.В. Бабков, И.В. Недосеко, Р.Ш. Дистанов, М.А. Ивлев, Ю.Д. Федотов, И.Б. Струговец, М.М. Латыпов // Строительные материалы. 2010. № 10. С. 40–45.

3. Фибробетон в производстве дорожных плит / Н.Н. Латыпов, И.Б. Струговец, В.В. Бабков, И.В. Недосеко // Строительные материалы. 2009. № 11. С. 50–52.

4. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд: взамен ВСН 197-91. М., 2004. 135 с.

5. ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. М.: Информавтодор, 2001. 145 с.

6. СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги / Министерство регионального развития РФ. М., 2013. 106 с.

7. ГОСТ 32960-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения. М.: Стандартинформ, 2016. 5 с.

8. Конечно-элементные модели для расчета плиты жесткого дорожного покрытия / И.В. Демьянушко, В.П. Носов, В.М. Стаин, А.В. Стаин // Транспортное строительство. 2012. № 4. С. 7–10.

Об авторах:

### ГЛАЗАЧЕВ Антон Олегович

кандидат технических наук, доцент кафедры комплексного инжиниринга и компьютерной графики  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450080, Россия, г. Уфа, ул. Менделеева, 195  
тел. +7 (917) 401-53-37  
E-mail: anton.glazachev@mail.ru

### GLAZACHEV Anton O.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Comprehensive Engineering and Computer Graphics Chair  
Ufa State Petroleum Technological University  
450080, Russia, Ufa, Mendeleev str., 195,  
tel. (917) 401-53-37  
E-mail: anton.glazachev@mail.ru

### ГИМАДЕТДИНОВА Лилия Юнусовна

аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. +7 (927) 605-01-28  
E-mail: ajupovalilija@rambler.ru

### GIMADETDINOVA Liliya Y.

Postgraduate Student of Building Structures Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (927) 605-01-28  
E-mail: ajupovalilija@rambler.ru

### ГОНЧАРУК Алексей Павлович

инженер управления научных исследований и разработок  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450062, Россия, Республика Башкортостан, г.Уфа,  
ул. Космонавтов, 1,  
тел. +7 (917) 345-51-35  
E-mail: wi-fi97@mail.ru

### GONCHARUK Alexey P.

Engineer of Scientific Research and Development Department  
Ufa State Petroleum Technological University  
450080, Russia, Ufa, Mendeleev str., 195,  
tel. (917) 345-51-35  
E-mail: wi-fi97@mail.ru

### НЕДОСЕКО Игорь Вадимович

доктор технических наук, профессор кафедры строительных конструкций  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450062, Россия, Республика Башкортостан, г.Уфа,  
ул. Космонавтов, 1,  
тел. +7 (987) 254-00-96  
E-mail: nedoseko1964@mail.ru

### NEDOSEKO Igor V.

PhD in Engineering Science, Associate professor of the Building Constructions Chair  
Ufa State Petroleum Technological University  
450062, Russia, Republic of Bashkortostan,  
Ufa, Cosmonavtov str., 1,  
tel. (987) 254-00-96  
E-mail: nedoseko1964@mail.ru

Для цитирования: Глазачев А.О., Гимадетдинова Л.Ю., Гончарук А.П., Недосеко И.В. Выбор оптимальной конструкции жесткой дорожной одежды из сборных железобетонных плит по результатам расчета на сдвигустойчивость методом конечных элементов // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 4-7. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.1.

For citation: Glazachev A.O., Gimadetdinova L.Yu., Goncharuk A.P., Nedoseko I.V. Optimal Design of Rigid Pavement Made of Prefabricated Reinforced Concrete Slabs Based on the Results of the Calculation of the Shear Resistance by Finite Elements Method // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 4-7. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.1.

Н. А. ИЛЬИН  
С. С. МОРДОВСКИЙ  
Е. Е. ВАСИЛЬЕВА  
В. Н. ТАЛАНОВА

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ АРМАТУРЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

DETERMINATION OF THE AREA OF REINFORCEMENT OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS OF CIRCULAR CROSS SECTION

*Разработано математическое выражение по определению площади сечения арматуры внецентренно сжатой железобетонной колонны круглого сечения, позволяющее упростить учет влияния конструктивных показателей и параметров качества арматуры и бетона на требуемую площадь продольной арматуры железобетонной колонны. Показан пример использования данной формулы в расчете. Приведенное математическое выражение может быть использовано при проектировании железобетонных колонн, стоек линий электропередач и опор круглого сечения как наименее трудоемкий способ инженерного расчета, позволяющий определить площадь сечения продольной арматуры.*

**Ключевые слова:** железобетонная колонна круглого сечения, внецентренное сжатие, влияние прогиба, площадь арматуры

Расчет прочности колонн круглого сечения с арматурой, равномерно распределенной по окружности (рис. 1), производится по приложению Д действующего свода правил СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003» с использованием относительной площади сжатой зоны бетона в зависимости от величины продольного усилия. При этом существуют некоторые ограничения для правомерности использования этих формул, например, применение класса арматуры не выше А400, количество стержней продольной арматуры не менее семи.

Применение приведенных в СП 63.13330.2012 расчетных формул для ручного инженерного счета осложнено тем, что значение относительной площади сжатой зоны бетона одновременно входит в уравнения как самостоятельный член и как переменная под знаком синуса. Поэтому для решения данной задачи предпочтительно применение вычислительной техники с организацией цикла итерационного исчисления. Для решения задачи определения площади продольной арматуры по формулам приложения Д свода правил СП 63.13330.2012 разработана программа для ЭВМ [1] и составлена заявка для ее государственной регистра-

*A mathematical expression has been developed for determining the cross-sectional area of reinforcement of an eccentrically compressed reinforced concrete column of circular cross section, which makes it possible to simplify consideration of the influence of structural indicators and quality parameters of reinforcement and concrete on the required area of longitudinal reinforcement of reinforced concrete column. An example of using this formula in the calculation is shown. This mathematical expression can be used in the design of reinforced concrete columns, racks of power lines and circular supports as the least time-consuming method of engineering calculation, allowing to determine the cross-sectional area of longitudinal reinforcement.*

**Keywords:** round reinforced concrete column, eccentric compression, deflection effect, reinforcement area

ции в Федеральной службе по интеллектуальной собственности. В основу решения заложены алгоритмы с организацией итерационных циклов.

Определение площади арматуры внецентренно сжатого железобетонного элемента круглого сечения может осуществляться с использованием графиков Пособия по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003) (чертеж 3.33).

Использование этих графиков (номограмм) для определения требуемой площади арматуры железобетонной колонны круглого сечения дает результаты расчета с большей погрешностью; в ряде случаев требуется графическая интерполяция и дополнительное построение графиков номограммы (Пособие к СП 52-101-2003); это приводит к увеличению объема программы расчета требуемой площади арматуры железобетонной колонны на ЭВМ, к повышению трудозатрат проектирования, снижению точности и экспрессивности определения величины площади арматуры железобетонной колонны круглого сечения.

В настоящее время действующие отечественные нормативные документы (СП 63.13330.2012)

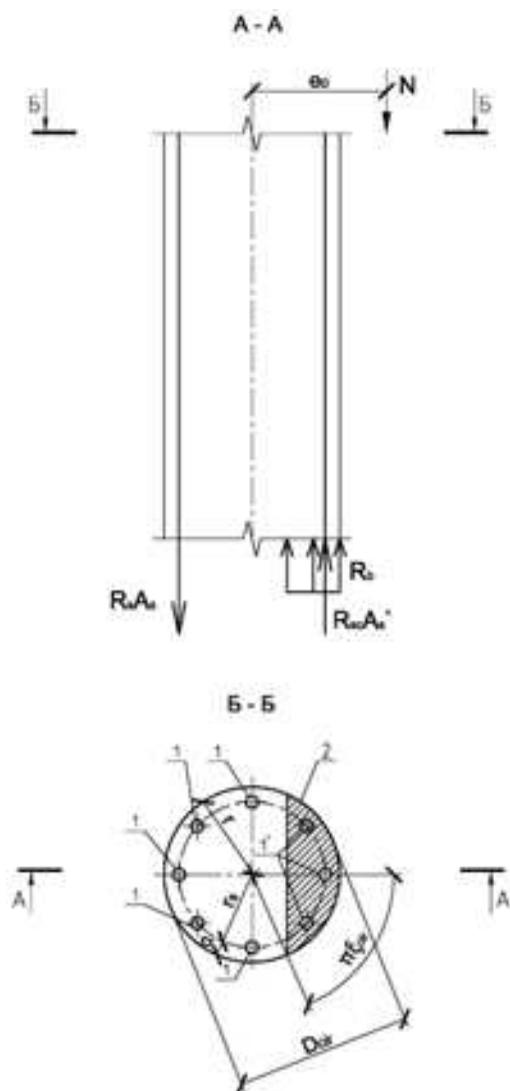


Рис. 1. Схема расчета требуемой площади продольной арматуры колонны круглого сечения:

А-А – продольное сечение, Б-Б – поперечное сечение: 1 – продольная растянутая арматура; 1' – продольная сжатая арматура; 2 – бетон;  $N$  – продольная сила, кН;  $e_0$  – эксцентриситет продольной силы относительно центра тяжести приведенного сечения, мм;  $D_{cir}$  – диаметр железобетонной колонны, мм;  $r$  – радиус круглого сечения, мм;  $r_s$  – радиус окружности, проходящей через центры стержней продольной арматуры, мм;  $a$  – расстояние от грани колонны до радиуса окружности  $r_s$ , проходящей через центры тяжести стержней продольной арматуры, мм;  $\xi_{cir}$  – относительная площадь сжатой зоны бетона

регламентируют выполнять расчеты нормальных сечений по нелинейной деформационной модели, предусматривающей применение законов деформирования материалов в виде диаграмм деформирования [2–5]. На сегодняшний день нелинейная деформационная модель расчета внедрена в различные международные и национальные нормы проектирования железобетонных конструкций. Однако

при использовании нелинейной деформационной модели количество требуемых вычислений резко возрастает, вместе с этим повышается сложность расчетов, что предопределяет обязательное применение вычислительной техники. Для инженерного подхода к решению задачи по определению площади арматуры железобетонной колонны круглого сечения рекомендуется применять представленные ниже формулы.

Сущность технического решения, изложенного в данной статье, заключается в усовершенствовании учета влияния прогиба колонны и величины расчетных нагрузок на требуемую площадь продольной арматуры внецентренно сжатого железобетонного элемента круглого сечения, в упрощении математического описания конструктивных параметров, в сокращении объема программы расчета на ЭВМ, в снижении трудозатрат на проектирование несущих железобетонных конструкций.

Определение площади сечения рабочей продольной арматуры железобетонной колонны круглого сечения проводят в следующей последовательности: вычисляют расчетную длину железобетонной колонны, диаметр поперечного сечения; устанавливают вид бетона и его класс по прочности на сжатие, вид продольной арматуры и ее класс по прочности, находят показатели качества бетона и арматуры; вычисляют величину продольной силы, ее эксцентриситет и расчетный изгибающий момент в опасном сечении колонны; используя показатели глубины заложения арматуры  $\delta_a$ , находят относительные величины изгибающего момента  $\alpha_m$  и продольной силы  $\alpha_n$  и коэффициент увеличения эксцентриситета продольной силы с учетом прогиба колонны  $\eta$ ; определяют показатель насыщения бетонного сечения продольной арматурой  $\alpha_s$ ; вычисляют требуемую площадь сечения арматуры  $A_{s,tot,расч}$  железобетонной колонны круглого поперечного сечения.

Предлагается определять требуемую площадь сечения продольной арматуры  $A_{s,tot,расч}$  железобетонной колонны круглого сечения по формуле

$$A_{s,tot,расч} = \frac{\pi \cdot D_{cir}^2}{4} \cdot \frac{R_b}{R_{sc}} \cdot \alpha_s, \quad (1)$$

где  $D_{cir}$  – диаметр сечения железобетонной колонны, мм;  $R_b$  и  $R_{sc}$  – расчетное сопротивление бетона и соответственно арматуры на сжатие, МПа.

Показатель насыщения бетона продольной арматурой  $\alpha_s$  железобетонной колонны круглого сечения вычисляется по эмпирическому уравнению

$$\alpha_s = \left( \frac{8,8 \cdot \alpha_m}{7,35 - 1 / (2 - \alpha_n)} \right)^{2,22} \cdot \frac{1}{\delta_a^{0,28}}, \quad (2)$$

где  $\delta_a$  – показатель глубины заложения продольной арматуры, определяемый выражением

$$\delta_a = a / D_{cir} \leq 0,15, \quad (3)$$

где  $a$  – глубина заложения продольной арматуры, мм.

Показатель величины изгибающего момента с учетом прогиба железобетонной колонны  $\alpha_m$  рассчитывается по формуле

$$\alpha_m = \eta_n \cdot \alpha_{m,0'} \quad (4)$$

где  $\eta_n$  – коэффициент увеличения эксцентриситета продольной силы с учетом прогиба железобетонной колонны, определяемый выражением

$$\eta_n = 1 + \alpha_{m,0'} \quad (5)$$

где  $\alpha_{m,0}$  – показатель величины изгибающего момента без учета прогиба железобетонной колонны, вычисляемый по формуле

$$\alpha_{m,0} = M / (0,5 \cdot D_{cir} \cdot R_b \cdot A), \quad (6)$$

где  $M$  – изгибающий момент, кН·м;  $A$  – площадь бетона железобетонной колонны круглого сечения, мм<sup>2</sup>.

Показатель величины продольной силы  $\alpha_n$  определяется выражением

$$\alpha_n = N / (R_b \cdot A), \quad (7)$$

где  $N$  – продольная сила, кН.

В качестве продольной арматуры для колонн круглого сечения устанавливают горячекатаную арматуру диаметром 6 – 40 мм классов не выше А400 (СП 63.13330.2012).

В качестве бетона железобетонной колонны круглого сечения устанавливают или тяжелый, или напрягающий, или мелкозернистый, или легкий конструктивный бетон.

Использование предложенной формулы (1) упрощает учет влияния прогиба колонны и расчетного изгибающего момента от внешней нагрузки на величину площади арматуры железобетонной колонны круглого сечения, снижает трудозатраты на выполнение расчетов.

Рассмотрим применение вышеизложенных формул на практическом примере № 31 из Пособия к СП 52-101-2003: железобетонная колонна круглого сечения диаметром  $D_{cir} = 400$  мм;  $r = 200$  мм; глубина заложения арматуры  $a = 35$  мм; бетон класса В25 ( $R_b = 14,5$  МПа); площадь бетона

$$A = \pi \cdot D_{cir}^2 / 4 = 3,14 \cdot 400^2 / 4 = 125600 \text{ мм}^2;$$

арматура класса А400 ( $R_{sc} = 350$  МПа); продольные силы и изгибающие моменты:  $N_1 = 250$  кН; от всех нагрузок  $N = 350$  кН,  $M = 80$  кН·м; начальный эксцентриситет продольной силы  $e_0 = M / N = 80 / 350 = 0,23$  м, что больше  $D_{cir} / 30 = 0,4 / 30 = 0,013$  м, расчетная длина (высота) железобетонной колонны  $l_0 = 4,0$  м;  $\eta_n = 1,0$ .

Необходимо определить требуемую площадь продольной арматуры железобетонной колонны круглого сечения.

Выполним подробный расчет со ссылками на используемые формулы.

Показатель изгибающего момента  $\alpha_{m,0}$  без учета прогиба железобетонной колонны рассчитаем по формуле (6):

$$\alpha_{m,0} = M / (0,5 \cdot D_{cir} \cdot R_b \cdot A) = 80 \cdot 10^6 / (0,5 \cdot 400 \cdot 14,5 \cdot 125600) = 0,22.$$

Коэффициент увеличения эксцентриситета продольной силы с учетом прогиба железобетонной колонны  $\eta_n$  вычислим по формуле (5):

$$\eta_n = 1 + \alpha_{m,0} = 1 + 0,22 = 1,22.$$

Показатель изгибающего момента с учетом прогиба железобетонной колонны  $\alpha_m$  вычислим по формуле (4):

$$\alpha_m = \eta_n \cdot \alpha_{m,0} = 1,22 \cdot 0,22 = 0,268.$$

Показатель величины продольной силы  $\alpha_n$  определим по формуле (7):

$$\alpha_n = N / (R_b \cdot A) = 350 \cdot 10^3 / (14,5 \cdot 125600) = 0,192.$$

Показатель глубины заложения продольной арматуры  $\delta_a$  рассчитаем по формуле (3):

$$\delta_a = a / D_{cir} = 35 / 400 = 0,0875 < 0,15.$$

Показатель насыщения бетона продольной арматурой  $\alpha_s$  вычислим по эмпирическому уравнению (2):

$$\alpha_s = \left( \frac{8,8 \cdot \alpha_m}{7,35 - 1 / (2 - \alpha_n)} \right)^{2,22} \cdot \frac{1}{\delta_a^{0,28}} = \left( \frac{0,268}{7,35 - 1 / (2 - 0,192)} \right)^{2,22} \cdot \frac{1}{0,0875^{0,28}} = 0,2.$$

Требуемую площадь продольной арматуры железобетонной колонны круглого сечения  $A_{s,tot,расч}$  вычислим, используя уравнение (1):

$$A_{s,tot,расч} = \frac{\pi \cdot D_{cir}^2}{4} \cdot \frac{R_b}{R_{sc}} \cdot \alpha_s = \frac{3,14 \cdot 400^2}{4} \cdot \frac{14,5}{350} \cdot 0,2 = 1041 \text{ мм}^2.$$

По найденной величине требуемой площади сечения арматуры железобетонной колонны круглого сечения примем 7Ø14 А400 ( $A_{s,\phi} = 1078$  мм<sup>2</sup>) или 8Ø14 А400 ( $A_{s,\phi} = 1232$  мм<sup>2</sup>).

При расчете площади сечения арматуры по данным приведенного выше примера, используя программу [6], получим значение 878 мм<sup>2</sup>, что составляет примерно 84 % от найденного выше значения  $A_{s,tot,расч}$ . Таким образом, различие составляет около 16 %, но необходимо учитывать, что в программе для ЭВМ [6] не заложен автоматический учет влияния прогиба.

**Вывод.** Получено математическое выражение, позволяющее упростить учет влияния прогиба колонны и параметров качества арматуры и бетона на величину требуемой площади продольной арматуры железобетонной колонны круглого сечения, снизить трудозатраты на проектирование железобетонных колонн, повысить точность и экспрессивность расчета.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2018618969. Российская Федерация. Определение площади сечения продольной арматуры вне-

центренно сжатой железобетонной колонны круглого сечения / С.С. Мордовский, Р.И. Давликамов; правообладатель Самарск. гос. технич. ун-т. – № 2018616009; заявл. 09.06.2018, зарегистр. 24.07.2018; опублик. 24.07.2018. Бюл. № 3. 1 с.

2. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радаикин О.В. Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №1. С. 25-27.

3. Мурашкин Г.В., Мордовский С.С. Применение диаграмм деформирования для расчета несущей способности внецентренно сжатых железобетонных элементов // Жилищное строительство. 2013. №3. С. 38-40.

4. Мордовский С.С. Совершенствование расчета прочности внецентренно сжатых железобетонных элементов: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2013. 214 с.

5. Тошин Д.С., Анисимова М.П. Поиск оптимального способа реализации итерационного приближения при расчете по деформационной модели // Научное обозрение. 2016. №17. С. 25-29.

6. Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ 2018612823. Российская Федерация. Графики несущей способности внецентренно сжатых элементов круглого сечения / С.С. Мордовский, Р.И. Давликамов; правообладатель Самарск. гос. технич. ун-т. – № 2018610047; заявл. 09.01.2018; зарегистр. 01.03.2018; опублик. 01.03.2018, Бюл. № 3. 1 с.

Об авторах:

**ИЛЬИН Николай Алексеевич**

кандидат технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-14-71

**ILYIN Nikolay A.**

PhD in Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846)339-14-71

**МОРДОВСКИЙ Сергей Сергеевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-56-35

**MORDOVSKY Sergey S.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846)339-56-35

**ВАСИЛЬЕВА Екатерина Евгеньевна**

магистрант Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

**VASILYEVA Ekaterina Ye.**

Master's Degree Student Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194

**ТАЛАНОВА Валерия Николаевна**

магистрант Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

**TALANOVA Valeriya N.**

Master's Degree Student Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194

Для цитирования: Ильин Н.А., Мордовский С.С., Васильева Е.Е., Таланова В.Н. Определение площади арматуры железобетонной колонны круглого сечения // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 8-11. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.2. For citation: Ilyin N.A., Mordovsky S.S., Vasilyeva E.Ye., Talanova V.N. Determination of the Area of Reinforcement of Reinforced Concrete Columns of Circular Cross Section // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, №3. Pp. 8-11. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.2.

Д. А. ПАНФИЛОВ  
Н. А. ИЛЬИН  
Ю. В. ЖИЛЬЦОВ  
Е. В. БЛИНКОВА

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОГНЕСТОЙКОСТИ СОСТАВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

### METHOD OF EVALUATION OF THE FIRE RESISTANCE OF COMPOSITE BUILDING STRUCTURES

*Изложена новая методика определения проектной огнестойкости составных (сталежелезобетонных) строительных конструкций зданий. Приведен усовершенствованный алгоритм решения пожарно-технической задачи в части экспресс-расчета проектной огнестойкости составных строительных конструкций. Разработана новая конструктивная форма составной сталежелезобетонной конструкции здания. Усовершенствована система действий по оценке огнестойкости ее элементов на уровне изобретений, внедренных в строительную практику. Приведены составляющие творческого результата научной работы и содержание технического эффекта, включая ресурсосбережение, при внедрении инновационного решения в практику огнезащиты и обеспечения огнестойкости перспективных строительных конструкций зданий.*

**Ключевые слова:** здания и сооружения, составные строительные конструкции, неразрушающие огневые испытания, оценка пределов огнестойкости, технологический эффект, ресурсосбережение

Необходимость оценки показателей огнестойкости составных строительных конструкций возникает при реконструкции здания, усилении его частей и элементов, приведении огнестойкости в соответствие с требованиями современных строительных норм, при проведении экспертизы и восстановлении составных конструкций, поврежденных пожаром.

Оценка огнестойкости составной строительной конструкции здания обычно производится по результатам изучения последствий натурального пожара. Этот алгоритм включает выявление положения элементов конструкций в здании, оценку состояния составных конструкций путем осмотра и измерения, изготовление контрольных образцов бетона и арматуры, определение времени наступления предельного состояния по потере несущей способности составной конструкции, т. е. обрушения в условиях действия внешней нагрузки и теплового воздействия натурального пожара [1, с. 14–20].

Кроме того, существует метод оценки огнестойкости составной конструкции здания по результатам натурального теплового испытания фрагмента здания,

*The article describes a new method for determining the design fire resistance of composite (steel-concrete) building constructions of buildings. The advanced algorithm of the decision of the fire-technical task in the part of express calculation of design fire resistance of composite building constructions is given. A new constructive form of composite reinforced concrete structure of the building has been developed and the system of actions for assessing the fire resistance of its elements at the level of inventions, which are implemented in building practice, has been improved. The components of the creative result of scientific work and the content of the technical effect, including resource saving, are introduced, with the introduction of an innovative solution in the practice of fire protection and providing fire resistance of perspective building constructions of buildings.*

**Keywords:** buildings and constructions, composite structures, non-destructive firing tests, estimation of limits of fire resistance, technological effect, resource saving

в котором определяют факторы, влияющие на огнестойкость испытываемой конструкции и величину ее предела огнестойкости (ГОСТ Р 53309 – 2009 «Здания и фрагменты зданий. Метод натуральных огневых испытаний. Общие требования»).

Одним из методов оценки огнестойкости конструкций здания является испытание конструкции, включающее проведение технического осмотра, установление марки стали, вида бетона и арматуры элементов составной конструкции, выявление условия их крепления, определение времени наступления предельного состояния по признаку потери несущей способности элементов составной конструкции под испытательной нагрузкой [2, с. 112, 252–256; 3].

Наиболее близким методом того же назначения по оценке элементов составной строительной конструкции здания путем испытания является метод определения величины показателей огнестойкости каждого элемента составной строительной конструкции по длительности сопротивления высокотемпературному воздействию до потери несущей способности наименее огнестойкого элемента составной

конструкции [4]. Однако в этом методе испытания проводят на элементах составной строительной конструкции, представляющих только растянутый и сжатый пояса, без испытания огнестойкости гофростенки составной конструкции.

Предлагаемое авторами решение технической задачи состоит в установлении показателей пожарной безопасности здания в части гарантированной длительности сопротивления стальной гофростенки, растянутого и сжатого железобетонного пояса составной строительной конструкции в условиях стандартного теплового испытания; в оценке проектных пределов огнестойкости составной строительной конструкции при проектировании, строительстве или эксплуатации здания; в повышении точности и достоверности неразрушающих испытаний на огнестойкость [5].

Технологический эффект от использования экспресс-расчета огнестойкости составной строительной конструкции получают благодаря:

1) расширению диапазона применения способа оценки огнестойкости строительной конструкции, имеющей другой вид напряженного состояния элементов составной конструкции здания;

2) назначению комплекса основных параметров, влияющих на огнестойкость элементов составной конструкции;

3) вычислению интегральных параметров теплофизических и конструктивных характеристик элементов составной конструкции;

4) составлению математических моделей (описаний) процесса сопротивления нагруженных элементов составной конструкции стандартному огневому испытанию.

Технологический эффект при использовании предложенного метода решения задачи достигается тем, что в алгоритме оценки огнестойкости составной строительной конструкции здания путем испытания, особенность которого заключена в том, что оценку огнестойкости элементов составной конструкции проводят без натурального огневого воздействия неразрушающими методами испытаний, технический осмотр дополняют инструментальным измерением геометрических размеров составной конструкции, находят глубину залегания, условия нагрева и степень огнезащиты строительным раствором контрольной точки гофростенки, а также рабочей арматуры растянутого и сжатого железобетонного пояса составной конструкции, выявляют теплотехнические и конструктивные параметры и, используя их, определяют величину проектного предела огнестойкости составной строительной конструкции  $F_{ur, min}$  мин, по длительности сопротивления тепловому воздействию до потери несущей способности наименее слабого по огнестойкости элемента  $f_{ur, min}$  – составной строительной конструкции по условию

$$F_{ur} = f_{ur, min} \quad (1)$$

Длительность сопротивления от начала стандартного теплового воздействия до потери несущей способности растянутого железобетонного пояса составной конструкции ( $f_{ur,1}$  мин) определяют, используя аналитическое уравнение

$$f_{ur,1} = (2,15 \cdot |\ln J_{os}|)^{6,6/n} \cdot e^C \cdot K_1 / (425/t_{cr})^{6,6}, \quad (2)$$

где  $J_{os}$  – интенсивность силовых напряжений в продольной рабочей арматуре растянутого пояса (0,1 ÷ 1,0);  $C$  – степень огнезащиты бетоном рабочей арматуры, см;  $n$  – эмпирический показатель изменения свойства арматурной стали в условиях теплового испытания;  $t_{cr}$  – критическая температура для арматурной стали, °C [5, 6].

Интенсивность силовых напряжений в продольной рабочей арматуре растянутого пояса составной строительной конструкции от испытательной нагрузки на огнестойкость определяют по уравнению

$$J_{os} = (A_{s,mp}/A_s) \cdot (R_s/R_{su}) \cdot (N_g/N) \leq 1, \quad (3)$$

где  $A_s$  и  $A_{s,mp}$  – соответственно площади арматуры, фактически установленной в сечении растянутого пояса и требуемой по расчету на прочность, мм<sup>2</sup>;  $R_s$  и  $R_{su}$  – расчетное и предельное сопротивление арматуры растяжения, МПа ( $R_{su} = R_{sp}/0,9$ );  $N$  и  $N_p$  – расчетная продольная сила и усилие от испытательной нагрузки на огнестойкость, кН [7].

Усилие от испытательной нагрузки в растянутом поясе составной строительной конструкции определяют по выражению

$$N_p = N_{\partial\lambda} / \gamma_{fn}, \quad (4)$$

где  $N_{\partial\lambda}$  – длительная часть расчетной нагрузки, кН;  $\gamma_{fn}$  – коэффициент надежности по нагрузке [7].

Степень огнезащиты продольной рабочей арматуры растянутого пояса составной конструкции определяют по уравнению

$$C = 1,44 \cdot m_0 \cdot a_{min} / D_{\partial\lambda}^{0,8}, \quad (5)$$

где  $m_0$  – показатель условий нагрева арматуры в сечении растянутого пояса (0,25 – 1,0);  $a_{min}$  – минимальная глубина залегания арматуры по оси координат, мм;  $D_{\partial\lambda}$  – показатель термодиффузии защитного слоя бетона, мм<sup>2</sup>/мин [7].

При несимметричном расположении арматурных стержней относительно биссектрисы угла прямоугольного поперечного сечения железобетонного элемента составной конструкции показатель условий нагрева арматуры ( $m_0$ ) при двухстороннем обогреве (при  $a_x \leq a_y$ ) определяют, используя показательную функцию

$$m_0 = 0,5 \cdot (a_y/a_x)^{0,5} \leq 1, \quad (6)$$

где  $a_x$  и  $a_y$  – соответственно глубина залегания арматурных стержней от обогреваемых граней элемента по осям координат поперечного сечения, мм (при  $a_x > a_y$  – в функции (6) принимают обратное соотношение величины осевых расстояний, т. е.  $a_x/a_y$ ) [7].

Глубину залегания стержней рабочей арматуры по осям координат (осевые расстояния  $a_{x,y}$ ) определяют по уравнению

$$a_{x,y} = u_{x,y} + 0,5 \cdot d_s, \quad (7)$$

где  $a_{x,y}$  – толщина защитных слоев соответственно по осям  $x$  или  $y$ , мм;  $d_s$  – номинальный диаметр продольных арматурных стержней, мм [7].

Величину показателя термодиффузии защитного слоя бетона ( $D_{ам}$ , мм<sup>2</sup>/мин) при осредненной температуре 450 °С определяют по аналитическому уравнению

$$D_{ам} = 60 \cdot 10^{-3} \cdot (\lambda_0 \pm 0,45 \cdot b) / [p_c \cdot (C_0 + 0,45 \cdot d + \omega/20)], \quad (8)$$

где  $\lambda_0$  и  $C_0$  – показатели теплопроводности бетона, Вт/(м·°С), и удельной теплоемкости, кДж/(кг·°С), при нормальной температуре (20 ± 5 °С);  $b$  и  $d$  – термические коэффициенты теплопроводности и теплоемкости бетона;  $p_c$  и  $\omega$  – плотность бетона в сухом состоянии, кг/м<sup>3</sup>, и его влажность, % по массе [3].

Интегральный показатель безопасности растянутого железобетонного пояса составной строительной конструкции определяют по выражению

$$K_1 = \gamma_n \cdot m_{об} \cdot k_{сн} \cdot k_{ф}, \quad (9)$$

где  $\gamma_n$  – коэффициент надежности растянутого пояса по назначению здания;  $m_{об}$  – показатель условий обогрева периметра сечения элемента составной строительной конструкции;  $k_{сн}$  – показатель сплошности сечения элемента составной конструкции;  $k_{ф}$  – показатель номинального диаметра рабочей арматуры [7].

Длительность сопротивления сжатого железобетонного пояса составной строительной конструкции  $f_{ур,2}$ , мин, от начала стандартного теплового воздействия до потери несущей способности определяют по выражению

$$f_{ур,2} = 5 \cdot B^2 \cdot (1 - J_{\sigma 0})^2 \cdot (1 - 0,6 \cdot \alpha_{\mu 3}) \cdot K_2 / (D_{ам}^2 \cdot R_{сн}^{0,25}), \quad (10)$$

где  $B$  – наименьший размер прямоугольного поперечного сечения сжатого пояса, мм;  $J_{\sigma 0}$  – интенсивность силовых напряжений в сечении сжатого пояса (0 – 1);  $\alpha_{\mu 3}$  – степень армирования сжатого пояса;  $K_2$  – интегральный показатель безопасности сжатого пояса;  $D_{ам}$  – показатель термодиффузии защитного слоя бетона, мм<sup>2</sup>/мин;  $R_{сн}$  – нормативная прочность бетона сопротивлению на осевое сжатие, МПа [7].

Интенсивность силовых напряжений в сечении сжатого железобетонного пояса составной строительной конструкции ( $J_{\sigma 0}$ ) от испытательной нагрузки на огнестойкость определяют по формуле

$$J_{\sigma 0} = k_3 \cdot N_{\rho 0} / N_{инт} \quad (11)$$

где  $k_3$  – коэффициент условий закрепления сжатого пояса (0,8 – 0,9);  $N_{\rho 0}$  – испытательная нагрузка при

оценке огнестойкости сжатого пояса, кН;  $N_{инт}$  – разрушающая сжатый пояс продольная сила до начала теплового испытания, кН [7].

Степень армирования сжатого пояса ( $\alpha_{\mu 3}$ ) вычисляют, используя выражение

$$\alpha_{\mu 3} = (A_s / A) \cdot (R_{сн} / R_{сн}), \quad (12)$$

где  $A_s$  и  $A$  – соответственно площади рабочей арматуры и всего бетона в сечении сжатого пояса, мм<sup>2</sup>;  $R_{сн}$  и  $R_{сн}$  – соответственно расчетное сопротивление арматуры сжатию и нормативное сопротивление бетона осевому сжатию, МПа (СП 63. 13330. 2012 «СНиП 52 – 01 – 2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»).

Интегральный показатель безопасности сжатого пояса ( $K_2$ ) определяют, используя алгебраическое уравнение

$$K_2 = \gamma_n \cdot m_{об} \cdot k_{сн} \cdot k_a \cdot \phi, \quad (13)$$

где  $\gamma_n$  – коэффициент надежности составной строительной конструкции по назначению здания;  $m_{об}$  – показатель условий обогрева периметра сечения сжатого пояса;  $k_{сн}$  – показатель сплошности сечения сжатого пояса;  $k_a$  – показатель глубины залегания рабочей арматуры;  $\phi$  – коэффициент продольного изгиба сжатого пояса [7].

Длительность сопротивления тепловому воздействию стальной гофростенки  $f_{ур,3}$ , мин, с учетом огнезащиты определяют по уравнению

$$f_{ур,3} = 48 \cdot (1 - J_{\sigma 3})^3 \cdot e^c + r_{us,сн}, \quad (14)$$

где  $J_{\sigma 3}$  – интенсивность силовых напряжений в металле гофростенки (0,1 ± 0,05).

Степень огнезащиты металла гофростенки вычисляют по уравнению

$$C = 1,45 \cdot m_0 \cdot \delta_0 / D_{ам}^{0,8} \quad (15)$$

где  $m_0$  – показатель условий нагрева контрольной точки стальной гофростенки; при симметричном двухстороннем подводе тепла  $m_0 = 0,5$ ;  $\delta_0$  – толщина огнезащитного покрытия гофростенки, мм;  $D_{ам}$  – показатель термодиффузии материала покрытия, мм<sup>2</sup>/мин [8].

Длительность сопротивления тепловому воздействию гофростенки без его огнезащиты  $r_{us,сн}$  определяют по аналитическому уравнению

$$r_{us,сн} = 6 \cdot \{(A_{s,сн} / p_{01}) + 18,33 \cdot [(1 - J_{\sigma 3,сн})^{1/2} - 0,5]\}, \quad (16)$$

где  $A_{s,сн}$  – площадь металла сечения гофростенки, см<sup>2</sup>;  $p_{01}$  – периметр обогрева сечения гофростенки, см;  $J_{\sigma 3,сн}$  – интенсивность силовых напряжений в сечении гофростенки (0,1 ± 0,05) [9, 10].

На рис. 1 изображена геометрическая схема составной строительной конструкции с параллельными поясами (а) и схема усилий в ее элементах (б).

На рис. 2 и 3 изображена расчетная схема сжатого / растянутого железобетонного пояса составной конструкции к определению несущей способности (а) и к оценке огнестойкости (б).

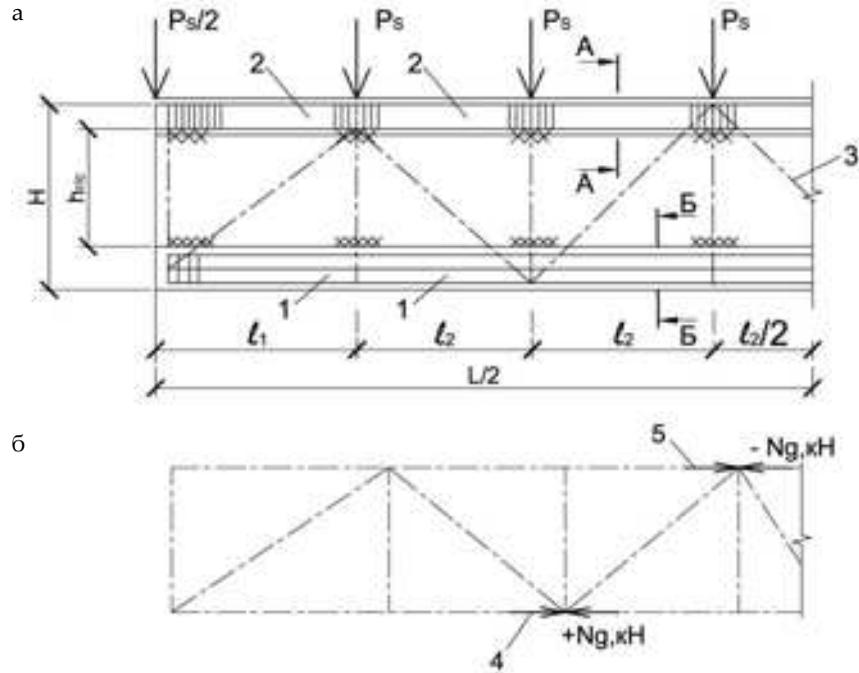


Рис. 1. Геометрическая схема составной строительной конструкции с параллельными полками (а) и схема усилий в элементах составной конструкции (б):  
 1 – нижняя железобетонная полка; 2 – верхняя железобетонная полка; 3 – стальная гофростенка;  
 $hg/c$  – высота гофростенки;  $H$  – высота составной конструкции;  $P_s$  – нагрузка;  
 4 – усилие растяжения  $+Ng, \kappa H$ ; 5 – усилие сжатия  $-Ng, \kappa H$

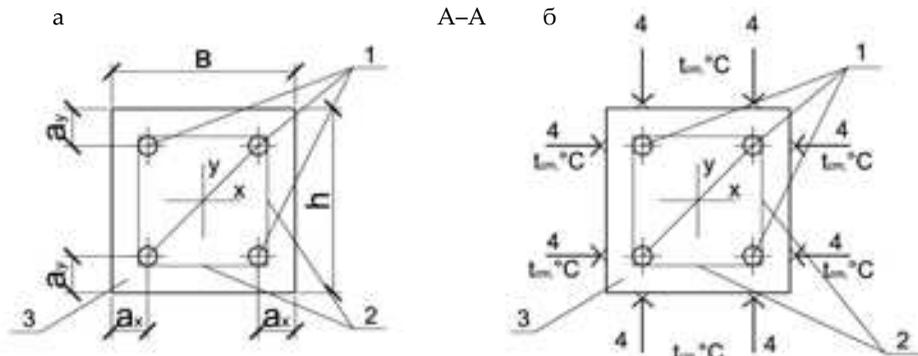


Рис. 2. Расчетная схема сжатого железобетонного пояса (сечения А-А) при оценке:  
 а – прочности; б – огнестойкости элемента: 1 – рабочая сжатая арматура; 2 – хомуты; 3 – бетон защитного слоя;  
 4 – направление теплового воздействия  $t_{ст}, ^\circ C$

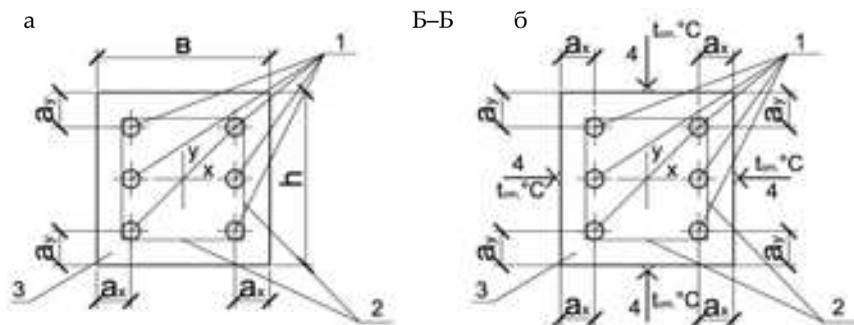


Рис. 3. Расчетная схема растянутого железобетонного пояса (сечения Б-Б) при оценке:  
 а – прочности; б – огнестойкости элемента: 1 – рабочая растянутая арматура; 2 – хомуты; 3 – бетон защитного слоя;  
 4 – направление теплового воздействия  $t_{ст}, ^\circ C$

**Выводы.** 1. Получено математическое описание процесса сопротивления составных строительных конструкций здания тепловому воздействию стандартного пожара, аналитические уравнения которого составляют основу алгоритма экспресс-расчета проектной огнестойкости сталежелезобетонных конструкций.

2. Разработана новая конструктивная форма составной сталежелезобетонной конструкции здания и усовершенствована система действий по оценке огнестойкости ее элементов на уровне изобретений, которые внедрены в строительную практику [3 – 6].

3. Творческий результат научно-исследовательской работы представляют:

- вариант преобразованной теории расчета огнестойкости несущей строительной конструкции здания;

- создание нового метода по расчету ее проектной огнестойкости вследствие предложенных аналитических функций (2), (10), (14).

4. Технологический эффект от использования экспресс-расчета огнестойкости составной строительной конструкции получают благодаря:

- расширению диапазона применения способа оценки огнестойкости строительной конструкции, имеющей другой вид напряженного состояния элементов составной конструкции здания;

- приближению условий испытаний элементов составной конструкции к реальным условиям их эксплуатации;

- повышению точности результатов испытаний при использовании статистического метода оценки единичных показателей качества элементов составной конструкции;

- назначению комплекса основных параметров, влияющих на огнестойкость элементов составной конструкции;

- вычислению интегральных параметров теплофизических и конструктивных характеристик элементов составной конструкции;

- составлению математических моделей (описаний) процесса сопротивления элементов составной конструкции стандартному огневому испытанию.

Полученные результаты научно-исследовательской работы рекомендуются для практического применения в проектных организациях и могут быть использованы для усовершенствования нормативной документации по пожарной безопасности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ильин Н.А. Техническая экспертиза зданий, поврежденных пожаром. М.: Стройиздат, 1983. 200 с.

2. Огнестойкость зданий / В.П. Бушев, В.А. Пчелинцев, В.С. Федоренко, А.И. Яковлев. М.: Стройиздат, 1970. 261 с.

3. Патент 2 282 848 РФ, МПК 7 G 01 № 25/50. Способ определения огнестойкости растянутых элементов железобетонных конструкций здания / Н.А. Ильин, А.А.

Сургачев, В.В. Тюрников, С.В. Эсмонт; заявл. СГАСУ 06.09.04; опубл. 28.08.06. Бюл. № 24.

4. Заявка на изобретение № 2015 136 088 МПК G01 № 25/50. Способ оценки огнестойкости железобетонной фермы здания / Н.А. Ильин, Д.А. Панфилов; заявл. СГАСУ 25.08.2015 г., приоритет 28.08.2015.

5. Заявка на изобретение № 2016 000 000 МПК G 01 №25/50. Способ оценки огнестойкости составной конструкции зданий / Н.А. Ильин, Д.А. Панфилов; заявл. СГАСУ: 2016 г.

6. Патент № 2 320 982 RU, МПК G 01 № 25/50. Способ определения огнестойкости стальных огнезащитных балок здания / Н.А. Ильин, С.С. Ведерников, заявл. СГАСУ 04.07.2006; опубл. 27.03.2008. Бюл. № 9.

7. Определение огнестойкости железобетонных конструкций зданий. Методика: СТО СГАСУ 21.13.35 – 15 / сост.: Н.А. Ильин, Д.А. Панфилов; СГАСУ. Самара, 2015. 82 с.

8. Определение огнестойкости стальных конструкций зданий. Методика: СТО СГАСУ 21.13.34 – 16 / сост. Н.А. Ильин; СГАСУ. Самара, 2016. 76 с.

9. Зубков В.А., Лукин А.О. Экспериментальные исследования влияния технологических и конструктивных параметров на несущую способность металлических балок с гофрированной стенкой // Вестник МГСУ. 2013. № 2. С. 37 – 46.

10. Лукин А.О. К уточненному расчету напряженно-деформированного состояния балок с гофрированной стенкой // Строительная механика и расчет сооружений. 2013. №5. С. 10 – 17.

Об авторах:

**ПАНФИЛОВ Денис Александрович**

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций

Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. (909) 343-19-86

**ИЛЬИН Николай Алексеевич**

кандидат технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения

Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. (846)339-14-71

**ЖИЛЬЦОВ Юрий Викторович**

старший преподаватель кафедры строительных конструкций, заведующий ОНИЛ ЖБК

Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. (908) 386-35-21

**БЛИНКОВА Екатерина Валерьевна**

ассистент кафедры строительных конструкций

Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. (919) 809-44-46

**PANFILOV Denis A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair

Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (909) 343-19-86

**ILYIN Nikolay A.**

PhD in Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair

Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (846)339-14-71

**ZHILTSOV Yury V.**

Senior Lecturer of the Building Structures Chair, Head of the Laboratory of Reinforced Concrete Structures

Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (908) 386-35-21

**BLINKOVA Ekaterina V.**

Assistant of the Building Structures Chair

Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (919) 809-44-46

Для цитирования: Панфилов Д.А., Ильин Н.А., Жильцов Ю.В., Блинкова Е.В. Методика оценки огнестойкости составных строительных конструкций зданий // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 12-17. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.3. For citation: Panfilov D.A., Ilyin N.A., Zhiltsov Yu.V., Blinkova E.V. Method of Evaluation of the Fire Resistance of Composite Building Structures// Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 12-17. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.3.

А. А. ПИЩУЛЁВ  
Е. В. БЛИНКОВА  
Ш. Н. МАКАРОВА

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОПАЛУБОЧНЫХ СИСТЕМ И BIM ТЕХНОЛОГИЙ

IMPROVING THE QUALITY OF CONCRETE WORK THROUGH THE USE OF POLYMERIC MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF INDIVIDUAL FORMWORK SYSTEMS AND BIM TECHNOLOGIES

*Предложен новый тип опалубочных систем на основе использования BIM технологий и листов опалубки из полимерных материалов для возведения стандартных и индивидуальных строительных конструкций с чистой отделкой. Приведены статистические данные о тенденции развития монолитного домостроения в России и мире. Представлены преимущества и недостатки данной технологии, показаны способы борьбы с ними. Предложена система парафиновой опалубки для облегчения реставрационных работ, а также работ по возведению архитектурно-выразительных частей фасадов (лепнин, сандриков, объемных композиций). Разработан алгоритм работы с ней при помощи пространственного сканирования фасадов и 3D печати.*

**Ключевые слова:** монолитное строительство, железобетонные конструкции, опалубка, листы из полимерных материалов, чистовая отделка, парафиновая опалубка, 3D принтер, 3D сканер, реставрация, архитектурно-выразительные формы

Активное развитие технологий современного строительства преследует целый комплекс инновационных целей и задач – ресурсная экономия, экологичность, быстрота возведения, футуристическая эстетичность, долговечность, адаптивность и т. д. Анализ способов возведения зданий и конструктивных схем, существующих на сегодняшний день [1, 2], показывает, что самым эффективным и наиболее полно удовлетворяющим современным архитектурно-строительным требованиям является монолитное домостроение. Данная технология прошла проверку временем и доказала свое превосходство. Ввиду многочисленных преимуществ и неограниченных возможностей, которыми обладает технология монолитного строительства, это направление является одним из наиболее востребованных способов возведения здания. Именно поэтому зарубежная практика строительства практически полностью перешла от зданий с несущими стенами из мелкоштучных материалов к зданиям каркасного типа [2, 3].

*A new type of formwork systems based on the use of BIM technologies and formwork sheets from polymeric materials for the erection of standard and individual building structures with a fine finish have been proposed. The statistical data on the development trend of monolithic housing construction in Russia and the world are given. The advantages and disadvantages of this technology are presented, it is shown how to deal with them. A system of paraffin formwork has been proposed to facilitate restoration work, as well as works on the construction of architecturally expressive parts of the facades (moldings, sandriks, bulk compositions). An algorithm for working with it using spatial scanning of facades and 3D printing has been developed.*

**Keywords:** monolithic construction, reinforced concrete structures, formwork, sheets of polymeric materials, fine finish, paraffin formwork, 3D printer, 3D scanner, restoration, architectural and expressive forms

В США, Китае, ряде стран Европы доля монолитного строительства превышает 50 % в высотном домостроении (по аналитическим данным группы компаний «СВЕЗА»). Наиболее широко распространено строительство монолитных зданий в странах Востока. В Пекине около 85 % зданий возводится с использованием именно этой технологии.

Применение монолитного железобетона в зданиях высотой до 70 этажей позволяет повысить их жесткость, обеспечить огнестойкость конструкций, гарантирует большую устойчивость, содействует быстрому затуханию колебаний и делает возможной реализацию смелых архитектурных замыслов.

Без этой технологии было бы невозможно возвести самые высокие здания в мире, такие как башня «Бурдж-Халифа» (Burj Khalifa) высотой 828 м в Дубае (ОАЭ), башня «Тайбэй 101» (Taipei 101) высотой 509 м (КНР), башня «Уиллис-тауэр» (Willis Tower) высотой 527 м (США) и такие сложные по архитектуре, как «Аль-Хамра Фирдаус» (Al Hamra Tower) в Кувейте (412 м) [4, 5].

Бетон, в современном понимании этого термина, стал применяться еще древними римлянами [1]. Из нового материала сооружались крупные монолитные конструкции, способные перекрывать широкие пролеты, так в римской архитектуре появились купола и своды. Строительные конструкции благодаря новой монолитной технологии обрели эстетику. Построенное во II в. здание Пантеона в Риме, с его знаменитым, выполненным из бетона куполом с внутренним диаметром 43,5 м, впечатляет и в наши дни. Жаль, что рецепт приготовления прекрасного античного бетона был утрачен с падением Рима.

В нашей стране уже в начале 30-х гг. прошлого века в строительной практике полным ходом применялись всевозможные монолитные конструкции. Именно с их помощью был построен Центральный телеграф в Москве. Строительство дома «Известий» на Пушкинской также осуществлялось с применением данной технологии. Крупным успехом отечественного высотного монолитостроения явилась построенная в 1963-1967 гг. в Москве по проекту Н.В. Никитина Останкинская телебашня. При общей высоте 540 м железобетонная часть составляет 380 м. В то время это было самое высокое здание в мире.

И сейчас с применением монолитного железобетона возводится все больше строительных объектов как жилищного строительства, так и коммерческого (атриумные небоскребы, коммерческие бизнес-центры, комплекс «Москва-Сити»).

Перспективы монолитного строительства в нашей стране и за рубежом непосредственно связаны с преимуществами самой технологии:

1) Срок службы монолитного дома составляет от 150 до 300 лет, а его конструктивные особенности дают возможность выдержать землетрясение силой до 8 баллов.

2) Каждый монолитный дом имеет индивидуальный фасад (наружные стены могут быть любыми – панельными, кирпичными или навесными).

3) Свободная планировка квартир, объединение нескольких квартир. (Неоспоримым преимуществом монолитных домов является то, что жильцы могут делать любую перепланировку квартир. Это возможно потому, что жесткость несущих элементов не нарушается. Такие вольности в панельных или

кирпичных домах могут привести к серьезным последствиям, даже к обрушению здания).

4) Монолитные дома легче реконструировать для продления их жизненного цикла.

5) Высокая скорость строительства: можно возводить до одного этажа в день (при любых плюсовых или минусовых температурах).

6) Нормативная нагрузка на межэтажные перекрытия ( $600 \text{ кг/м}^2$ ) выше в три раза, чем в панельном доме, что позволяет устанавливать тяжелое бытовое оборудование (сауны, минибассейны).

7) Монолитная конструкция обеспечивает равномерную осадку дома и предотвращает образование трещин.

8) Экологичность материала [6].

На сегодняшний день технология монолитного строительства широко распространена и в интерьерах зданий. Примерами могут служить лестницы необычных форм (рис. 1), декоративные элементы интерьера (рис. 2) и мебель из бетона, малые архитектурные формы (фонтаны, беседки, светильники). Помимо собственно бетонных стен, сегодня существует возможность облицовки стен декоративными 3D панелями, также отлитыми из бетона или гипса. В этом случае сохраняется «лофтовость» интерьера и в то же время стены выглядят намного уютнее.

Основой технологии монолитного строительства, прежде всего, является качественная, надежная и гибкая система опалубок [3,4]. Существует множество различных систем опалубок для монолитного строительства как зарубежного, так и отечественного производства. Наибольшей популярностью пользуются Гелиос, Peri (Германия), Doka (Австрия), МонолитСтройКомплект (МСК), Мекос, Skydome Geoplast (Италия).

Чаще всего в строительстве применяют разборно-переставную мелко- или крупнощитовую съемную опалубку [8]. Рабочие поверхности опалубок многократного применения изготавливаются из клееной или ламинированной фанеры и древесины. Главный недостаток древесины – высокая гигроскопичность, способность впитывать влагу из бетона и, как следствие, изменение формы, размеров, образование прогибов и ухудшение качества бетонной поверхности, образование швов, наплывов в местах стыковки листов (рис. 3). Кроме того, деревянные



Рис. 1. Лестница монолитного железобетона



Рис. 2. Камин

элементы практически не поддаются реставрации, что принципиально сокращает срок их службы, а при опалубливании уникальных (нестандартных) форм не подлежат дальнейшему использованию.

В нашей работе мы готовы представить решение всех вышеперечисленных недостатков применением в опалубке листов из полимерных материалов. Это является относительно новым, инновационным направлением на рынке опалубочных систем. По сравнению с фанерными щитами полимерные панели имеют меньший вес, низкую гигроскопичность, стойкость к ультрафиолетовому излучению, стойкость к механическим повреждениям, малую прилегаемость к бетону и упрощенную очистку. Особое внимание уделяется вопросу долговечности и надежности щитов, подвергающихся в процессе эксплуатации наибольшему износу из-за влияния давления бетонной смеси и непосредственного контакта с нею.

Конструкция палубы со скрытыми швами и надежными замками, скрепляющая листы в единое полотно, обеспечивает получение гладких лицевых поверхностей строительных конструкций. Это устраняет потребность в оштукатуривании и ряде видов специальной подготовки при декоративной отделке фасадов и интерьеров зданий. То есть из технологического цикла производства строительных работ выпадают трудоемкие «мокрые процессы», вынуждающие учитывать сезонность и требующие применения высококвалифицированного ручного труда. Такой способ возведения зданий позволит значительно сократить сроки и стоимость строительства.

Мы предусматриваем изготовление листов как стандартных размеров, так и по индивидуальным заказам для решения сложных нестандартных задач. После использования эти листы отправляются на вторичную переработку для изготовления новых форм для решения следующих индивидуальных проектов.

Главной особенностью нашего проекта является то, что крупным строительным компаниям не придется приобретать новые опалубочные системы, так как мы максимально используем номенклатуру изделий популярного на российском рынке производителя опалубки PERI. Приобретаются только листы опалубки стандартных или индивидуальных размеров. В дополнение к предоставленным продуктам мы предусматриваем сотрудничество в рамках переработки и изготовления новых форм опалубочных листов.

Рассмотрим еще одно перспективное направление развития опалубочных систем – это парафиновая опалубка. Ее основным предназначением является опалубливание архитектурно-выразительных частей фасадов (лепнины, сандрики, ордера и др.) (рис. 4), реконструкция памятников архитектурного наследия [9], а также применение в интерьерах здания.

Парафин обладает главным, для поставленных перед ним задач, свойством: достаточная прочность в твердом состоянии при нормальных температурах и достаточная подвижность в нагретом состоянии (температура плавления твердых парафинов от 50 до 70 °С). Благодаря этому не составляет труда вы-

полнять на специальных установках трехмерной печати всевозможные формы опалубки, которую легко демонтировать путем нагрева до температуры 70 °С.

Декоративные элементы фасада могут быть представлены традиционными элементами [10]: карнизы, сандрики, наличники, откосы, балюстрады, колонны, пилястры, базы, капители, филенки, замковые камни, рустовые камни, цокольные камни. Изготовление этих частей требует значительных затрат, а также специалистов особого профиля.

С применением предлагаемой технологии парафиновой опалубки изготовление архитектурно-выразительных форм станет более доступным. Реставрация памятников архитектурного наследия [11] станет более доступной с применением технологии трехмерного сканирования с учетом кренов (рис. 5), дефектов и прогибов здания.

Последовательность работ заключается в следующем: выбирается объект для реставрации, производится сканирование при помощи 3D сканера, полученное изображение поля точек загружается в программу моделирования, в которой человек воссоздает утраченные элементы и формы в электронной модели. Затем отдается команда печати опалубки на 3D принтер. После установки опалубки, заливки и набора прочности бетона опалубку нагревают



Рис. 3. Стык опалубочных форм, технологические отверстия. Наплывы бетона



Рис. 4. Архитектурно-выразительные формы. Карниз



Рис. 5. Сканирование скульптуры. 3D сканер Lieca ScanStation P30

и она легко стекает с готовой конструкции даже с самых труднодоступных мест.

Фасады зданий перестанут быть серыми и однообразными. Города потеряют безликость и обретут собственный стиль.

В настоящее время полимерные композиционные материалы имеют широкую область применения в строительстве, которая непрерывно расширяется за счет создания новых материалов [3,4]; при устройстве кровли (полимерная черепица), систем водоснабжения и водоотведения (канализационные люки, канализационные трубы), во внутренней отделке помещений (виниловые обои, материалы для отделки стен и потолка на полимерной основе, различные декоративные и моющиеся пленки, защитные и декоративные покрытия) и др.

**Вывод.** Опалубочная полимерная панель является отличной альтернативой фанерной опалубке, а по долговечности, технологичности и простоте использования во многом превосходит ее. Полимерный профиль позволяет получать гладкую поверхность после заливки на всем протяжении срока службы. Более того, демонтаж палубы осуществляется очень быстро, так как полимерные плиты легко отстают от бетона и практически не требуют нанесения смазки. Данный продукт одинаково хорошо работает как при низких, так и при высоких температурных режимах, что позволяет использовать его вне зависимости от времени года.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Веселов А.А., Сконников А.В., Жуков В.И. Железобетонные конструкции. СПб.: СПбГАСУ, 2009.132 с.

2. Прокопович А.А., Репекто В.В., Луконин В.А. Индустриальное каркасное и панельное домостроение // Строительные материалы. 2011. № 6. С. 50–51.

3. Моргунов Л.В., Набокова Я.С., Моргунов В.Н. Об эффективности опалубок при возведении зданий // Жилищное строительство. 2008. №6. С. 9–11.

4. Доркин Н.И., Зубанов С.В. Технология возведения высотных монолитных железобетонных зданий / СГА-СУ. Самара, 2012. 228 с.

5. Генералов В.П. Особенности проектирования высотных зданий / СГАСУ. Самара, 2009. 296 с.: ил.

6. Сидоренко Ю.В. Строительная экология в области материалов, изделий и конструкций [Электронный ресурс] / СГАСУ. Самара, 2014. 41 с. (дата обращения: 05.06.2017).

7. Сидоренко Ю.В., Коренькова С.Ф. Строительные материалы // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 1. С. 17–23.

8. Соколов Г.К. Технология и организация строительства. 5-е изд., испр. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 528 с.

9. Омаров А. О. Проблемы теории и методологии реставрации и консервации памятников культуры и истории // Сборник материалов XXXVIII итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов Дагестанского государственного технического университета / под ред. Т.А. Исмаилова. 2017. С. 319–321.

10. Володина Н.Н. Реконструкция исторически сложившихся территорий центра крупнейшего города / СГАСУ. Самара, 2012. 50 с.

11. Бальзанникова Е.М. Сохранение городских объектов историко-архитектурного наследия // Вестник МГСУ. 2014. №1. С. 20–26.

Об авторах:

#### **ПИЩУЛЁВ Александр Анатольевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций

Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

#### **БЛИНKOVA Екатерина Валерьевна**

ассистент кафедры строительных конструкций

Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. (919) 809-44-46

#### **МАКАРОВА Шолпан Нуржановна**

студентка факультета промышленного и гражданского строительства

Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

#### **PISHCHULEV Alexander A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor  
of the Building Structures Chair

Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194

#### **BLINKOVA Ekaterina V.**

Assistant of the Building Structures Chair

Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (919) 809-44-46

#### **MAKAROVA Sholpan N.**

Student of the Faculty of Industrial and Civil Engineering  
Samara State Technical University

Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194

Для цитирования: Пищулёв А.А., Блинова Е.В., Макарова Ш.Н. Повышение качества бетонных работ путем применения полимерных материалов для изготовления индивидуальных опалубочных систем и BIM технологий // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 18-21. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.4.

For citation: Pishchulev A.A., Blinkova E.V., Makarova S.N. Improving the Quality of Concrete Work through the Use of Polymeric Materials for the Manufacture of Individual Formwork Systems and BIM Technologies // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 18-21. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.4.

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ



УДК 697.1

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.5

**Ю. С. ВЫТЧИКОВ  
М. Е. САПАРЁВ  
В. А. ГОЛИКОВ**

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНЫХ СТЕН ЗАГОРОДНЫХ КОТТЕДЖЕЙ, УТЕПЛЕННЫХ МОНОЛИТНЫМ ПЕНОБЕТОНОМ

OPTIMIZATION OF HEAT-SHIELDING CHARACTERISTICS OF THE EXTERIOR WALLS  
OF COUNTRY COTTAGES, INSULATED WITH MONOLITHIC FOAM CONCRETE

*Рассмотрены теплозащитные свойства трехслойных наружных стен, утепленных монолитным пенобетоном. Приводится температурный режим в помещениях, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления. Предлагается оптимальная конструкция наружной стены с применением монолитного пенобетона для строительства загородных коттеджей. Для данной конструкции приводятся результаты теплотехнического расчета с применением аналитической зависимости определения сопротивления теплопередаче, обеспечивающего минимальное время прогрева стены. Результаты расчета представлены в табличной форме при заданных времени нагрева и плотности пенобетона. Построена зависимость для определения максимально допустимого сопротивления теплопередаче наружной стены при различной плотности монолитного пенобетона.*

**Ключевые слова:** монолитный пенобетон, прерывистое отопление, время нагрева, наружная стена, сопротивление теплопередаче

*The heat-shielding properties of three-layer external walls insulated with monolithic foam concrete are considered in the article. The temperature is given in rooms operated in intermittent heating conditions. An optimal exterior wall design is proposed using monolithic foam concrete for the construction of country cottages. For this design, the results of heat engineering calculations are presented using the analytical dependence of determining the heat transfer resistance, which ensures the minimum warm-up time of the wall. The results of the calculation are presented in tabular form for a given heating time and density of foam concrete. Also a relationship is described to determine the maximum allowable resistance to heat transfer of the outer wall at different densities of monolithic foam concrete.*

**Keywords:** monolithic foam concrete, intermittent heating, heating time, external wall, resistance to heat transfer

При проектировании современных многоквартирных жилых зданий в настоящее время широко используются различные фасадные системы, в которых теплоизоляционный слой располагается с наружной стороны несущей части стены. Использование наружного утепления существенно повышает теплотехническую однородность ограждающих конструкций, создает благоприятный тепловлажностный режим эксплуатации зданий и повышает долговечность стеновых конструктивных материалов.

Однако, как показали результаты исследования, приведенного в работе [1], применение наружного

утепления кирпичных стен зданий, эксплуатируемых в условиях переменного теплового режима, характерного для загородных коттеджей, нецелесообразно из-за высокой инертности кирпичной кладки.

При использовании наружного утепления существенно возрастает время натопа помещений и, как следствие, энергозатраты на нагрев ограждающих конструкций. При проектировании строительных ограждающих конструкций, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления, как это следует из работ [1–4], необходимо учитывать не только их теплозащитные, но и динамические характеристики [5, 6].

На рис. 1 приведен характерный график изменения температуры внутреннего воздуха в отапливаемом загородном коттедже.

Температура внутреннего воздуха  $t_{в1}$  в загородном коттедже в период пребывания людей – III период ( $\tau_2 \leq \tau \leq \tau_3$ ) задается в соответствии с нормативными требованиями, приведенными в ГОСТ 30494-2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

Во время отсутствия людей в помещении температура внутреннего воздуха  $t_{в2}$  при работе дежурного отопления в период I ( $0 \leq \tau \leq \tau_1$ ) должна обеспечить исключение выпадения конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций.

Теплотехнический расчет наружных стен, покрытий и перекрытий в I – IV периодах эксплуатации здания загородного коттеджа выполняется по известной методике, приведенной в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

В настоящее время нет инженерной методики расчета теплового режима ограждающих конструкций, эксплуатируемых в условиях нестационарной теплопередачи – нагрета помещения (период II) и охлаждения (период IV).

В практике строительства в последнее время широко используется технология возведения зданий коттеджей с использованием монолитного бетона [7–9]. В качестве теплоизоляционного материала целесообразно использовать монолитный пенобетон малой плотности от 200 до 400 кг/м<sup>3</sup>.

На основании вышеперечисленных факторов авторами предложена оптимальная конструкция наружной стены для загородного строительства (рис. 2). Ограждающая конструкция выполнена в виде кладки из керамического кирпича толщиной  $\delta = 250$  мм, плотностью  $\rho = 1800$  кг/м<sup>3</sup>; монолитного пенобетона, характеристики которого варьируются в зависимости от плотности; гипсокартона толщиной  $\delta = 12,5$  мм, плотностью  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>.

Теплофизические характеристики монолитного пенобетона приведены в табл. 1 [10].

Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», минимально допустимое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций можно определить исходя из обеспечения санитарно-гигиенических условий

$$R_0^{np} > R_0^{tr}, \quad (1)$$

где  $R_0^{np}$  – приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;  $R_0^{tr}$  – требуемое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт.

Исходя из неравенства (1) получим выражение для определения минимальной величины толщины монолитного пенобетона:

$$\delta_2^{\min} = \lambda_2 \left( \frac{t_{в1} - t_n}{r \cdot \alpha_{в} \cdot \Delta t_n} - \frac{1}{\alpha_{в}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_n} \right), \text{ м}, \quad (2)$$

где  $r$  – коэффициент теплотехнической однородности наружной стены;  $\alpha_{в}$ ,  $\alpha_n$  – коэффициенты теплоотдачи от стены внутренней и наружной поверхности, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $\Delta t_n$  – нормативный перепад между внутренним воздухом и внутренней поверхностью наружной стены, °C.

Максимально допустимое сопротивление теплопередаче глади наружной стены можно определить исходя из обеспечения минимально допустимого времени прогрета  $\tau_n$  согласно [8] по формуле

$$R_0 = \left( B + \sqrt{B^2 + D_1 \left( \frac{2}{\alpha_{в}} + R_1 \right) - \left( \frac{1}{\alpha_{в}} + R_1 + R_3 + \frac{1}{\alpha_n} \right) \left( \frac{1}{\alpha_{в}} + R_1 - R_3 - \frac{1}{\alpha_n} \right) + \frac{\tau_n (t_{в2} - t_n)}{c_2 \rho_2 \lambda_2 (t_{в2} - t_n) A} - D_2 \left( R_1 + \frac{2}{\alpha_{в}} \right)} \right), \quad (3)$$

$$\text{где } B = \frac{1}{\alpha_{в}} - \frac{c_1 \rho_1 \lambda_1}{c_2 \rho_2 \lambda_2}; A = \frac{1 + 2\phi}{1 + \phi}; D_1 = \frac{c_1 \rho_1 \lambda_1}{c_2 \rho_2 \lambda_2}; D_2 = \frac{c_3 \rho_3 \lambda_3}{c_2 \rho_2 \lambda_2};$$

$$\phi = \frac{R_n}{R_n + R_k} - \text{безразмерный критерий граничных условий};$$

$R_n = 1/\alpha_n$  – термическое сопротивление критерия теплопередачи с наружной поверхности стены, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;  $R_k$  – термическое сопротивление конструкции наружной стены, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт.

Максимально допустимая толщина монолитного пенобетона определяется по формуле

$$\delta_2^{\max} = \lambda_2 \left( R_0^{\max} - \frac{1}{\alpha_{в}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_n} \right), \text{ м}. \quad (4)$$

Таким образом, толщина монолитного пенобетона должна выбираться исходя из указанного неравенства:

$$\delta_2^{\min} \leq \delta_2 \leq \delta_2^{\max} \quad (5)$$

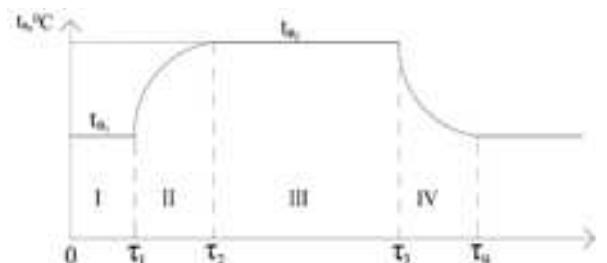


Рис. 1. График изменения температуры внутреннего воздуха в загородном коттедже

Таблица 1  
Теплофизические характеристики монолитного пенобетона

Показатель	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>		
	200	300	400
Коэффициент теплопередачи $\lambda$ , Вт/(м·°C)	0,078	0,094	0,117
Теплоемкость $c$ , кДЖ/(кг·°C)	0,84	0,84	0,84

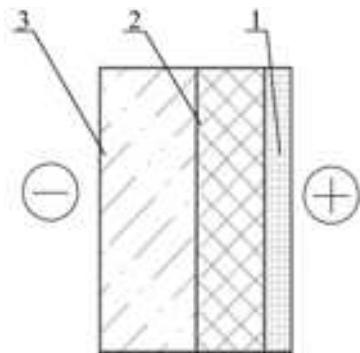


Рис. 2. Конструкция наружной стены, утепленной монолитным пенобетоном:

1 – гипсокартон:  $\delta_1 = 0,0125$  м;  $\gamma_1 = 800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_1 = 0,19$  Вт/(м·°С);  $c_1 = 0,84$  кДж/(кг·°С); 2 – теплоизоляционный слой из монолитного пенобетона; 3 – кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе:  $\delta_3 = 0,25$  м;  $\rho_3 = 1800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_3 = 0,70$  Вт/(м·°С);  $c_3 = 0,88$  кДж/(кг·°С)

Используя формулы (2)–(4), был выполнен теплотехнический расчет наружной стены. Результаты расчета сведены в табл. 2.

По результатам теплотехнического расчета построена зависимость для определения максимально допустимого сопротивления теплопередаче наружной стены при различной плотности монолитного пенобетона (рис. 3).

Из рис. 3 следует, что при заданном времени нагрева наружной стены максимально допустимое значение сопротивления теплопередаче повышается с уменьшением плотности, что приводит к снижению затрат тепловой энергии на отопление коттеджа.

**Вывод.** В результате исследования получены аналитические зависимости для определения сопротивления теплопередаче и толщины теплоизоляционного слоя, обеспечивающего требуемое время нагрева и, как следствие, благоприятные санитарно-гигиенические и комфортные условия проживания.

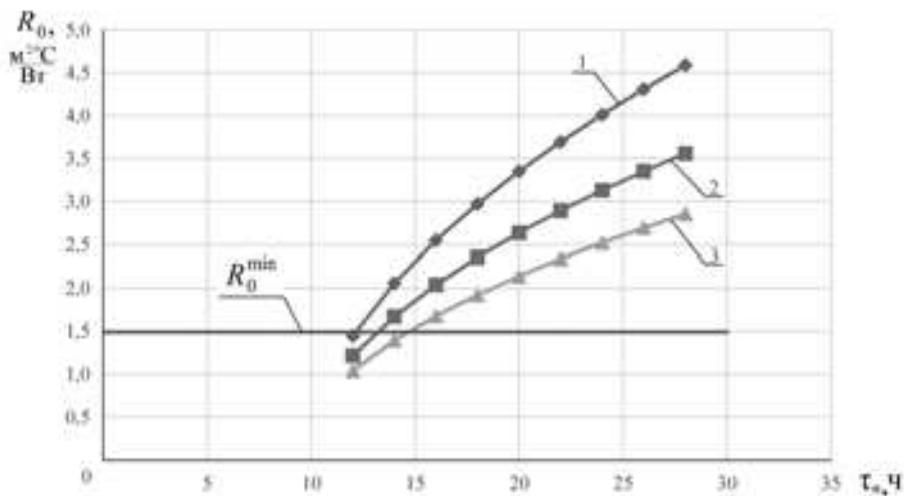


Рис. 3. Зависимость сопротивления теплопередаче наружной стены при различной плотности монолитного пенобетона от требуемого времени нагрева: 1 – при плотности 200 кг/м<sup>3</sup>; 2 – при плотности 300 кг/м<sup>3</sup>; 3 – при плотности 400 кг/м<sup>3</sup>

Результаты теплотехнического расчета наружной стены

Таблица 2

Время нагрева $\tau_n, \text{ч}$	Требуемое сопротивление теплопередаче $R_0^{np}, (\text{м}^2 \cdot \text{°С})/\text{Вт}$			Максимально допустимая толщина теплоизоляционного слоя $\delta_{из}^{max}, \text{м}$		
	$\rho_2 = 200 \text{ кг/м}^3$	$\rho_2 = 300 \text{ кг/м}^3$	$\rho_2 = 400 \text{ кг/м}^3$	$\rho_2 = 200 \text{ кг/м}^3$	$\rho_2 = 300 \text{ кг/м}^3$	$\rho_2 = 400 \text{ кг/м}^3$
12	1,448	1,216	1,042	0,082	0,060	0,054
14	2,060	1,673	1,395	0,140	0,103	0,095
16	2,552	2,041	1,679	0,187	0,137	0,128
18	2,975	2,357	1,924	0,227	0,167	0,157
20	3,353	2,639	2,142	0,263	0,193	0,183
22	3,697	2,895	2,340	0,296	0,218	0,206
24	4,015	3,132	2,524	0,326	0,240	0,227
26	4,312	3,354	2,695	0,354	0,261	0,247
28	4,592	3,562	2,857	0,381	0,280	0,266

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Чулков А.А. Оптимизация выбора уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 3. С. 90–93.

2. Вытчиков Ю.С., Вытчиков А.Ю., Беляков И.Г., Прилепский А.С. Оценка теплозащитных характеристик кладок из пустотелых керамзитобетонных камней // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и техносферная безопасность: сборник статей. Самара, 2017. С. 146–150.

3. Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г., Сапарёв М.Е. Математическое моделирование процесса нестационарной теплопередачи через строительные ограждающие конструкции в условиях прерывистого отопления // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6(48). С. 42–48.

4. Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Чулков А.А. Тепло-технический расчет перекрытий над неотапливаемым подвалом здания коттеджа, эксплуатируемого в условиях прерывистого отопления // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, № 2. С. 27–31. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.02.5.

5. Малявина Е.Г., Асатов Р.Р. Влияние теплового режима наружных ограждающих конструкций на нагрузку системы отопления при прерывистой подаче теплоты // Асадемия. Архитектура и строительство. 2010. №3. С. 324–327.

Об авторах:

### ВЫТЧИКОВ Юрий Серафимович

кандидат технических наук, профессор кафедры общей и прикладной физики и химии Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: git.2008@mail.ru

### САПАРЕВ Михаил Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: msx072007@yandex.ru

### ГОЛИКОВ Владислав Андреевич

аспирант кафедры общей и прикладной физики и химии Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: vladislavgol@rambler.ru

6. Панферов В.И., Анисимова Е.Ю. Анализ возможности экономии тепловой энергии при прерывистом режиме отопления // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2008. №12 (112). С. 30–37.

7. Гайдуков А.А. Целесообразность применения пенобетона в России // Аллея науки. 2017. Т. 4, № 10. С. 438–446.

8. Савенков А.И., Горбач П.С., Шербин С.А. Монолитные дома из пенобетона // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2008. Т. 1, № 1. С. 030–036.

9. Сергеев А.С., Сухоробров Д.Г., Пириева С.Ю. Применение пенобетона в малоэтажном строительстве // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2015. С. 2513–2517.

10. Семенов Б.А. Нестационарная теплопередача и эффективность теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1996. 176 с.

### YUTCHIKOV Yury S.

PhD in Engineering Science, Professor of the General and Applied Physics and Chemistry Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: git.2008@mail.ru

### SAPAREV Mikhail Ye.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: msx072007@yandex.ru

### GOLIKOV Vladislav A.

Postgraduate Student of the General and Applied Physics and Chemistry Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: vladislavgol@rambler.ru

Для цитирования: Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Голиков В.А. Оптимизация теплозащитных характеристик наружных стен загородных коттеджей, утепленных монолитным пенобетоном // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 22–25. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.5.

For citation: Vytchikov Yu.S., Saparev M.Ye., Golikov V.A. Optimization of Heat-shielding Characteristics of the Exterior Walls of Country Cottages Insulated with Monolithic Foam Concrete // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, №3. Pp. 22–25. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.5.

Д. В. ЗЕЛЕНЦОВ  
К. Л. ЧЕРТЕС

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ АЭРАЦИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД

THEORETICAL FEATURES AND PRACTICAL APPLICATION OF AERATION OF MULTICOMPONENT DYNAMIC GEOLOGICAL ENVIRONMENTS

Представлена математическая модель фильтрации газа через пористую среду, описывающая движение воздуха при высоконапорной принудительной аэрации, которая нужна для поддержания высокой скорости метаболизма нефте-разрушающих микроорганизмов. Аэрация необходима для создания аэробной среды при применении перспективного метода санации геосреды путем нагнетания в толщу линз нефтепродуктов специального состава, содержащего нефтеразрушающие микробиальные добавки. Получено уравнение фильтрации в полярных координатах с учетом экспериментальных данных, описывающее динамику движения газа в пористой среде в условиях принудительной высоконапорной аэрации. Выявлены функциональные зависимости, при получении значений которых можно решить полученное уравнение фильтрации.

**Ключевые слова:** фильтрация, геосреда, высоконапорная аэрация, пористость, проницаемость

Значительное число предприятий нефтеперерабатывающего комплекса функционирует продолжительное время. Одним из отрицательных результатов их производственной деятельности является образование в геологических массивах, на которых они построены, техногенных образований в виде линз нефтепродуктов. Для ликвидации подобных линз бурятся скважины, через которые откачиваются накопленные в породе нефтепродукты. Однако часть продуктов остается в породе, находясь при этом в динамическом состоянии, в связи с тем, что гидрогеологические условия нестационарные. Соответственно возникает необходимость их санации с целью снижения концентраций углеводородов в грунтах до нормативных значений, не наносящих вред окружающей среде. Перспективным методом для санации геосреды является нагнетание в толщу линз специального состава, содержащего нефтеразрушающие микробиальные добавки. Так как микроорганизмы, входящие в такой состав, являются аэробными, возникает необходимость в принудительной аэрации для поддержания высокой скорости метаболизма микроорганизмов.

A mathematical model of gas filtration through a porous medium is described, which describes the movement of air during high-pressure forced aeration, which is needed to maintain a high metabolic rate of oil-destroying microorganisms. Aeration is necessary to create an aerobic environment when applying a promising method of sanitation of the geological environment by injecting a special composition containing oil-destroying microbial additives into the lenses of oil products. The equation of filtration in polar coordinates is obtained, taking into account the experimental data, which describes the dynamics of gas movement in a porous medium under conditions of forced high-pressure aeration. The functional dependences are revealed, when obtaining the values of which one can solve the obtained filtration equation.

**Keywords:** filtration, geological environment, high-pressure aeration, porosity, permeability

В результате аэрации происходит движение воздуха в толще породы, фильтрация saniрующего состава, что ведет к непрерывному изменению структуры геосреды вследствие биодеструкции углеводородов, изменения градиента давления, накоплению или удалению в порах дисперсных частиц [1–5], т. е. имеется нестационарный процесс фильтрации в динамической среде. Основными характеристиками фильтрующей среды являются пористость, коэффициент проницаемости, а характеристиками фильтра (в данном случае сжимаемой жидкости) – плотность газа, температура, средняя скорость движения среды в порах.

Наиболее полно теория движения газа в пористой среде рассмотрена в трудах [1–4]. Простейший случай – это фильтрация газов при ламинарном режиме в неизменной пористой среде, которая является частным случаем задачи фильтрации при любом режиме движения.

Общее основное уравнение ламинарной фильтрации имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{k\rho}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{k\rho}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{k\rho}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = m \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{k\rho^2}{\mu} X \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{k\rho^2}{\mu} Y \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{k\rho^2}{\mu} Z \right), \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент проницаемости,  $m^2$ ;  $\rho$  – плотность жидкости,  $кг/м^3$ ;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости жидкости,  $Па·с$ ;  $m$  – пористость материала;  $X, Y, Z$  – массовые силы.

В случае сжимаемой жидкости (газа) плотность  $\rho = f(p, T)$ . Вводя новую функцию давления (расход)

$$q = \int \rho dp, \quad (2)$$

получим следующие уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial q}{\partial x} \\ \rho \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{\partial q}{\partial y} \\ \rho \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{\partial q}{\partial z} \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{dp}{dq} \frac{\partial q}{\partial t}. \quad (4)$$

Подставляя уравнения (3) и (2) в (1), а также считая вязкость газа величиной постоянной, а массовые силы равными  $X=Y=Z=0$ , получим уравнение движения газа в неизменной пористой среде

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial q}{\partial z} \right) = m \mu \frac{\partial \rho}{\partial q} \frac{\partial q}{\partial t}. \quad (5)$$

В результате термогенеза мы имеем не неизменную пористую среду, а деформируемую пористую среду, т. е. среду с постоянно меняющимися во времени параметрами, определяющими из которых являются пористость  $m$  и температура  $t$ . Общее уравнение неразрывности для движения в неизменной пористой среде

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} + \frac{\partial(m\rho)}{\partial t} = 0. \quad (6)$$

В случае деформируемой пористой среды уравнение (6) примет вид

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} + \left( m \frac{dp}{dq} + \frac{\rho}{\alpha_1} \right) \frac{\partial p}{\partial t} = 0, \quad (7)$$

где  $\alpha_1$  – модуль, характеризующий пористую среду.

Проведенные опыты показали, что в случае высоконапорной аэрации движение воздуха в геосреде может происходить не в ламинарном, а в турбулентном режиме движения [6]. В связи с этим рассмотрим основное уравнение теории фильтрации

$$Re = f(\Omega), \quad (8)$$

где  $\Omega$  – число фильтрации;  $Re$  – число Рейнольдса.

$$\Omega = \frac{\rho k^{3/2} P}{\mu^2 h}, \quad (9)$$

$$Re = \frac{v \rho \sqrt{k}}{\mu}, \quad (10)$$

где  $v$  – скорость фильтрации,  $м/с$ ;  $h$  – вектор (направление скорости) фильтрации,  $м$ .

Используя (9) и (10), по аналогии с (3) получим систему уравнений для скоростей турбулентной фильтрации по осям  $x, y, z$ :

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{\sqrt{k} u}{\mu} &= \theta \frac{\partial q}{\partial x} \\ \rho \frac{\sqrt{k} v}{\mu} &= \theta \frac{\partial q}{\partial y} \\ \rho \frac{\sqrt{k} w}{\mu} &= \theta \frac{\partial q}{\partial z} \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

где  $\theta$  – функциональная зависимость для числа фильтрации.

$$\theta(p) = \frac{f \left( \frac{k^{3/2}}{\mu^2} \sqrt{\Delta_1 q} \right)}{\sqrt{\Delta_1 q}}, \quad (12)$$

где  $\Delta_1 q$  – изменение расхода.

$$\Delta_1 q = \left( \frac{\partial q}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial q}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial q}{\partial z} \right)^2. \quad (13)$$

Подставляя уравнения (7) и (11) в (1), считая вязкость газа величиной постоянной, а массовые силы равными  $X=Y=Z=0$ , получаем основное уравнение турбулентной фильтрации сжимаемой жидкости (газа) в деформируемой пористой среде

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu}{\sqrt{k}} \theta \frac{\partial q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\mu}{\sqrt{k}} \theta \frac{\partial q}{\partial y} \right) + \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\mu}{\sqrt{k}} \theta \frac{\partial q}{\partial z} \right) + \left( m \frac{dp}{dq} + \frac{\rho}{\alpha_1} \right) \frac{\partial p}{\partial t} = 0, \end{aligned} \quad (14)$$

где  $\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial p}{\partial q} \cdot \frac{\partial q}{\partial t}$ , процесс политропный  $\rho = \rho(q(t))$ .

Как правило, расходные и геометрические характеристики процесса фильтрации, а также свойства фильтрующей жидкости (газа) являются известными либо легко определяемыми. Основная трудность состоит в вычислении параметров среды, через которую происходит фильтрация, таких как пористость  $m$ , проницаемость  $k$ , модуль  $\alpha_1$ . Учитывая большую сложность в определении значения модуля  $\alpha_1$ , а также низкую вязкость газа, возникает потребность исключить модуль  $\alpha_1$ ; принимая  $\left( \frac{\mu}{\sqrt{k}} \right) = const$ , преобразуем и частично упрощаем уравнение (14), в результате чего получим

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} \cdot \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial \theta}{\partial y} \cdot \frac{\partial q}{\partial y} + \frac{\partial \theta}{\partial z} \cdot \frac{\partial q}{\partial z} + \theta \cdot \nabla^2 q + \frac{m \sqrt{k}}{\mu} \frac{\partial p}{\partial t} = 0. \quad (15)$$

Вводя градиенты

$$\vec{\nabla} \theta = \left( \frac{\partial \theta}{\partial x}; \frac{\partial \theta}{\partial y}; \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \text{ и } \vec{\nabla} q = \left( \frac{\partial q}{\partial x}; \frac{\partial q}{\partial y}; \frac{\partial q}{\partial z} \right),$$

из (15) получим уравнение

$$\vec{\nabla} \theta \cdot \vec{\nabla} q + \theta \cdot \nabla^2 q + \frac{m \sqrt{k}}{\mu} \frac{\partial p}{\partial t} = 0. \quad (16)$$

Подача воздуха для аэрации в толщу геосреды (либо удаление свалочного газа) осуществляется через вертикальные скважины или горизонтальные коллекторы. Потери давления по длине рабочей зоны (через которую осуществляется подача воздуха (газа) сравнительно малы по отношению к поте-

рям в геосреде, и ими можно пренебречь. Таким образом, начальные давления и расход по одной из координат будут неизменными, что позволяет перейти к плоской задаче  $q=q(x,y)$ , а так как газ будет распространяться по окружности, то можно перейти к полярным координатам  $x=r \cdot \cos\phi$ ;  $y=r \cdot \sin\phi$ ;  $r^2=x^2+y^2$ ;  $\phi=\text{arctg}(x/y)$ . Тогда слагаемые уравнения (16) примут вид

$$\bar{\nabla}\theta \cdot \bar{\nabla}q = \frac{\partial\theta}{\partial r} \frac{\partial q}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial\theta}{\partial\phi} \frac{\partial q}{\partial\phi}, \quad (17)$$

$$\nabla^2 q = \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial q}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 q}{\partial\phi^2}. \quad (18)$$

Подставляя (17) и (18) в (16), получим уравнение фильтрации в полярных координатах

$$\frac{\partial\theta}{\partial r} \frac{\partial q}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial\theta}{\partial\phi} \frac{\partial q}{\partial\phi} + \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial q}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 q}{\partial\phi^2} + \frac{m\sqrt{k}}{\mu} \frac{\partial\rho}{\partial t} = 0. \quad (19)$$

Проведенные эксперименты [5, 6] показали, что зависимость (13) можно описать эмпирическим уравнением

$$\Delta_1 q = A \cdot \ln r + B. \quad (20)$$

Принимая в уравнении (12)  $D = \frac{k^{3/2}}{\mu^2}$ , и с учетом (20) получим

$$\frac{\partial\theta}{\partial r} = \frac{D \cdot \frac{\partial}{\partial r}(\sqrt{\Delta_1 q}) - f(D\sqrt{\Delta_1 q}) \frac{\partial}{\partial r}(\sqrt{\Delta_1 q})}{\Delta_1 q} = \frac{A(D - f(D\sqrt{\Delta_1 q}))}{2r(\Delta_1 q)^{3/2}}. \quad (21)$$

Подставляя (21) в (19) и принимая  $\frac{\partial\theta}{\partial\phi} = 0$ , получим

$$\left[ \frac{A(D - f(D\sqrt{\Delta_1 q}))}{2r(\Delta_1 q)^{3/2}} + \frac{f(D\sqrt{\Delta_1 q})}{r\sqrt{\Delta_1 q}} \right] \frac{\partial q}{\partial r} + \frac{\partial^2 q}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 q}{\partial\phi^2} + \frac{m\sqrt{k}}{\mu} \frac{\partial\rho}{\partial t} = 0. \quad (22)$$

**Выводы.** 1. Получено уравнение фильтрации (22) в полярных координатах с учетом экспериментальных данных. Полученное уравнение имеет решение, хотя это и представляет определенную трудность.

2. Для решения уравнения фильтрации (22) необходимо знать значение функции  $f(D\sqrt{\Delta_1 q})$  и явную зависимость для плотности  $\frac{\partial\rho}{\partial t} = \frac{\partial\rho}{\partial q} \cdot \frac{\partial q}{\partial t}$ , что является дальнейшим этапом исследования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альтшуль А.Д., Киселев П.Н. Гидравлика и аэродинамика. М.: Стройиздат, 1975. 248 с.
2. Лейбензон Л.С. Движение природных жидкостей и газов в пористой среде. М: Гостехиздат, 1947. 245 с.
3. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде / пер. с англ. М: Dynamics, 2004. 628 с.
4. Щелкачев В.Н., Ланук Б.Б. Подземная гидравлика. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 736 с.
5. Обработка осадков нефтесодержащих сточных вод / О.В. Тупицына, Д.В. Зеленцов, Б.М. Гришин, С.Ю. Андреев, К.Л. Чертес. Самара: СамГТУ, 2012. 112 с.
6. Zelentsov D.V., Chertes K.L., Tupitsyna O.V. Theoretical basis and experimental study of the aeration characteristics of the composting mixtures during the design and construction of the aeration system of the oily waste biodegradation complex // Procedia Engineering. 2016. Т. 153. С. 903–908.

Об авторах:

#### ЗЕЛЕНЦОВ Данила Владимирович

кандидат технических наук, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

#### ЧЕРТЕС Константин Львович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химической технологии и промышленной экологии Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

#### ZELENTSOV Danila V.

PhD in Engineering Science, Head of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: dzelentsov@mail.ru

#### CHERTES Konstantin L.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Chemical Technology and Industrial Ecology Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: chertes2007@yandex.ru

Для цитирования: Зеленцов Д.В., Чертес К.Л. Теоретические особенности и практическое приложение аэрации многокомпонентных динамических геологических сред // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 26-28. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.6.

For citation: Zelentsov D.V., Chertes K.L. Theoretical Features and Practical Application of Aeration of Multicomponent Dynamic Geological Environments // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 26-28. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.6.

О. Ю. КУРГАНОВА

## ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИСКОМЫХ ФУНКЦИЙ И ЛОКАЛЬНЫХ СИСТЕМ КООРДИНАТ В ЗАДАЧАХ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ADDITIONAL SOUGHT-FOR FUNCTIONS AND LOCAL COORDINATE SYSTEMS APPLIED IN THE HEAT CONDUCTIVITY PROBLEMS FOR MULTILAYERED BUILDING STRUCTURES

*На основе определения дополнительной искомой функции и дополнительных граничных условий при использовании локальных систем координат получено приближенное аналитическое решение задачи теплопроводности для двухслойной пластины при симметричных граничных условиях первого рода. Использование дополнительной искомой функции в интегральном методе теплового баланса позволяет свести решение уравнения в частных производных к интегрированию обыкновенного дифференциального уравнения. Дополнительные граничные условия находятся в таком виде, чтобы их выполнение искомым решением было эквивалентно выполнению дифференциального уравнения в граничных точках.*

**Ключевые слова:** двухслойная пластина, нестационарная теплопроводность, интегральный метод теплового баланса, дополнительная искомая функция, дополнительные граничные условия, локальные системы координат

Трудности получения решений задач теплопроводности для многослойных конструкций заключаются в необходимости выполнения условий сопряжения между слоями, задаваемых в виде равенства температур и тепловых потоков. Классические аналитические методы в данном случае приводят к решению систем многопараметрических трансцендентных уравнений относительно собственных чисел краевой задачи, которая может быть решена лишь численными методами [1 – 5]. В работе [3] на основе использования асимметричной единичной функции (функции Хевисайда) многослойная конструкция приводится к однослойной с разрывными (кусочно-однородными) свойствами среды. Процесс получения решения задачи упрощается ввиду отсутствия необходимости выполнения условий сопряжения, которые в данном случае включаются в дифференциальное уравнение и оказываются выполненными в процессе нахождения его решения. Однако такие решения, даже при незначительном числе приближений (два-три приближения) выражаются сложными функциональными рядами. Получение решений при большем числе приближений затруднительно, и, следовательно, возникает проблема недостаточной точности.

*The solution problems of the additional the sought-for function and additional boundary conditions based when using local coordinate systems, an approximate analytical solution of the heat conduction problem for a double-layer plate is obtained for symmetric boundary conditions of the first kind. The use of the additional sought-for function in the integral method of heat balance makes it possible to reduce the solution of the partial differential equation to the integration of an ordinary differential equation.*

**Keywords:** double-layer plate, unsteady-state conduction, integral method of heat balance, additional sought-for function, additional boundary conditions, local coordinate systems.

В работе [4] применительно к решению задач теплопроводности для многослойных конструкций приводится метод, основанный на совместном использовании классических точных аналитических методов (Фурье, интегральных преобразований и др.) и приближенных методов (Л.В. Канторовича, Бубнова – Галеркина и др.). В случаях, когда удается построить системы координатных функций, точно удовлетворяющих граничным условиям и условиям сопряжения, данный метод приводит к необходимости решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка относительно неизвестных функций времени. При большом числе приближений процесс получения решения в данном случае существенно усложняется, а сами решения выражаются громоздкими математическими выражениям.

В настоящей работе с целью упрощения процесса получения решений и окончательных выражений для них используется интегральный метод теплового баланса с определением дополнительных искомых функций и дополнительных граничных условий. Основную его идею рассмотрим на примере решения следующей краевой задачи для двухслойной пластины, представленной в локальной (различ-

ной для каждого отдельного слоя) системе координат (рис. 1):

$$\frac{\partial \Theta_1(\xi_1, F_0)}{\partial F_0} = \frac{\partial^2 \Theta_1(\xi_1, F_0)}{\partial \xi_1^2}; \quad (F_0 > 0; 0 < \xi_1 < r_1); \quad (1)$$

$$\frac{\partial \Theta_2(\xi_2, F_0)}{\partial F_0} = \frac{a_2}{a_1} \frac{\partial^2 \Theta_2(\xi_2, F_0)}{\partial \xi_2^2}; \quad (F_0 > 0; 0 < \xi_2 < r_2); \quad (2)$$

$$\Theta_1(\xi_1, 0) = 1; \quad (3)$$

$$\Theta_2(\xi_2, 0) = 1; \quad (4)$$

$$\partial \Theta_1(0, F_0) / \partial \xi_1 = 0; \quad (5)$$

$$\Theta_1(r_1, F_0) = \Theta_2(0, F_0); \quad (6)$$

$$\lambda_1 \partial \Theta_1(r_1, F_0) / \partial \xi_1 = \lambda_2 \partial \Theta_2(0, F_0) / \partial \xi_2; \quad (7)$$

$$\Theta_2(r_2, F_0) = 0, \quad (8)$$

где  $\Theta_i = \frac{T_i - T_{cm}}{T_0 - T_{cm}}$ , ( $i = 1, 2$ );  $F_0 = \frac{a_1 t}{\delta^2}$ ;  $\xi_1 = \frac{x_1}{\delta}$ ;  $\xi_2 = \frac{x_2}{\delta}$ ;  $r_1 = \frac{\delta_1}{\delta}$ ;

$r_2 = \frac{\delta_2}{\delta}$ ;  $\Theta$  – безразмерная температура;  $F_0$  – число

Фурье (безразмерное время);  $\xi_1, \xi_2$  – безразмерные координаты первого и второго слоя;  $r_1, r_2$  – безразмерные толщины слоев;  $T_0, x_0$  ( $i = 1, 2$ ) – температура и координата первого и второго слоя;  $t$  – время;  $\delta_1, a_1, \lambda_1$  ( $i = 1, 2$ ) – толщины, коэффициенты теплопроводности и теплопроводности слоев;  $T_0$  – начальная температура;  $T_{cm}$  – температура стенки при  $x_2 = \delta_2$ ;  $\delta = \delta_1 + \delta_2$  – суммарная толщина слоев.

Введем дополнительную искомую функцию

$$q(F_0) = \Theta_1(0, F_0), \quad (9)$$

характеризующую изменение температуры в точке  $\xi_1 = 0$  во времени.

Решение задачи (1) – (8) соответственно для каждого слоя принимается в виде

$$\Theta_1(\xi_1, F_0) = \sum_{k=1}^n b_k(q) \varphi_{1k}(\xi_1); \quad (10)$$

$$\Theta_2(\xi_2, F_0) = \sum_{k=1}^n b_k(q) \varphi_{2k}(\xi_2), \quad (11)$$

где  $b_k(q)$  – неизвестные коэффициенты;  $\varphi_{1k}(\xi_1)$ ,  $\varphi_{2k}(\xi_2)$  – координатные функции соответственно для первого и второго слоя, которые находятся в таком виде, чтобы искомые решения (10) – (11) заранее точно удовлетворяли граничным условиям и условиям сопряжения в любом приближении.

Формулы для координатных функций первого приближения принимаются в виде

$$\varphi_{1k}(\xi_1) = A_{1k} + \xi_1^{2k}; \quad (12)$$

$$\varphi_{2k}(\xi_2) = B_{1k} + B_{2k} \xi_2 + \xi_2^{2k}, \quad (13)$$

где  $A_{1k}, B_{1k}, B_{2k}$  – неизвестные коэффициенты, определяемые из граничных условий (5), (8) и условий сопряжения (6), (7).

Решение (10) с координатной функцией (12) точно удовлетворяет граничному условию (5), независимо от величины коэффициента  $A_{1k}$ . Следовательно,

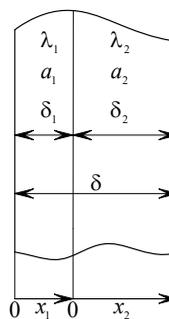


Рис. 1. Схема применения локальных систем координат для двухслойной пластины

для нахождения неизвестных коэффициентов  $A_{1k}, B_{1k}, B_{2k}$  будем иметь условия (6) – (8). Подставляя (12), (13) в эти условия, получаем систему трех алгебраических линейных уравнений. Подставляя найденные из решения этой системы неизвестные коэффициенты  $A_{1k}, B_{1k}, B_{2k}$  в соотношения (12), (13), получаем

$$\varphi_{1k}(\xi_1) = -r_1^{2k} - r_2^{2k} - 2k \frac{\lambda_1}{\lambda_2} r_1^{2k-1} r_2 + \xi_1^{2k}; \quad (14)$$

$$\varphi_{2k}(\xi_2) = -r_2^{2k} - 2k \frac{\lambda_1}{\lambda_2} r_1^{2k-1} (r_2 - \xi_2^{2k}) + \xi_2^{2k}. \quad (15)$$

С учетом формул (14), (15) соотношения (10), (11) в любом приближении точно удовлетворяют граничным условиям (5), (8) и условиям сопряжения (6), (7). Неизвестные коэффициенты  $b_k(q)$  рассчитываются из условия (9) и некоторых дополнительных граничных условий, определяемых таким образом, чтобы искомое решение вида (10) удовлетворяло уравнению (1) в граничной точке  $\xi_1 = 0$ , а решение вида (11) – уравнению (2) в граничной точке  $\xi_2 = r_2$ .

Общие формулы для дополнительных граничных условий имеют вид [3, 5]:

$$\partial^{2i-1} \Theta_1(0, F_0) / \partial \xi_1^{2i-1} = 0, \quad (i = 2, 3, 4, \dots); \quad (16)$$

$$\partial^{2i} \Theta_1(0, F_0) / \partial \xi_1^{2i} = d^i q(F_0) / dF_0^i, \quad (i = 1, 2, 3, \dots); \quad (17)$$

$$\partial^{2i} \Theta_2(r_2, F_0) / \partial \xi_2^{2i} = 0, \quad (i = 2, 3, 4, \dots). \quad (18)$$

Для нахождения решения в первом приближении будем использовать условие (9) и дополнительные граничные условия, определяемые по формулам (17), (18) при  $i = 1$ . Отметим, что дополнительные граничные условия (16) решением (10) выполняются. Подставляя (10), (11), ограничиваясь тремя членами, в (9), (17), (18), для определения неизвестных коэффициентов  $b_k(q)$ , ( $k = 1, 2, 3$ ) получаем систему трех алгебраических линейных уравнений. После определения из решения этой системы коэффициентов  $b_k(q)$  соотношения (10), (11) принимают вид

$$\Theta_1(\xi_1, F_0) = 0,5q' \varphi_{11} - (q' \eta_1 + q \eta_2) \varphi_{12} / \eta + (q' \eta_3 + q \eta_4) \varphi_{13} / \eta; \quad (19)$$

$$\Theta_2(\xi_2, F_0) = 0,5q' \varphi_{21} - (q' \eta_1 + q \eta_2) \varphi_{22} / \eta + (q' \eta_3 + q \eta_4) \varphi_{23} / \eta. \quad (20)$$

Потребуем, чтобы соотношения (19), (20) удовлетворяли не исходным уравнениям (1), (2), а некоторым осредненным по толщине соответствующего слоя уравнениям или интегралу теплового баланса вида

$$\int_0^{\Delta_1} \left( \frac{\partial \Theta_1}{\partial F_0} - \frac{\partial^2 \Theta_1}{\partial \xi_1^2} \right) d\xi_1 + \int_0^{\Delta_2} \left( \frac{\partial \Theta_2}{\partial F_0} - \frac{a_2}{a_1} \frac{\partial^2 \Theta_2}{\partial \xi_2^2} \right) d\xi_2 = 0. \quad (21)$$

Подставляя (19), (20) в (21), находим

$$K \frac{d^2 q}{dF_0^2} + L \frac{dq}{dF_0} + Mq = 0, \quad (22)$$

где  $K = r_1 r_2 \lambda_1 (-420 r_1^6 r_2^3 + 22 r_1^9 - 360 r_1^7 r_2^4 + 490 r_1^5 r_2^5 - 300 r_1^2 r_2^7 + 165 r_2^9 - 672 r_1^4 r_2^5) + r_1^2 r_2^2 \lambda_2 (-98 r_1^3 r_2^4 + 95 r_1^5 r_2^2 + 105 r_1^6 - 40 r_1^7 r_2 - 320 r_1^2 r_2^5 + 112 r_1^4 r_2^3 + 240 r_2^7) + 2 \lambda_2 (16 r_2^{11} + r_1^{11})$ ;  $L = a_1 \lambda_1 r_1^3 r_2^3 (2100 r_2^3 - 1260 r_1^2 (r_2 + 2r_1)) + 1680 a_2 \lambda_1 r_1 r_2 (r_1^4 - 2r_1^2 r_2^2 + r_2^6) + 10 a_1 \lambda_2 (7r_1^9 + 48r_2^9 + 4220 a_1 \lambda_1 r_1^4 r_2^5)$ ;  $M = 840 r_2^2 \lambda_2 (2a_2 r_2^5 + a_1 r_1^3 (5r_2^2 - 3r_1^2))$ .

Интегрируя уравнение (22), получаем

$$q(F_0) = C_1 \exp\left(-\frac{(L^2 - 4KM)^{1/2} + L}{2K} F_0\right) + C_2 \exp\left(\frac{(L^2 - 4KM)^{1/2} - L}{2K} F_0\right), \quad (23)$$

где  $C_1, C_2$  – постоянные интегрирования, определяемые из начальных условий (3), (4).

Составляя невязку начальных условий (3), (4) и требуя выполнения их ортогональности к координатным функциям  $\varphi_{1k}(\xi_1), \varphi_{2k}(\xi_2), (k = 1, 2)$ , находим

$$\left. \begin{aligned} \int_0^{\Delta_1} [\Theta_1(\xi_1, 0) - 1] \varphi_{11}(\xi_1) d\xi_1 + \int_0^{\Delta_2} [\Theta_2(\xi_2, 0) - 1] \varphi_{21}(\xi_2) d\xi_2 &= 0; \\ \int_0^{\Delta_1} [\Theta_1(\xi_1, 0) - 1] \varphi_{12}(\xi_1) d\xi_1 + \int_0^{\Delta_2} [\Theta_2(\xi_2, 0) - 1] \varphi_{22}(\xi_2) d\xi_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Подставляя (19), (20) (с учетом (23)) в (24) и определяя интегралы, относительно  $C_1$  и  $C_2$  будем иметь систему двух алгебраических линейных уравнений.

После их определения решение задачи (1) – (8) в первом приближении рассчитывается из (19), (20).

Найдем решение конкретной задачи при следующих исходных данных:  $a_1 = 12,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $a_2 = 6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\lambda_1 = 45,24 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;  $\lambda_2 = 16,24 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ;  $\delta_1 = 0,002 \text{ м}$ ;  $\delta_2 = 0,004 \text{ м}$ .

Анализ результатов расчетов по формулам (19), (20) (первое приближение) в сравнении с решением задачи (1) – (8) методом конечных разностей позволяет заключить, что в диапазоне  $0,2 \leq F_0 \leq \infty$  их расхождение не превышает 4 %.

Если положить  $\lambda_1 = \lambda_2, a_1 = a_2$ , то задача (1) – (8) сводится к однослойной. Соотношение (12) в данном случае приводится к виду

$$\Theta(\xi, F_0) = 1,5 \exp(-2,5 F_0). \quad (25)$$

Результаты расчетов по формуле (25) в диапазоне  $0,1 \leq F_0 \leq \infty$  отличаются от точного решения [4] не более чем на 2,5 %.

Для повышения точности решения необходимо увеличивать число членов ряда соотношений (10), (11). При получении решения во втором приближении для определения неизвестных коэффициентов  $b_k(q)$  будем использовать условие (9) и дополнительные граничные условия, получаемые по формулам (17) ( $i = 1, 2$ ), (18) при  $i = 2, 4$ . Следовательно, для определения коэффициентов  $b_k(q), (k = 1, 5)$  будем иметь систему пяти алгебраических линейных уравнений. Дальнейший процесс получения решения аналогичен приведенному выше. Расхождение решения во втором приближении с расчетом по методу конечных разностей составит 5 %.

В третьем приближении для определения неизвестных коэффициентов  $b_k(q), (k = 1, 7)$  будем иметь семь алгебраических линейных уравнений, получаемых из условия (9) и дополнительных граничных условий (17) ( $i = 1, 2, 3$ ), (18) при  $i = 2, 4, 6$ . Расхождение с численным методом в диапазоне числа

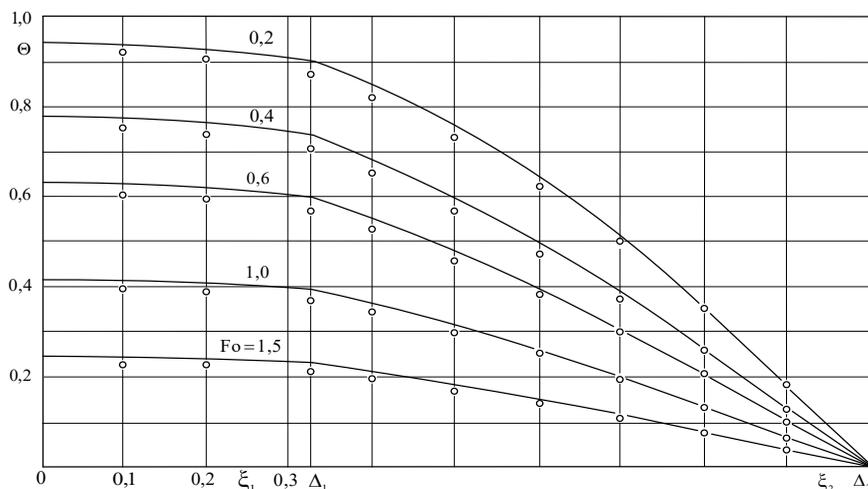


Рис. 2. Распределение температуры в двухслойной пластине: о – по формулам (10), (11) в третьем приближении; — — метод конечных разностей

Фурье  $0,2 \leq F_0 \leq \infty$  в данном случае снижается до 2 % (рис. 2). В случае, когда двухслойная пластина приведена к однослойной, т.е.  $\lambda_1 = \lambda_2$ ,  $a_1 = a_2$ , то в диапазоне  $0,1 \leq F_0 \leq \infty$  максимальное расхождение с точным решением [4] не превышает 1 %.

**Выводы.** 1. Используя найденные в работе системы координатных функций, точно удовлетворяющих граничным условиям и условиям сопряжения, путем введения дополнительной искомой функции и дополнительных граничных условий в интегральном методе теплового баланса получено приближенное аналитическое решение нестационарной задачи теплопроводности для двухслойной пластины при симметричных граничных условиях первого рода.

2. С целью построения наиболее простого вида систем координатных функций, точно удовлетворяющих граничным условиям и условиям сопряжения, применяются локальные (различные для каждого слоя) системы координат. При их использовании координата в каждом слое изменяется от нуля до толщины соответствующего слоя, что позволяет существенно упростить как процесс построения координатных функций, так и окончательные выражения для них.

3. Дополнительная искомая функция характеризует изменение температуры во времени в центре симметрии двухслойной пластины. Ее использование в интегральном методе теплового баланса позволяет свести решение уравнения в частных производных к интегрированию обыкновенного дифференциального уравнения.

4. Дополнительные граничные условия находятся в таком виде, чтобы их выполнение искомыми решениями было эквивалентно выполнению исходных дифференциальных уравнений в граничных точках. Показано, что выполнение уравнений в граничных точках приводит к их выполнению и внутри рассматриваемых областей с точностью, зависящей от числа приближений (числа дополнительных граничных условий).

Об авторе:

#### **КУРГАНОВА Ольга Юрьевна**

аспирант кафедры теоретических основ теплотехники и гидромеханики  
Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: totig@yandex.ru

5. Решение данной задачи может быть использовано для оценки температурного состояния многослойных строительных конструкций в условиях нестационарного нагрева или охлаждения.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кудинов В.А., Стефанюк Е.В. Аналитический метод решения задач теплопроводности на основе введения фронта температурного возмущения и дополнительных граничных условий // Инженерно-физический журнал. 2009. Т.82, №3. С. 540 – 558.
2. Карташов Э.М., Кудинов В.А. Аналитические методы теории теплопроводности и ее приложений. 4-е изд. М.: ЛЕНАНД, 2008. 1072 с.
3. Кудинов В.А., Кудинов И.В. Методы решения параболических и гиперболических уравнений переноса тепла, массы, импульса. М.: ЛЕНАНД, 2017. 336 с.
4. Карташов Э.М., Кудинов В.А., Калашиников В.В. Теория тепломассопереноса: решение задач для многослойных конструкций. М.: Издательство Юрайт, 2018. 435 с.
5. Кудинов И.В., Кудинов В.А. Аналитические решения параболических и гиперболических уравнений тепломассопереноса. М.: ИНФРА-М, 2013. 391 с.

#### **KURGANOVA Ol'ga Yu.**

Postgraduate Student of the Theoretical Foundations of Heat Engineering and Hydromechanics Chair  
Samara State Technical University,  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: totig@yandex.ru

Для цитирования: Курганова О.Ю. Применение дополнительных искомых функций и локальных систем координат в задачах теплопроводности для многослойных строительных конструкций // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 29-32. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.7.

For citation: Kurganova O.Yu. Additional Sought-for Functions and Local Coordinate Systems Applied in the Heat Conductivity Problems for Multilayered Building Structures // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 29-32. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.7.

**В. И. НЕМЧЕНКО**  
**М. В. ПОСАШКОВ**  
**П. А. ГУБИН**

## **МЕТОДИКА МОНИТОРИНГА СЕТЕЙ ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ПО ДАННЫМ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА**

**TECHNIQUE OF MONITORING OF NETWORKS OF HEATING BOILER ROOM ACCORDING TO THE COMMERCIAL ACCOUNT**

*Разработана методика мониторинга производства и потребления тепловой энергии по данным коммерческого и технологического учета на границе тепловых сетей отопительной котельной. Предложенный подход на основе системного анализа позволяет сопоставлять тепловую нагрузку, расход, температуру и давление теплоносителя с их договорными значениями и оценивать качественные показатели теплоснабжения. Рассмотрены результаты мониторинга эксплуатации закрытой системы теплоснабжения от автономной котельной за отопительный сезон 2014-2015 гг.*

**Ключевые слова:** программно-технические средства, мониторинг, тепловая энергия, коммерческого учет, тепловая нагрузка, температурный график, качество тепловой энергии

Практическая реализация государственной программы энергосбережения и повышения энергоэффективности во всех отраслях народного хозяйства предполагает широкое применение приборов коммерческого учета энергоресурсов [1, 2].

Основными задачами внедрения коммерческого учета энергоресурсов являются:

- измерение и регистрация коммерческих параметров для проведения финансовых расчетов с энергоснабжающей организацией;
- измерение и регистрация технологических параметров для контроля качества поставки и потребления тепловой энергии;
- индикация технического состояния системы учета для выявления причин неисправностей и их устранения;
- использование архивированных данных учета для расчета показателей потребления энергоресурсов.

Цель данного исследования – разработка методики мониторинга производства и потребления тепловой энергии по результатам коммерческого учета основных параметров системы отопления от автономной котельной.

Сущность предлагаемой методики мониторинга заключается в следующем.

*Первый этап* – мониторинг тепловой нагрузки. На этом этапе анализируется среднесуточная тепло-

*The technique of monitoring of production and consumption of thermal energy according to commercial and technological account on border of thermal networks of a heating boiler room is developed. The offered approach on the basis of systems analysis allows to compare thermal loading, an expense, temperature and pressure of the heat carrier with their contractual values and to estimate quality indicators of heat supply. As an example results of monitoring of operation of the closed system of heat supply from an independent boiler room for a heating season of 2014-2015 are considered.*

**Keywords:** program technical means, monitoring, thermal energy, commercial account, thermal loading, time-temperature chart, quality of thermal energy

вая нагрузка по результатам коммерческого потребления тепловой энергии и значениям фактической среднесуточной температуры наружного воздуха.

На их основе строится регрессионная модель зависимости тепловой нагрузки от температуры наружного воздуха, по которой вычисляется максимальная фактическая нагрузка потребителя при расчетной температуре наружного воздуха. Полученное значение максимальной тепловой нагрузки сравнивается с договорным значением тепловой нагрузки и делаются выводы об их соответствии.

*Второй этап* – мониторинг расхода сетевой воды. На втором этапе анализируются данные коммерческого среднесуточного учета расхода воды в подающем и обратном трубопроводах на интервале наблюдения. Выявляются участки постоянного расхода, на которых котельной осуществлялся режим качественного регулирования тепловой нагрузки. Затем разность расходов воды в подающем и обратном трубопроводах сравнивается с допустимой величиной измерения расхода и оценивается погрешностью утечек воды из трубопроводов. Если утечки меньше допустимой погрешности измерений, в дальнейшем они считаются нормативными, а если больше – то выясняется причина их появления.

*Третий этап* – мониторинг температуры сетевой воды. На этом этапе исследуются зависимости

фактической температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах от фактической температуры наружного воздуха. Полученные результаты аппроксимируются линейными регрессионными моделями, по которым вычисляются значения максимальной температуры в подающем и обратном трубопроводах при расчетной температуре наружного воздуха. Затем анализируется соблюдение температурного графика качественного регулирования котельной. Для этого значения температур в подающем трубопроводе, вычисленные по температурным моделям при фактической температуре наружного воздуха, сравниваются с договорными (проектными) температурами. На заключительном этапе осуществляется оценка качества теплоснабжения и теплопотребления по показателям качества, рекомендованным методикой осуществления коммерческого учета тепловой энергии [2]: располагаемому напору в сети, давлению в обратном трубопроводе, температуре в подающем трубопроводе, максимальному часовому расходу, температуре в обратном трубопроводе и предлагаются мероприятия по повышению энергетической эффективности котельной.

Рассмотрим для примера методику мониторинга закрытой системы теплоснабжения промышленной котельной ОАО «Международный аэропорт «Курумоч» г. Самары за отопительный сезон 2014-2015 гг.

### **Организация учета тепловой энергии на магистралях**

Отпуск промышленной котельной коммерческого тепла ведется по трем магистралям: №1 «Штаб», №2 «Аэровокзал», №3 «Промзона». Автоматизированные узлы учета тепловой энергии спроектированы в соответствии с методикой осуществления коммерческого учета тепловой энергии [2] для закрытой схемы теплоснабжения на базе теплосчетчика КМ5-6 с двумя электромагнитными преобразователями расхода, двумя преобразователями температуры и двумя преобразователями избыточного давления. Относительно котельной узлы учета расположены радиально на значительном удалении на границах раздела балансовой принадлежности сетей.

Применение теплосчетчиков КМ5-6 обусловлено тем, что приборы предназначены для косвенных измерений и учета тепловой энергии и других параметров теплоснабжения, представляют собой измерительные системы вида ИС-1, с отображением информации на дисплее, имеют выходной электрический сигнал в интерфейсе RS485, а также осуществляют архивирование информации в энергонезависимой памяти.

Узел учета тепловой энергии и теплоносителя относится к одноуровневым информационным системам II категории технической сложности, отлича-

ющихся тем, что в качестве компонентов комплекса программно-технических средств (КПТС) для выполнения функций сбора, переработки, отображения на дисплее и в ведомости учета тепловой энергии за отчетный период (час, сутки, месяц, год) и хранения информации используются программируемые логические контроллеры (PLC), устройства внутрисистемной связи, микропроцессорные интерфейсы оператора (панели отображения) [3, 4]. Метрологические характеристики измерительных каналов КПТС КМ5-6 соответствуют требованиям методики осуществления коммерческого учета тепловой энергии [2] и представлены в табл. 1.

Основными параметрами коммерческого учета тепловой энергии у потребителя, отображаемыми на дисплее оператора и в ведомости учета тепловой энергии за отчетный период (сутки, месяц, год), являются: количество полученной тепловой энергии; масса теплоносителя, прошедшего по подающему трубопроводу; масса теплоносителя, прошедшего по обратному трубопроводу; масса утечек или водоразбора на горячее водоснабжение (ГВС); температура сетевой воды в подающем трубопроводе; температура сетевой воды в обратном трубопроводе; разность температур в подающем и обратном трубопроводах; температура холодной воды; давление в подающем трубопроводе; давление в обратном трубопроводе; время работы; время работы в неисправном состоянии. Перечисленные параметры являются коммерческими и используются для взаиморасчетов между теплоснабжающей организацией и потребителем. В то же время современные КПТС, в том числе и на базе КМ5-6, обладают значительно большим информационным ресурсом (табл. 2).

Так, КПТС КМ5-6 содержит 124 информационных канала, которые позволяют применять его на различных типах объектов: для тепловой магистрали с открытой или закрытой схемой теплоснабжения или ввода закрытой независимой схемы теплоснабжения (см. табл. 2, тип объекта учета 1); для ввода открытой схемы теплоснабжения с тушковой схемой ГВС (см. табл. 2, тип объекта учета 2); для ввода открытой схемы теплоснабжения с циркуляционной схемой ГВС (см. табл. 2, тип объекта учета 3), а также максимальное количество каналов КПТС (см. табл. 2, тип объекта учета 4). Количество информационных каналов КПТС КМ5-6 в зависимости от типа объекта учета показано в табл. 2. Для мониторинга тепловых сетей промышленной котельной используется КПТС КМ5-6, который содержит 86 каналов передачи информации.

### **Мониторинг потребления тепловой энергии закрытой зависимой схемой теплоснабжения**

В соответствии в переработанной для закрытой схемы теплоснабжения методикой использования результатов коммерческого учета тепловой энергии

Таблица 1

## Допускаемая относительная погрешность каналов КППС КМ5-6

Канал	Магистраль №1 «Штаб»	Магистраль №2 «Аэровокзал»	Магистраль №3 «Промзона»	Норматив по [2]
«Тепловая энергия»	±3,96 %	±3,403 %	±3,38 %	±4,0 %
«Расход теплоносителя»	±1,2 %	±1,2 %	±1,2 %	±2,0 %
«Температура теплоносителя»	±0,757	±0,757	±0,757	±0,757
«Давление теплоносителя»	±1,0 %	±1,0 %	±1,0 %	±2,0 %
«Время»	±0,05 %	±0,05 %	±0,05 %	±0,05 %

Таблица 2

## Информационные каналы КППС КМ5-6 в зависимости от типа объекта учета

Основные группы каналов КППС	Тип объекта учета			
	1	2	3	4
Каналы преобразования информации от технологического объекта управления к теплосчетчику КМ5-6, шт.	6	9	12	13
Каналы основного и дополнительного тепловых контуров отображения информации на дисплее прибора, шт.	22	32	39	42
Каналы основного и дополнительного тепловых контуров архивирования в энергонезависимой памяти и передачи выходного электрического сигнала в интерфейсе RS-485 в смежную информационную систему, шт.	29	45	57	69
Всего каналов, шт.	57	86	108	124

при энергетическом обследовании [5–8] существующая база данных коммерческого учета дополнена: проектными значениями параметров теплопотребления объекта; утвержденным температурным графиком зависимости температур прямой и обратной сетевой воды от температуры наружного воздуха 105/70 °С и значениями фактических среднесуточных температур наружного воздуха ( $t_{нв}$ ) по данным метеорологической службы. Это позволило системно анализировать базы данных учета, проектные характеристики и режимные параметры магистралей тепловых сетей как функций температуры наружного воздуха.

Для регулирования тепловой нагрузки на котельной применяется способ качественного регулирования – расход теплоносителя поддерживается постоянным, а температура теплоносителя изменяется по температурному графику в зависимости от температуры наружного воздуха. Обработка в ППП «Microsoft Excel» данных по фактическим среднесуточным тепловым нагрузкам по магистралям при фактических температурах наружного воздуха позволила получить следующие регрессионные модели:

$$\text{– магистраль №1 «Штаб»} \\ Q_1 = -1,137t_{нв} + 48,34, \text{ Гкал/сут;} \quad (1)$$

$$\text{– магистраль №2 «Аэровокзал»} \\ Q_2 = -0,623t_{нв} + 13,21, \text{ Гкал/сут;} \quad (2)$$

$$\text{– магистраль №3 «Промзона»} \\ Q_3 = -0,558t_{нв} + 20,30, \text{ Гкал/сут.} \quad (3)$$

Максимальные фактические тепловые нагрузки, вычисленные по моделям (1) – (3) при  $t_{нв} = -30$  °С, составили:

– магистраль №1 «Штаб»

$$Q_1 = 82,45 \text{ Гкал/сут или } Q_1 = 3,435 \text{ Гкал/ч;}$$

– магистраль №2 «Аэровокзал»

$$Q_2 = 31,9 \text{ Гкал/сут или } Q_2 = 1,391 \text{ Гкал/ч;}$$

– магистраль №3 «Промзона»

$$Q_3 = 37,04 \text{ Гкал/сут или } Q_3 = 1,543 \text{ Гкал/ч.}$$

Зависимость фактической среднесуточной тепловой нагрузки от температуры наружного воздуха магистрали №3 «Промзона» представлена на рис. 1.

Сравнение договорных и фактических тепловых нагрузок показало, что нагрузки на магистрали №1 «Штаб» в 2,1 раза превышают договорные, а нагрузки на магистрали №2 «Аэровокзал» – в 1,33 раза. Тепловая нагрузка на магистрали №3 «Промзона» практически совпадает с договорной. Результаты расчета и анализа тепловых нагрузок представлены в табл. 3. Увеличение фактических тепловых нагрузок должно сопровождаться соответствующим увеличением расхода сетевой воды по магистралям.

Результаты мониторинга фактических среднесуточных расходов сетевой воды по магистралям №1, №2, №3 и суммарный представлены в табл. 3. Фактический среднечасовой расход по магистрали №1 составил 198,95 т/ч и превысил проектное значение в 2 раза; по магистрали №2 – 92,91 т/ч и превысил проектное значение в 2,3 раза, по магистрали №3 – 157,6 т/ч и превысил проектное значение в 3,6 раза.

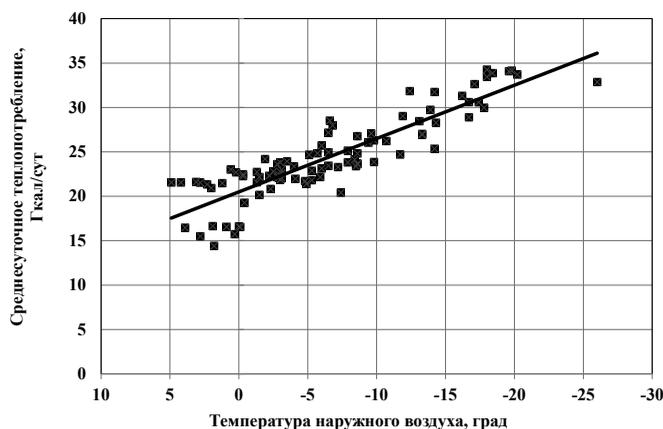


Рис. 1. Зависимость фактической среднесуточной тепловой нагрузки от температуры наружного воздуха магистралей №3 «Промзона»:  
 — — модель фактической среднесуточной тепловой нагрузки;  
 ■ — фактическая тепловая нагрузка по данным учета

Максимальный суммарный расход сетевой воды по всем магистралям составил 628,08 т/ч и значительно превысил проектный – 182,22 т/ч. Сравнение среднесуточных расходов в подающем и обратном трубопроводах показало, что разность расходов не превышает относительной погрешности каналов теплосчетчика «расход теплоносителя» +1,2 %.

Следовательно, расходы по подающему и обратному трубопроводам совпадают с точностью до погрешности измерений и сверхнормативные утечки сетевой воды в магистралях отсутствуют. Фактические и проектные расходы сетевой воды по магистралям и суммарные представлены в табл. 3.

Обработка в ППП «Microsoft Excel» данных по фактическим среднесуточным температурам сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах по магистралям при фактических температурах наружного воздуха позволила получить следующие регрессионные модели:

– магистраль №1 «Штаб»  
 $T_{1_1} = -0,578t_{нв} + 71,73, \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_1} = -0,556t_{нв} + 65,33, \text{ } ^\circ\text{C};$

– магистраль №2 «Аэровокзал»  
 $T_{1_2} = -0,594t_{нв} + 70,84, \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_2} = -0,383t_{нв} + 64,45, \text{ } ^\circ\text{C};$

– магистраль №3 «Промзона»  
 $T_{1_3} = -0,589t_{нв} + 70,73, \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_3} = -0,444t_{нв} + 65,42, \text{ } ^\circ\text{C}.$

Максимальные фактические температуры в подающем и обратном трубопроводах по магистралям при  $t_{нв} = -30 \text{ } ^\circ\text{C}$  составили:

– магистраль №1 «Штаб»  
 $T_{1_1} = 88,55 \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_1} = 82,55, \text{ } ^\circ\text{C};$

– магистраль №2 «Аэровокзал»  
 $T_{1_2} = 88,66 \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_2} = 75,94, \text{ } ^\circ\text{C};$

– магистраль №3 «Промзона»  
 $T_{1_3} = 88,41 \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_3} = 78,74, \text{ } ^\circ\text{C}.$

Максимальные температуры в подающих трубопроводах магистралей совпадают с точностью до погрешности измерения  $\pm 0,757 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Сравнение проектных и фактических максимальных температур в подающем и обратном трубопроводах позволяет оценить соблюдение проектного температурного графика работы котельной 105/70  $^\circ\text{C}$ . Результаты сравнения представлены в табл. 4. Видно, что максимальная фактическая температура в подающем трубопроводе на 17  $^\circ\text{C}$  меньше проектной 105  $^\circ\text{C}$ . Температуры в обратных трубопроводах магистралей превышают на 5 – 12  $^\circ\text{C}$  проектное значение – 70  $^\circ\text{C}$ . Соответственно перепад фактических температур составляет 6 – 12,72  $^\circ\text{C}$  вместо проектных 35  $^\circ\text{C}$ , что свидетельствует о низкой эффективности работы систем теплоснабжения у абонентов и необходимости проведения режимно-наладочных работ.

### Мониторинг качества производства и потребления тепловой энергии

Результаты анализа показателей качества производства тепловой энергии в соответствии с Методикой осуществления коммерческого учета тепловой энергии [2] по данным табл. 3 и 4 следующие:

– располагаемый напор  $\Delta P = P_1 - P_2$  должен соответствовать проектному значению 0,4 МПа. Фактический располагаемый напор меньше проектного на 36–61,2 %;

– давление в обратном трубопроводе  $P_2$  должно соответствовать проектному значению 0,2 МПа. Фактическое давление больше проектного на 38–46 %;

– допускается отклонение температуры воды в подающем трубопроводе  $T_1$  от проектных значений  $\pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Как видно из графика на рис. 2, фактические температуры значительно превышают проектные.

Результаты анализа показателей качества потребления тепловой энергии в соответствии с Методикой осуществления коммерческого учета тепловой энергии [2] по данным табл. 3 и 4 следующее:

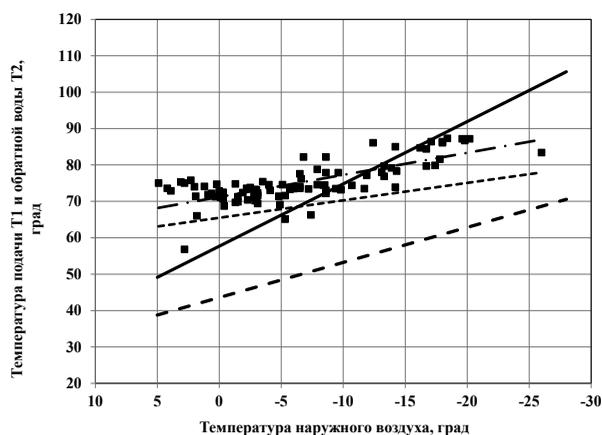


Рис. 2. Зависимость расчетных и фактических температур сетевой воды от температуры наружного воздуха по магистрали №3 «Промзона»:  
 - - - модель фактической температуры в подающем трубопроводе;  
 - - - модель фактической температуры в обратном трубопроводе;  
 — — — проектная температура в подающем трубопроводе;  
 - - - проектная температура в обратном трубопроводе;  
 ■ — фактическая температура в подающем трубопроводе

Таблица 3

Тепловые нагрузки, расходы и давление сетевой воды по магистралям

Параметры	Магистраль №1 «Штаб»	Магистраль №2 «Аэровокзал»	Магистраль №3 «Промзона»	Суммарный
Тепловая нагрузка договорная (-30 °С), Гкал/ч	1,623	1,041	1,554	4,218
Тепловая нагрузка фактическая (-30 °С), Гкал/ч	3,435	1,391	1,5433	6,37
Расход сетевой воды договорной, т/ч	39,9	46,6	85,75	178,62
Расход сетевой воды фактический, т/ч	198,95	92,91	157,6	628,08
Расход сетевой воды проектный при графике 105/70 °С	98,15	37,97	44,1	180,22
Давление договорное $P1/P2_{д}$ , МПа	0,6/0,2	0,6/0,2	0,6/0,2	
Давление $P1/P2$ , МПа	0,49/0,276	0,53/0,276	0,47/0,292	
Фактический напор $\Delta P = P1 - P2$ , МПа	0,213	0,254	0,155	

Таблица 4

Температура сетевой воды магистралей №1, №2, №3

Параметры	Магистраль №1 «Штаб»	Магистраль №2 «Аэровокзал»	Магистраль №3 «Промзона»
Температура сетевой воды в подающем трубопроводе $T1$ , проектная / фактическая	105/88,55	105/88,66	105/88,41
Температура сетевой воды в обратном трубопроводе $T2$ , проектная / фактическая	70/82,55	70/75,94	70/78,74
Разность температур : проектная / фактическая	35/6,0	35/12,72	35/9,67

– максимальные часовые расходы  $G1_{max}$  по магистралям №1, №2 и №3 значительно превышают проектные значения;

– температуры обратной воды  $T2$  значительно превышают проектное значение температуры +3 °С. Факти-

ческий перепад температур по магистралям составляет всего 6,0–12,72 °С при договорном перепаде 35 °С, что свидетельствует о плохой работе отопительных приборов.

По данным мониторинга производства и потребления тепловой энергии работу котельной и тепло-

вых сетей следует оценить как неудовлетворительную. Рекомендовано провести наладку систем теплопотребления и режимную наладку тепловых сетей.

**Выводы.** 1. Разработана методика мониторинга производства и потребления тепловой энергии, основанная на принципах системного анализа результатов теплопотребления по данным коммерческого и технологического учета на границе тепловых сетей отопительной котельной.

2. Анализ зависимости основных технологических параметров: тепловой нагрузки, расходов теплоносителя, температур сетевой воды от температуры наружного воздуха позволил установить их соответствие договорным значениям.

3. По результатам мониторинга проведена оценка качества теплоснабжения и эффективности теплопотребления на примере эксплуатации магистралей тепловой сети автономной отопительной котельной.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон Рос. Федерации от 23.11.2009 №261-ФЗ // Рос. газ. 2009. 27 ноября.

2. Методика осуществления коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя / Зарегистрирована в Минюсте России 12.2009.г. № 3440.

Об авторах:

#### НЕМЧЕНКО Владимир Иванович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления и системного анализа теплоэнергетических и социотехнических комплексов  
Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,  
тел. +79608287629  
E-mail: nemchenko\_vi@mail.ru

#### ПОСАШКОВ Михаил Викторович

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. +79171475171  
E-mail: b111ik@mail.ru

#### ГУБИН Павел Андреевич

магистрант второго года обучения теплоэнергетического факультета  
Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,  
тел. +79171426862  
E-mail: rocfor@ya.ru

3. Немченко В.И., Посашков М.В. Пусконаладочные работы при установке теплосчетчика // Надежность и безопасность в энергетике. 2015. №2(29). С. 70–73.

4. Руководство по эксплуатации РЭ 4218-010-42968951-2010. Теплосчетчик КМ-5 модификации КМ-5-1...КМ-5-7. М.: ТБНЭнергосервис, 2013. 84 с.

5. Немченко В.И. Методика использования результатов коммерческого учета тепловой энергии при энергетическом обследовании // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан // Тр. XIII Междунар. симп. 5-7 декабря 2012 г. Казань: ООО «Скрипта», 2013. С. 207–214.

6. Губин П.А., Немченко В.И. Мониторинг производства и потребления тепловой энергии по данным коммерческого учета // Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых «Интеллектуальные системы, управление и механотроника -2016». Севастополь, 2016. С. 215–220.

7. Немченко В.И., Посашков М.В., Губин П.А. Современные проблемы организации учета тепловой энергии в Самарской области // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей. Самара: СГАСУ, 2017. С. 360–364.

8. Немченко В.И., Посашков М.В., Губин П.А. Проблемы организации коммерческого учета тепловой энергии в Самарской области // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: Седьмая Международная научно-техническая конференция (г. Ульяновск, 21–22 апреля 2017 г.): сборник научных трудов. Т. 1. Ульяновск: УлГТУ, 2017. С. 18–22.

#### NEMCHENKO Vladimir I.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Management and Systems Analysis of Thermal Power and Socio-Technical Complexes Chair  
Samara State Technical University  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
tel. (960) 8287629  
E-mail: nemchenko\_vi@mail.ru

#### POSASHKOV Mikhail V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (917) 1475171  
E-mail: b111ik@mail.ru

#### GUBIN Pavel A.

Masster's Degree Student of the Thermal Power Faculty  
Samara State Technical University  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244,  
tel. (917) 1426862  
E-mail: rocfor@ya.ru

Для цитирования: Немченко В.И., Посашков М.В., Губин П.А. Методика мониторинга сетей отопительной котельной по данным коммерческого учета // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 33-38. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.8.  
For citation: Nemchenko V.I., Posashkov M.V., Gubin P.A. Technique of Monitoring of Networks of Heating Boiler Room According to the Commercial Account // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 33-38. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.8.

С. М. ПУРИНГ  
Д. Н. ВАТУЗОВ

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВИХРЕВЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

### IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE VORTEX DUST COLLECTORS

*Предлагается для очистки вентиляционных выбросов от неслипавшихся пылей использовать модернизированный «мокрый» вихревой пылеуловитель. Разработанная конструкция вихревого пылеуловителя способствует повышению эффективности его работы за счет установки орошающих форсунок в патрубках первичного и вторичного потоков воздуха, выполненных в виде трубы Вентури, что позволяет снизить энергозатраты при очистке запыленного воздуха. Вследствие разнонаправленного движения частиц пыли и разбрызгиваемой воды происходит активная коагуляция пылевых частиц и частиц воды, а также на внутренней поверхности сепарационной камеры образуется жидкая пленка, которая препятствует отскоку пылевых частиц от сепарационной камеры и способствует их улавливанию и смыванию в сборный бункер.*

**Ключевые слова:** вентиляционные выбросы, аппарат очистки воздуха, вихревой пылеуловитель, труба Вентури, орошение запыленных воздушных потоков, эффективность очистки

Работа промышленных предприятий обеспечивается устройством инженерных коммуникаций. Система местной вытяжной вентиляции является одной из важных систем, обеспечивающих чистоту воздуха в помещениях промышленных зданий. Среди множества компонентов, способствующих продуктивной работе систем местной вытяжной вентиляции, следует выделить аппараты очистки воздуха [1].

Одним из наиболее эффективных аппаратов для очистки воздуха от сухой мелкодисперсной пыли, существующих в настоящее время, являются вихревые пылеуловители (ВПУ). Впервые ВПУ были запатентованы в Германии в 50-х гг. прошлого века [2]. Как и в циклонах, принцип работы ВПУ основан на действии центробежных сил. Но если в циклоне загрязненный воздух подается через один вход, то в ВПУ подача воздуха осуществляется через два канала: нижний и верхний. Заходящий через нижний канал загрязненный воздух закручивается и движется вдоль оси сепараторной камеры вверх, где под действием центробежных сил частицы пыли отбрасываются к периферии. Одновременно через верхний канал подается воздух (загрязненный или чистый, в зависимости от конструкции аппарата), который, закручиваясь, двигается вниз вдоль стенок сепаратор-

*It is proposed to use a modernized “wet” vortex dust collector for cleaning ventilation emissions from non-adhering dust. The design of the vortex dust collector contributes to its efficiency by installing irrigation nozzles in the primary and secondary air connections made in the form of a Venturi tube, which allows reducing energy consumption during the cleaning of dusty air. Due to the multidirectional movement of dust particles and splashed water, active coagulation of dust particles and water particles occurs, as well as a liquid film is formed on the inner surface of the separation chamber, which prevents the dust particles from rebounding from the separation chamber and facilitates their collection and washing into a collecting bin.*

**Keywords:** ventilation emissions, air cleaning apparatus, vortex dust collector, Venturi tube, irrigation of dusty air flows, cleaning efficiency

ной камеры, усиливая действие центробежных сил, действующих на частицы пыли, которые, достигая стенки камеры, опадают вниз в приемный бункер. Причем в отличие от циклонов использование ВПУ позволяет добиться эффективной очистки даже для высокодисперсных частиц ( $d_p < 1$  мкм) [3–7].

Основными параметрами, характеризующими эффективность работы пылеуловителей, в том числе и ВПУ, являются эффективность пылеулавливания, гидравлическое сопротивление аппарата, его габариты и стоимость очистки.

Часть из этих параметров определяется внутренними конструктивными особенностями аппарата. К ним можно отнести гидравлическое сопротивление, габариты аппарата и эффективность пылеулавливания.

На стоимость же, помимо внутренних факторов, влияют еще и внешние, связанные со стоимостью материалов и электроэнергии, особенностью технологического процесса и др., прогнозирование которых или затруднительно, или привязано к конкретному производству.

Таким образом, основной задачей при проектировании эффективного ВПУ является оптимизация внутренних факторов [8,9].

Габариты аппарата являются достаточно значимым фактором, определяющим, помимо требуемого для установки аппарата объема, также удобство монтажа и эксплуатации. Необходимый диаметр аппарата  $D_1$  определяется по формуле [10]:

$$D_1 = \sqrt{4V / (\pi u_g)}, \quad (1)$$

где  $V$  – объемный расход запыленного газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $u_g$  – скорость газа в рабочей зоне пылеуловителя,  $\text{м}/\text{с}$  (рекомендуется принимать в пределах 5–12  $\text{м}/\text{с}$ ).

Эффективность очистки является основным критерием, по которому оценивается работа вихревого пылеуловителя. Степень очистки воздуха (эффективность) характеризуется отношением массы уловленной в аппарате пыли к массе поступившей в него пыли. Так как запыленный воздух в пылеуловитель может подаваться двумя потоками – через верхний и нижний подводящие патрубки, то общая эффективность очистки будет определяться в зависимости от распределения потоков по вводам:

$$\eta = (V_1 \eta_1 + V_2 \eta_2) / V, \quad (2)$$

где  $\eta_1, \eta_2$  – эффективность пылеулавливания в первичном и вторичном потоках газа;  $V_1, V_2$  – объемный расход первичного и вторичного потоков газа,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Помимо степени очистки для эффективности аппарата, большое значение имеет минимальный размер частиц, полностью улавливаемых вихревым пылеуловителем [3]:

$$d_{p \min} = \sqrt{(18 \mu_g u_g \ln [D_1 / D_i]) / (H [\rho_p - \rho_g] \omega^2)}, \quad (3)$$

где  $H$  – высота пылеулавливающей камеры,  $\text{м}$ ;  $D_i$  – диаметр патрубка для подвода запыленного газа,  $\text{м}$ ;  $\omega$  – угловая скорость газового потока в аппарате,  $\text{с}^{-1}$ ;  $D_1$  – диаметр аппарата,  $\text{м}$ ;  $\mu_g$  – динамическая вязкость газа,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ ;  $\rho_p$  – плотность частиц,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\rho_g$  – плотность газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Гидравлическое сопротивление аппарата  $\Delta p$ , Па, определяет его энергетическую эффективность. Гидравлическое сопротивление вихревых пылеуловителей рассчитывают по зависимости, аналогичной применяемой для расчета циклонов:

$$P = \xi \mu_g^2 \rho_g / 2, \quad (4)$$

где  $u_g$  – скорость газа в рабочей зоне аппарата,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $\xi$  – коэффициент гидравлического сопротивления, рассчитываемый по скорости.

Оптимизация любого из рассмотренных факторов влечет за собой повышение эффективности работы ВПУ.

Исследования траекторий частиц, их скоростных полей и распределения статических давлений в различных зонах пылеулавливателя выявили наличие турбулентных вихревых образований, способствующих уносу отделенной пыли в приосевую зону очищенного газа, удаляемого из ВПУ. Данное явление оказывает значительное влияние на степень очистки пылеуловителя, снижая ее от «теоретически возможной» до «наблюдаемой практически».

Таким образом, при проектировании подобных устройств одной из основных задач является снижение уноса, для достижения чего применяются различные конструктивные модификации [4, 6, 8].

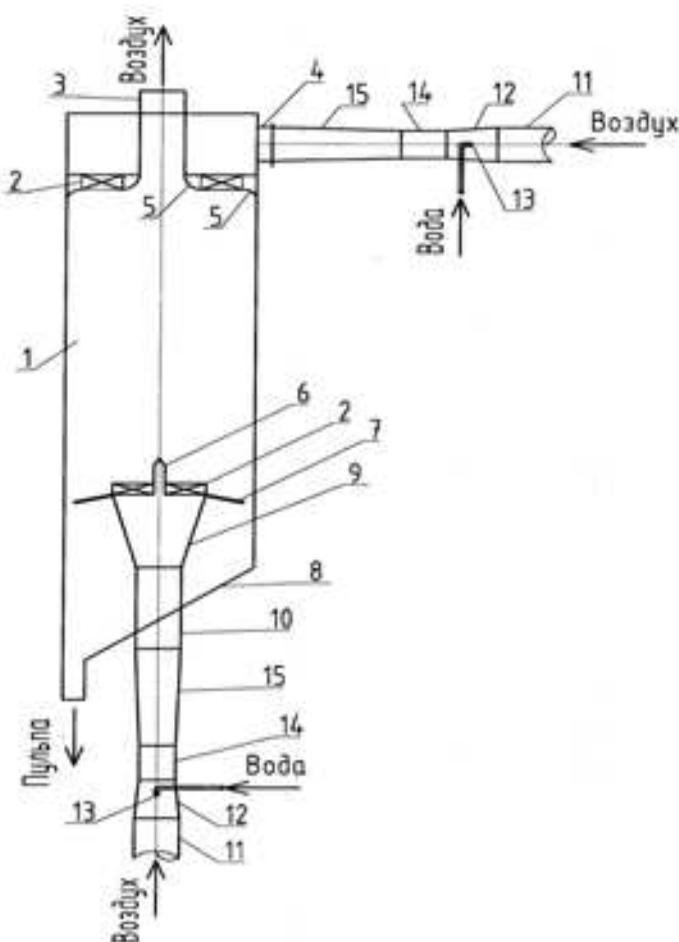
Но зачастую сухая очистка пылегазового потока в вихревых пылеуловителях, несмотря на конструктивные усовершенствования, не всегда позволяет достигнуть требуемой степени очистки, особенно от пыли субмикронных размеров, по ряду известных причин, связанных с уносом этой фракции [8]. Дополнительного эффекта по снижению уноса высокодисперсных частиц пыли можно достичь при мокрой очистке.

Поэтому для повышения эффективности работы пылеулавливающего устройства, улучшения качества очищаемого воздуха и снижения энергозатрат при очистке воздуха предлагается в вихревом пылеуловителе, содержащем цилиндрическую сепарационную камеру с верхним и нижним каналами подачи воздуха, каждый канал дополнительно снабдить форсункой, с возможностью орошения подаваемого воздушного потока в приспособлении в виде трубы Вентури [11].

Предварительная коагуляция мелкодисперсных пылевых частиц производится в орошаемых низкоскоростных трубах Вентури при скоростях потока очищаемого воздуха в горловине трубы Вентури  $V_i$  до 40  $\text{м}/\text{с}$ . Кроме того, коэффициенты местного сопротивления конфузора и диффузора трубы Вентури приняты минимальными. Приспособление в виде трубы Вентури характеризуется следующими параметрами:  $V_n \leq 2V_i$ ;  $l_{dif} \approx 2l_{con}$ ;  $d_n \approx 0,7d_i$  (здесь  $V_i$  и  $V_n$  – скорость воздуха в трубке и в горловине,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $l_{dif}$  – длина диффузора,  $\text{м}$ ;  $l_{con}$  – длина конфузора,  $\text{м}$ ;  $d_n, d_i$  – диаметры горловины и патрубка,  $\text{м}$ ).

Вихревой пылеуловитель (см. рисунок) содержит сепарационную камеру, в верхней части которой расположены осевой патрубок для вывода очищенного газа, патрубок для ввода вторичного воздуха, оснащенный приспособлением в виде трубы Вентури, снабженной форсункой, орошающей вторичный воздушный поток, которые установлены перед горловиной трубы Вентури и навстречу воздушному потоку [11].

В нижней части корпуса находятся патрубок для ввода первичного запыленного воздуха, лопаточный завихритель, цилиндрический обтекатель и бункер с нижнебоковым отводом пульпы. Патрубок для ввода первичного запыленного воздуха оснащен, как и патрубок вторичного запыленного воздуха, приспособлением в виде трубы Вентури с форсункой. Вследствие разнонаправленного движения частиц пыли и разбрызгиваемой воды происходит активная коагуляция пылевых частиц и частиц воды. Вращение двух встречных потоков (первичного и вторичного воздуха) внутри сепарационной камеры имеет одно направление.



Продольное сечение вихревого пылеуловителя:

- 1 – сепарационная камера; 2 – лопаточный завихритель; 3 – выходной патрубок;  
 4 – патрубок ввода вторичного воздуха; 5 – стабилизирующий обтекатель;  
 6 – цилиндрический обтекатель; 7 – отбойная шайба; 8 – бункерное отделение;  
 9 – стабилизирующее устройство; 10 – патрубок ввода первичного воздуха;  
 11 – подводящий воздуховод; 12 – конфузор; 13 – форсунка; 14 – горловина; 15 – диффузор

Укрупнившиеся за счет коагуляции агломераты эффективно сепарируются в сепарационной камере. Так как внутренняя поверхность сепарационной камеры в процессе сепарации покрывается пленкой стекающей воды, то высокодисперсные частицы пыли, движущиеся в ламинарном подслое, у внутренней поверхности сепарационной камеры, не отскакивают, а оседают на ней под воздействием градиентной коагуляции.

Для предотвращения «зарастания» внутренних поверхностей вихревого пылеуловителя и улучшения смыва уловленной пыли расход воды, разбрызгиваемой форсунками в поток первичного запыленного воздуха, принят в два-три раза больше, чем – в поток вторичного воздуха.

Дисперсный состав частиц разбрызгиваемой форсунками воды в поток первичного воздуха составляет 10–70 мкм, что способствует лучшей их сепарации в нижней части сепарационной камеры

и лучшему смыву уловленной пыли. Дисперсный состав частиц разбрызгиваемой форсунками воды в поток вторичного воздуха составляет 2–10 мкм, что обеспечивает лучшую взаимную коагуляцию пылевых и жидких частиц во всем объеме сепарационной камеры.

Таким образом, результатом работы стало создание ВПУ улучшенной конструкции, обеспечивающей более высокую эффективность очистки.

Использование приспособления в виде низкоскоростной трубы Вентури в первичном и вторичном подводящих каналах позволяет снизить энергозатраты при очистке запыленного воздуха.

Данный ВПУ рекомендуется применять при очистке воздуха от неслипающихся или растворимых в воде пылей.

**Выводы.** 1. Предварительное укрупнение пылевых частиц за счет орошения потоков запыленного воздуха повышает их сепарацию.

2. Образующаяся на внутренней поверхности сепарационной камеры жидкая пленка препятствует отскоку пылевых частиц от сепарационной камеры и способствует их улавливанию и смыванию в сборный бункер.

3. Принятый дисперсный состав частиц разбрызгиваемой форсунками воды обеспечивает лучшую взаимную коагуляцию пылевых и жидких частиц и способствует их осаждению.

4. Предложенные конструктивные модификации повышают эффективность работы пылеулавливающего устройства и степень очистки ВПУ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Генералов М. Б. Машины и аппараты химических и нефтехимических производств. М.: Машиностроение, 2004. 832 с.

2. Азаров В.Н. Пылеуловители со встречными закрученными потоками. Волгоград: РПК «Политехник» ВолгГТУ, 2003. 136 с.

3. Василевский М.В. Обеспыливание газов инерционными аппаратами. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. 258 с.

4. Хурин И.А., Тюрин Н.П. Очистка печных газов при плавке алюминиевого лома // Региональная архитектура и строительство. 2011. № 2. С. 149-154.

5. Кузьмин В.В., Комаров М.А. К расчету эффективности вихревых пылеуловителей типа ВЗП // Современные тенденции развития науки и технологий. 2011. V. 8, I. 1. С. 118-120.

6. Азаров Д.В., Боровков Д.П. Об оптимизации параметров закрутки в пылеуловителях ВЗП // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2011. № 3. С. 55-60.

Об авторах:

#### ПУРИНГ Светлана Михайловна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. 8(902)336-40-13  
E-mail: Puring@mail.ru

#### ВАТУЗОВ Денис Николаевич

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. 8(927)658-00-87  
E-mail: Vatuzov74@mail.ru

7. Кнышенко Ю.В., Дешко А.Е. Методика расчетной оценки эффективности вихревого пылеуловителя // Техническая механика. 2008. №1. С. 64-72.

8. Пуринг С.М., Ватузов Д.Н. Способы повышения эффективности вихревых пылеуловителей // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2013. № 1-2. С. 10-12.

9. Puring S.M., Vatuzov D.N., Tyurin N.P. Parameter choice optimization of ventilating air cleaning equipment while designing and constructing industrial buildings // Procedia Engineering. 2016. V. 153. P. 563-568.

10. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И., Решидов И.К. Очистка промышленных газов от пыли. М.: Химия, 1981. 392 с.

11. Вихревой пылеуловитель: пат. 2650999 Рос. Федерация / Тюрин Н.П., Ватузов Д.Н., Пуринг С.М., Тюрин Д.Н.; № 2016117436/16, заявл. 04.05.2016; опубл. 18.04.2018, Бюл. №11.

#### PURING Svetlana M.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. 8(902)336-40-13  
E-mail: Puring@mail.ru

#### VATUZOV Denis N.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. 8(927)658-00-87  
E-mail: Vatuzov74@mail.ru

Для цитирования: Пуринг С.М., Ватузов Д.Н. Повышение эффективности работы вихревых пылеуловителей // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 39-42. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.9.

For citation: Puring S.M., Vatuzov D.N. Improving the Efficiency of the Vortex Dust Collectors // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 39-42. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.9.

# ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



УДК 628.29.31

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.10

**А. А. ВОРОНОВ**  
**Е. С. МАЛЫШКИНА**  
**Е. И. ВЯЛКОВА**  
**С. В. МАКСИМОВА**

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ГОРОДСКИХ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД

DEVELOPMENT OF THE RATIONAL URBAN ENGINEERING SYSTEMS FOR THE SURFACE WASTEWATER TREATMENT

*Приведены результаты исследований и сезонных наблюдений за качеством поверхностных сточных вод, образующихся на территории современного крупного города. Показана зависимость качества поверхностного стока от сезона года, вида городской застройки. Отмечено влияние противогололедных реагентов на качество талых вод. Предложен новый подход к разработке технологической схемы очистки поверхностного стока. На основе полученных данных предложена технологическая схема локальной очистной станции для поверхностных сточных вод, работающей в автоматическом режиме. Данное решение учитывает сезонные изменения качества поверхностных сточных вод на урбанизированных территориях.*

**Ключевые слова:** *поверхностные сточные воды, дождевая канализация, очистка поверхностного стока, локальные очистные сооружения, технологическая блок-схема*

В настоящее время под влиянием активной урбанизации и интенсивного промышленного развития общее количество пригодных для питьевых нужд водных объектов сократилось во всем мире. Особенно отмечается высокая степень деградации водоемов, которые находятся в пределах городской черты. Это происходит по нескольким причинам. Во-первых, укрупнение городов часто связано с ростом промышленности и количеством различных небольших предприятий. Возрастает вероятность сброса в водоем плохо очищенных или неочищенных производственных и бытовых сточных вод. Во-вторых, санитарное состояние прилегающих к водоему территорий не всегда соответствует нормативным требованиям. На это влияют, как правило,

*The results of studies and seasonal observations of the surface wastewater quality that generated in the territory of a modern large city are presented. The dependence of the surface runoff quality on the year season and the kind of urban development is shown. The effect of anti-ice reagents on the meltwater quality is noted. The article suggests a new approach to the making of a technological scheme for surface wastewater treatment. Based on the obtained data, a technological block-scheme of a local Wastewater Treatment Plant (WWTP) intending for surface wastewater treatment and operating in an automatic mode is proposed. The proposed technological solution takes into account seasonal changes in the surface wastewater quality in urbanized areas.*

**Keywords:** *surface wastewater, rainwater sewage system, surface wastewater treatment, local Wastewater Treatment Plants (WWTP), technological block-scheme*

следующие факторы: интенсивность транспортного движения, увеличение площадей мусорных полигонов, частое отсутствие канализации на окраинах больших городов, большие затраты на реконструкцию действующих систем водоотведения. Есть еще одна немаловажная причина: последнее десятилетие выявлено, что одним из главных источников загрязнения городских водоемов являются неочищенные поверхностные стоки, в которые входят дождевые, талые и поливомоечные сточные воды. Данный вид стоков отличается неравномерностью поступления, имеет особенное качество и не всегда подходит для сброса в бытовую канализацию.

Согласно требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 не допускается сброс неочищенных поверхностных вод

на территории населенных пунктов, а также в пределах первого пояса зон санитарной охраны источников хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Однако, выполнить в короткие сроки это требование для городов, в которых система инженерных коммуникаций формировалась несколько десятилетий, а то и сотен лет, не представляется возможным. Наиболее реальными для быстрого строительства «умных» систем являются новые микрорайоны с отдельной инфраструктурой, которая может предусмотреть в своем составе локальную очистку поверхностного стока со сбросом в черте города.

По данным [1] на сегодняшний день очистке подвергается не более 10 % годового объема поверхностного стока, организованно отводимого с территорий населенных пунктов. Наиболее развитой является система отведения и очистки поверхностного стока в Москве, но и там существующие очистные сооружения принимают поверхностный сток только с 35 % канализованной территории города. В Санкт-Петербурге очистке подвергается только 2 % поверхностных сточных вод.

Загрязнение водных объектов поверхностными стоками с урбанизированных территорий приводит к интенсивному ухудшению качества воды, в результате чего в конечном счете происходит удорожание производства питьевой воды, сокращение продуктивности объектов рыбного хозяйства, а также, в ряде случаев, повреждение объектов инфраструктуры городов [2].

В качестве приоритетных показателей загрязнения поверхностных сточных вод определены следующие: взвешенные вещества, органические вещества (ХПК, БПК) и нефтепродукты [3]. Качество поверхностного стока, рекомендованное для принятия решений по составу сооружений очистных станций, приведено в СП 32.13330.2012. В то же время рядом авторов приводятся данные, отличающиеся от рекомендованных значений [2, 4–7].

За последние несколько десятилетий произошли существенные изменения состава поверхностных сточных вод, формирующихся на урбанизированных территориях, что требует разработки новых технологических схем очистки поверхностных стоков [7].

Малоизученная проблема – это применение антигололедных реагентов при зимней эксплуатации дорог. В большинстве городов России в зимний период используются реагенты, оказывающие управляемое воздействие на физико-механические свойства снежно-ледяных образований на объектах дорожного хозяйства и обеспечивающие нормальное функционирование инфраструктуры города. Основой современных противогололедных реагентов являются хлориды кальция, натрия и калия с добавлением модификаторов (формиатов натрия) для уменьшения коррозионности смеси, а также мраморный щебень с размерами частиц 2–5 мм, что приводит к увеличению количества взвешенных

веществ в талой воде. Результаты анализов по загрязнению снега с дорожных покрытий по Москве показали превышение нормативных значений при утилизации по хлоридам в 4–4,4 раза. Авторы исследований обращают внимание также на необходимость нормирования противогололедных реагентов по величине pH [8].

Технологические схемы централизованных и локальных очистных сооружений поверхностного стока являются сочетанием механических и физико-химических методов очистки. В состав станций очистки, как правило, входят резервуары-накопители, сооружения грубой механической очистки (сорудерживающие решетки и песколовки), пруды-отстойники или отстойники, фильтры с зернистыми минеральными, коалесцентными, сорбционными загрузкими. Довольно распространены за рубежом фитосистемы [3, 7, 9].

Пруды-отстойники, конструктивно выполненные из сборных железобетонных элементов, габионов, а также в виде земляных сооружений, требуют значительных площадей в месте выпуска дождевой канализации в водный объект. Более эффективно работают тонкослойные отстойники, которые занимают существенно меньшие площади и дают по данным [1] снижение содержания взвешенных веществ до 10–30 мг/л, нефтепродуктов – до 2–5 мг/л, показателей ХПК и БПК – до 40–80 и 10–15 мг/л соответственно. Но не всегда в отстойных сооружениях реализуется требование нормативных документов предусматривать технические решения по удалению осадков и всплывающих веществ [10].

Фильтрация позволяет удалять из подвергаемых очистке поверхностных сточных вод взвешенные вещества до остаточных концентраций 2–5 мг/л, нефтепродукты – до 1 мг/л. Введение в обрабатываемую воду растворов реагентов существенно повышает эффективность очистки поверхностных сточных вод.

Сорбционные фильтры, используемые в качестве сооружений доочистки, целесообразно применять для очистки поверхностных сточных вод, сбрасываемых в наиболее уязвимые водные объекты. К воде, прошедшей основные стадии очистки и поступающей на сорбционные фильтры, предъявляются довольно высокие требования по содержанию взвешенных веществ (не более 2 мг/л) и нефтепродуктов (до 0,5–1 мг/л). Невозможность регенерации сорбционных материалов в производственных условиях приводит к необходимости частой замены загрузки.

Фитоочистные системы, основанные на природоподобных технологиях, способны обеспечить глубокую очистку сточных вод при минимуме оборудования, не требуя при этом электроэнергии и реагентов [9]. Однако фитоочистные системы требуют значительной площади, теплых климатических условий.

На ультраурбанизированных территориях, которые характеризуются высокой плотностью населения, отсутствием свободного пространства и большим количеством потенциальных загрязнителей поверхностного стока, в последнее время все шире применяют пассивные системы очистки поверхностного стока [2]. Указанные системы представляют собой фильтрующие касеты или патроны с сорбционной загрузкой, устанавливаемые в дождеприемные колодцы на канализационной сети. Отличительной особенностью пассивной системы очистки являются минимальные потребности в обслуживании [2,11]. Однако это не исключает необходимости периодического удаления осадка и замены фильтрующей загрузки с ее последующей утилизацией.

Современные схемы очистки поверхностных сточных вод должны учитывать следующие особенности: неравномерный режим поступления и резкое качественное отличие дождевого и талого стоков. Внедрение автоматизированного контроля за работой очистного комплекса позволит оптимизировать параметры работы станций очистки. В целом, повышение эффективности очистки поверхностного стока улучшит экологическое состояние городских водоемов, а также расширит возможности повторного использования очищенных сточных вод [7].

На территории г. Тюмени действует раздельная система канализации. Причем, в границах многоэтажной застройки систему можно отнести к полной раздельной, в районах малоэтажной застройки – к непол-

ной раздельной. Как видно из схемы расположения коллекторов системы дождевой канализации, в городе предусматривается отведение поверхностных сточных вод не со всей территории (рис. 1). В районах малоэтажной застройки, составляющей 24 % территории города, дождевая сеть отсутствует. На выпусках поверхностного стока в водные объекты в настоящее время очистные сооружения не предусмотрены [12, 13].

Проблемы организации водоотведения дождевых и талых стоков с урбанизированных территорий характерны для всех крупных городов России, где проживает почти 50 % населения страны [14,15].

При обследовании территории Тюмени, проведенном в мае 2015 г., было выявлено, что районы, подверженные подтоплению, как правило, не охвачены системой дождевой канализации. Постоянное подтопление территорий приводит к повышению уровня грунтовых вод и ухудшению прочностных свойств свойств грунтов. В результате происходит разрушение дорожных покрытий, преждевременный износ коммуникаций и зданий [12,13].

Данные Тюменского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиала ФГБУ «Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», осуществляющего наблюдения за содержанием загрязняющих веществ в водных объектах Тюменской области, свидетельствуют об устойчивом загрязнении реки Туры нефтепродуктами, марганцем и соединениями азота [16].



Рис. 1. Схема расположения коллекторов и выпусков дождевой канализации [13]

- Δ – выпуск поверхностных сточных вод
- – коллектор дождевой канализации

Определено, что одним из источников загрязнения данного водного объекта в городской черте являются поверхностные сточные воды. В 2008 г. были проведены исследования качества воды на выпусках поверхностных сточных вод. Пробы были отобраны на 37 выпусках, в том числе 15 – в реку Туру, 22 – в овражно-балочную сеть. Исследования качества воды производились в период таяния снега (апрель, май) и в период дождей (сентябрь, октябрь). В результате исследований качества воды было выявлено значительное превышение предельно допустимой концентрации по содержанию нефтепродуктов, соединений азота и БПК5 на 14 выпусках из 37 обследованных [12].

Одним из предлагаемых решений по организации единой системы дождевой канализации города является строительство 16 локальных станций очистки поверхностного стока, на которых, начиная с 2025 г., 100 % поверхностных сточных вод будут подвергаться очистке до показателей сброса в водоемы рыбохозяйственного значения [13].

При проектировании локальных очистных сооружений рассматриваются две основные проблемы: 1) высокая степень неравномерности поступления стока, связанная с климатическими особенностями региона; 2) резкое отличие качества стоков в зависимости от сезона года.

На рис. 2 показано, что наибольшее количество талой воды поступает в сеть канализации в марте, а дождевой – в июле [17]. Поэтому обязательным элементом сооружений очистки поверхностных сточных вод являются аккумулирующие резервуары, выполняющие функции не только накопления стока, но и его усреднения и частично – осветления.

Степень и характер загрязнения поверхностного стока с селитебных территорий и площадок предприятий различны и зависят от санитарного состояния бассейна водосбора, уровня благоустройства территории, периодичности поливомоечных мероприятий автомагистралей, а также гидрометеорологических параметров атмосферных осадков и применяемых антигололедных реагентов в зимнее время.

Существующие технологические схемы очистки поверхностного городского стока не учитывают в полной мере изменения количества и качества поверхностных сточных вод, связанных с увеличением доли водонепроницаемых покрытий селитебных зон, и появления новых видов техногенных загрязнений в зависимости от сезона года. Отсутствие данных по сезонному изменению специфических показателей качества поверхностных стоков усложняет выбор эффективных методов, оптимальных технологических схем и необходимого оборудования для локальных очистных станций.

На кафедре Тюменского индустриального университета водоснабжения и водоотведения в настоящее время реализуется научный проект «Смарт-инжиниринг», в рамках которого определяются закономерности изменения показателей качества дождевых, талых и поливомоечных сточных вод урбанизированных территорий.

В качестве одного из объектов исследования выбран отдельный район Калининского округа города Тюмени, на территории которого дождевая канализация представлена подземными трубопроводами и лотками (рис. 3). В настоящее время в малоэтажной части района система сбора и отвода поверх-

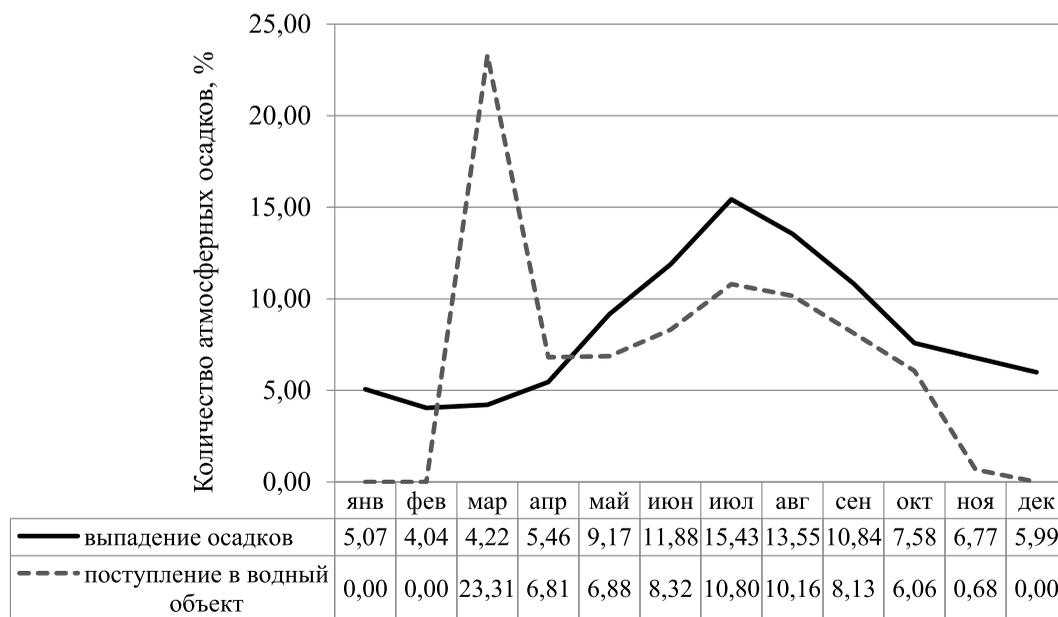


Рис. 2. График неравномерного выпадения осадков в городе Тюмени и поступления дождевых и талых вод в водный объект

ностного стока состоит из железобетонных лотков частично или полностью разрушенных и заросших травой, которые в большей степени играют роль накопителей. Придорожная снежная масса в зимний период активно сорбирует загрязняющие вещества и существенно влияет на качество стока при весеннем снеготаянии. Загрязненный талый сток по ливнеотводным канавам, расположенным вдоль автомобильных дорог без какой-либо очистки, через ливнеперепускные колодцы попадает в водный объект, что приводит к активному загрязнению городского водного ресурса – реки Туры.

Результаты исследований снежного покрова, который формирует грязный талый сток, говорят о том, что отдельные виды загрязнений значительно превышают не только фоновые значения, но и нормы, установленные СП 32.13330.2012. Например, концентрации взвешенных веществ превышают установленные строительными правилами в 2,5–5 раз, ХПК – в 4–32 раза. Кроме того, специфические химические вещества (железо, хлориды и др.), вносимые с антигололедными реагентами, строитель-

ными нормативными документами не регламентируются вообще.

Талый сток с подобным качеством сбрасывать напрямую в водоемы просто недопустимо, так как показатели загрязняющих веществ в отобранных пробах в несколько раз превышают и значения установленного нормативно допустимого сброса (НДС). Например, по взвешенным веществам концентрации превышают НДС в среднем в 1088 раз, ХПК – в 400 раз, по нефтепродуктам – в 34 раза, хлоридам – в 26 раз и железу – в 805 раз.

Качественный состав дождевого стока также формируется в зависимости от интенсивности транспортного потока. Дождевая вода смывает загрязняющие вещества с автодорог, которые, в основном образуются в результате эксплуатации автотранспортных средств. Степень загрязнения поверхностного дождевого стока напрямую зависит от группы дорог и интенсивности транспортного движения. Результаты лабораторных исследований приведены в табл. 1.

а



б



Рис. 3. Современное состояние системы водоотведения поверхностного стока района: а – ул. Самарцева (автодорога группы А); б – ул. Шахтеров (автодорога группы Б)

Таблица 1

Фактические усредненные концентрации дождевого, поливмоечного и талого стоков

Показатели качества поверхностных сточных вод	Концентрации загрязнений в местах отбора проб, мг/л									
	Автодороги группы А			Автодороги группы Б			Газон		Фон	
	Дождевой сток	Талый сток	Полвмоечный сток	Дождевой сток	Талый сток	Полвмоечный сток	Дождевой сток	Талый сток	Дождевой сток	Талый сток
Взвешенные вещества	654	9170	626	502	6140	535	1105	1420	5,1	8,4
Нефтепродукты	5,11	2,56	4,91	3,13	1,51	3,03	1,11	1,07	0,02	0,03
ХПК	618	933	632	585	2100	565	675	270	76	53
Железо общее	12,3	416	13,1	9,3	205	8,1	8,2	83	7,6	7,1
Хлориды	58,2	4540	64,1	41,6	3900	38,7	45,2	343	48	68

Если сравнить полученные значения показателей качества дождевого и поливочного стоков, то они примерно равны и отличаются в пределах погрешностей. С учетом среднестатистической сезонной загруженности автодорог при увеличении интенсивности дождей концентрация загрязнений поверхностного стока несколько снижается, так как загрязнения не успевают накапливаться.

Сравнивая показатели качества дождевого и талого стоков, можно сделать вывод о том, что наиболее грязным является талый сток, образующийся в период зимне-весеннего снеготаяния. Содержание взвешенных веществ в снежном покрове превышает содержание в дождевых и поливочных водах в 12–15 раз, ХПК – в 1,5–4 раза, железа общего – в 23–32 раза, хлоридов – 76–103 раза. Количество нефтепродуктов наоборот падает на 50 %, так как сказывается снижение автотранспортной нагрузки на дороги в зимнее время.

Опираясь на опубликованные данные и результаты настоящих исследований, предложено ввести новую технологическую схему очистки (рис. 4), способную работать в двух режимах в зависимости от

сезонного изменения качества поверхностного стока: 1) для летне-осеннего сезона преимущественно для очистки дождевого стока; 2) для весеннего сезона активного снеготаяния или зимнего сезона при условии работы снегоплавильных установок, когда диктующим по качеству будет талый сток.

В первом случае предлагается грубая механическая очистка, отстаивание с добавлением коагулянта или флотация, механическое фильтрование (одно- или двухступенчатое) и, при необходимости, обеззараживание. Основной задачей очистки воды будет избавиться от взвешенных веществ, ХПК и нефтепродуктов.

Во втором случае значительно повышаются концентрации по взвешенным веществам, ХПК и специфическим загрязнениям, в основном по хлоридам. Здесь технологическая схема должна включать удаление специфических загрязнений (специальные методы: сорбция, реагентные и другие способы).

Автоматизация перспективной локальной очистной установки значительно ускорит время переключения на новый технологический режим. Но в случае нерентабельности возможен вариант с «ручным» пере-

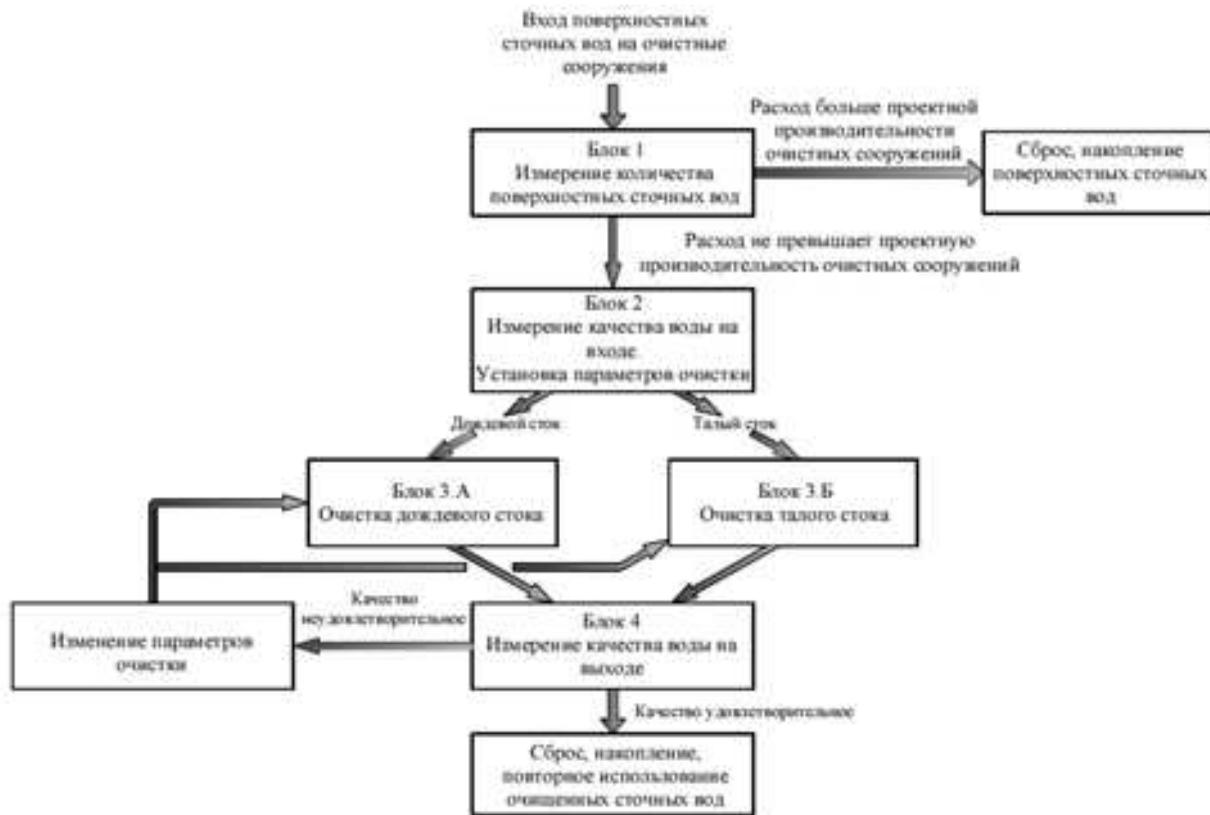


Рис. 4. Блок-схема очистных сооружений поверхностного стока

ключением на необходимую технологическую линию. Также можно рассмотреть станцию, где возможно менять загрузку фильтров (например, кварцевый песок или специальный сорбент) и реагенты, используя одно и то же оборудование. Главная особенность заключается в том, что действующая очистная станция поверхностного стока будет учитывать сезонное изменение качества дождевых и талых вод.

**Выводы.** Установлено, что поверхностный сток является высококонцентрированным по отдельным видам загрязнений. В результате исследований обнаружилось, что талые стоки имеют дополнительные загрязнения по хлоридам, концентрация которых достаточно велика и составляет от 59,1 до 4550 мг/дм<sup>3</sup>. Это вызвано с использованием химических антигололедных реагентов в зимнее время. Поэтому при проектировании локальных очистных станций необходимо учитывать резкое изменение качества поверхностного стока в зависимости от сезона года.

Предложена блок-схема гибкой локальной очистной станции поверхностного стока, работающей в автоматическом режиме. Подобные рациональные технологические схемы способны учитывать сезонное изменение качества поверхностных вод и в зависимости от этого изменять этапы и способы очистки воды.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ИТС 10-2015. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. М.: Бюро НДТ, 2015. 377 с.
2. Ким А. Н., Михайлов А. В. Очистка поверхностного стока с урбанизированных территорий на локальных пассивных системах // Вода и экология: проблемы и решения. 2017. № 4 (72). С. 40–52.
3. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. М.: ВНИИ ВОДГЕО, 2015. 146 с.
4. Vialkova E., Zemlyanova M., Vorotnikova A., Cherkashin D., Voronov A., Maksimov L. The protection of urban areas from surface wastewater pollution. МАТЕС. 2017. Vol. 106.
5. Палагин Е.Д., Гриднева М.А., Быкова П.Г., Набок Т.Ю. Исследование динамики состава поверхностного стока урбанизированных территорий // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 1. С. 51–56.
6. Чечевичкин В. Н., Ватин Н. И. Особенности состава и очистки поверхностного стока крупных городов // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 6. С. 67–74.
7. Варюшина Г.П., Свешникова Н.В. Пути модернизации очистных сооружений поверхностных сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 5. С. 35–39.
8. Примин О.Г., Тен А.Э. Экологическая оценка использования противогололедных реагентов в зимний период в г. Москве // Экология и промышленность России. 2018. № 22(4). С. 11–15.
9. Щукин И.С. Исследование процессов очистки поверхностных сточных вод от нефтепродуктов и тяжелых металлов на фитофильтрах // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. № 2. С. 35–42.
10. Баринов А.М. Оптимизация режимов работы и улучшение условий эксплуатации очистных сооружений поверхностного стока // Водоснабжение и санитарная техника. 2016. № 4. С. 53–59.
11. Ватин Н. И., Панкова Г. А., Леонов Л. В., Пробринский М. Д., Рублевская О. Н., Чечевичкин А. В., Якунин Л. А. Тестовая эксплуатация фильтра ФОПС® с природным цеолитом для очистки загрязненного инфильтратом поверхностного стока // Водоснабжение и санитарная техника. 2017. № 9. С. 39–49.
12. Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры города Тюмени. Приложение к решению Тюменской городской Думы от 25.06.2009 № 332.
13. Постановление Администрации города Тюмени №295-пк от 20.09.2016 «Об утверждении схем водоснабжения и водоотведения муниципального образования городской округ город Тюмень до 2040 года». Приложение к постановлению. 2016. Т. 13.
14. Шувалов М.В., Стрелков А.К. Проектные решения по строительству главного коллектора дождевой канализации и централизованных очистных сооружений поверхностного стока Волжского склона в Самаре // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №4. С. 60–66. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.10.
15. Гвоздовский В.И., Князева М.Н., Сизова А.И. Экологические проблемы крупного города, средства и методы их решения // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №3. С. 63–67. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.11.
16. Состояние водных объектов [Электронный ресурс] // Тюменская область. Официальный портал органов государственной власти. Режим доступа: [https://admtymen.ru/ogv\\_ru/about/ecology/eco\\_monitoring/water.htm](https://admtymen.ru/ogv_ru/about/ecology/eco_monitoring/water.htm) (дата обращения: 06.09.2018).
17. Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс] // ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Режим доступа: [meteo.ru](http://meteo.ru) (дата обращения: 06.09.2018).

Об авторах:

**ВОРОНОВ Андрей Александрович**  
аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения  
Тюменский индустриальный университет  
625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38  
тел. (3452)28-39-23  
E-mail: [teplooo@mail.ru](mailto:teplooo@mail.ru)

**VORONOV Andrey A.**  
Postgraduate Student of the Water Supply and Wastewater  
Chair  
Industrial University of Tyumen  
625000, Russia, Tyumen, Volodarsky str., 38,  
tel. (3452)283923  
E-mail: [teplooo@mail.ru](mailto:teplooo@mail.ru)

**МАЛЫШКИНА Елена Сергеевна**

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения  
Тюменский индустриальный университет  
625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38  
тел. (3452)28-39-23  
E-mail: lena-malysh-90@yandex.ru

**ВЯЛКОВА Елена Игоревна**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
водоснабжения и водоотведения  
Тюменский индустриальный университет  
625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38  
тел. (982)7895364  
E-mail: vyalkova-e@yandex.ru

**МАКСИМОВА Светлана Валентиновна**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
водоснабжения и водоотведения  
Тюменский индустриальный университет  
625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38  
тел. (912)9226582  
E-mail: msv020761@yandex.ru

**MALYSHKINA Elena S.**

Postgraduate Student of the Water Supply and Wastewater  
Chair  
Industrial University of Tyumen  
625000, Russia, Tyumen, Volodarsky str., 38,  
tel. (3452)283923  
E-mail: lena-malysh-90@yandex.ru

**VIALKOVA Elena I.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor  
of the Water Supply and Wastewater Chair  
Industrial University of Tyumen  
625000, Russia, Tyumen, Volodarsky str., 38,  
tel. (982)7895364  
E-mail: vyalkova-e@yandex.ru

**MAKSIMOVA Svetlana V.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor  
of the Water Supply and Wastewater Chair  
Industrial University of Tyumen  
625000, Russia, Tyumen, Volodarsky str., 38,  
tel. (912)9226582  
E-mail: msv020761@yandex.ru

Для цитирования: Воронов А.А., Малышкина Е.С., Вялкова Е.И., Максимова С.В. Совершенствование рациональных городских инженерных систем очистки поверхностных сточных вод // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 43-50. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.10.

For citation: Voronov A.A., Malyshkina E.S., Vyalkova E.I., Maksimova S.V. Development of the Rational Urban Engineering Systems for the Surface Wastewater Treatment // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 43-50. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.10.

Е. А. КРЕСТИН

## К ВОПРОСУ О ТЕЧЕНИИ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В ПЛОСКОМ КОНИЧЕСКОМ ЩЕЛЕВОМ КАНАЛЕ

ON THE PROBLEM OF VISCOUS INCOMPRESSIBLE FLUID FLOW IN A FLAT CONICAL SLOTTED CHANNEL

Анализируется прецизионная пара, работающая в условиях несоосности, т.е. при перекосе подвижных элементов бесконтактных уплотнений. Исследовано течение вязкой несжимаемой жидкости в плоском коническом щелевом зазоре. Так как краевая задача не имеет точного решения, то в работе найдено приближенное аналитическое решение, не зависящее от граничных условий. Уравнения движения жидкости решены в форме Навье-Стокса методом малых возмущений. Определены гидродинамические параметры вязкой жидкости при ее движении через конический щелевой зазор. Построен профиль скорости движения жидкости в виде суммы напорного течения с постоянным перепадом давления и течения, обусловленного осцилляцией стенки канала. Приведены графические иллюстрации при высоко- и низкочастотных пределах колебаний.

**Ключевые слова:** системы гидропривода, зазор бесконтактного уплотнения, бесконтактное уплотнение, плунжерная пара, утечки через зазор

Как известно, плунжеру в обойме обычно ничто не препятствует перемещаться в радиальном направлении. При этом прецизионная пара может работать в условиях несоосности, т.е. при перекосе подвижных элементов. Поэтому с точки зрения эксплуатации и проектирования подвижных соединительных систем гидроприводов актуальной задачей является определение гидродинамических параметров рабочей среды в щелевых зазорах. Найдем общее решение течения вязкой несжимаемой жидкости в плоском коническом щелевом канале [1–7].

Из уравнения неразрывности движения вязкой жидкости имеем

$$\bar{v}_r = \frac{1}{\bar{r}} \bar{u}(\bar{\varphi}, \bar{t}). \quad (1)$$

Для радиальной скорости движения жидкости в зазоре и изменения давления получим следующие уравнения:

$$\frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}} + \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\bar{r}^3 \partial \bar{\varphi}^2}, \quad (2)$$

$$-\frac{1}{r} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{\varphi}} + \frac{2 \partial \bar{u}}{\bar{r}^3 \partial \bar{\varphi}} = 0. \quad (3)$$

A precision pair operating under misalignment conditions, i.e. at a distortion of mobile elements of contactless consolidations is analyzed. The flow of a viscous incompressible fluid in a flat conical slit gap is investigated. Since the boundary-value problem does not have an exact solution, an approximate analytical solution was found in the work that does not depend on boundary conditions. The equations of motion of a fluid are solved in the Navier-Stokes form by the method of small perturbations. The hydrodynamic parameters of a viscous fluid as it moves through a conical slit gap are determined. The profile of the velocity of the fluid in the form of the sum of a pressure flow with a constant pressure drop and flow due to the oscillation of the channel wall is constructed. Graphic illustrations are given with high and low frequency limits of oscillations.

**Keywords:** hydraulic drive systems, non-contact seal clearance, non-contact seal, plunger pair, gap leakage

Заметим, что функции  $(\bar{r})^{-1}$  и  $(\bar{r})^{-3}$  в формулах (2) и (3) являются медленно меняющимися (почти постоянными) функциями радиуса  $\bar{r}$  в интервале  $\bar{r} \in [\bar{R}_2, \bar{R}_1]$ .

Путем рассуждений легко показать, что  $(\bar{r})^{-1}$  и  $(\bar{r})^{-3}$  на интервале  $\bar{r} \in [\bar{R}_2, \bar{R}_1]$  относительно слабо уклоняются соответственно от  $R_*^{-1}$  и  $R_*^{-3}$ . Поэтому вместо функций (2) и (3) приближенно запишем:

$$\frac{1}{R_*} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}} + \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^2 \bar{u}}{R_*^3 \partial \bar{\varphi}^2}, \quad (4)$$

$$-\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{\varphi}} + \frac{2 \partial \bar{u}}{R_*^3 \partial \bar{\varphi}} = 0. \quad (5)$$

Из выражений (4) и (5) видно, что продольный градиент давления пропорционален  $R_*^{-1}$ , а поперечный пропорционален  $R_*^{-2}$ . Поскольку  $R_* = h/\alpha \rightarrow \infty$ , при  $\alpha \rightarrow 0$  можно отбросить уравнение (5), взяв в расчет лишь единственное следствие из него:  $p = p(r)$ , т.е. что давление зависит только от радиуса  $r$  и не зависит от угла  $\varphi$ . Иными словами, поперек зазора давление не меняется, оставаясь постоянным. Если же на концах канала перепад давления является заданной периодической функцией времени, то можно предположить, что

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} = f(t), \quad (6)$$

где  $f(t)$  – заданная периодическая функция времени.

$$\text{Тогда } p = p_0 - \rho f(t). \quad (7)$$

Неоднородное уравнение (4) будем решать относительно  $\bar{u}(\bar{\varphi}, \bar{t})$ :

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} - \frac{\nu}{R_*^2} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{\varphi}^2} = P(\bar{t}), \quad (8)$$

где

$$P(\bar{t}) = R_* f(\bar{t}) = -\frac{R_*}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}, \quad (9)$$

или в безразмерном виде:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} - \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\bar{R}_*^2 \partial \bar{\varphi}^2} = -R_* \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}}, \quad (10)$$

$$\bar{P}(\bar{t}) = \frac{\bar{R}_* \partial \bar{p}}{\partial \bar{r}}. \quad (11)$$

Граничные условия для скорости  $\bar{u}(\bar{\varphi}, \bar{t})$  имеют следующий вид:

$$\bar{\varphi} = 0, \bar{u}(\bar{\varphi}, \bar{t}) = 0; \quad (12)$$

$$\bar{\varphi} = 1, \bar{u}(\bar{\varphi}, \bar{t}) = \bar{R}_* \bar{V}(\bar{t})_c = \bar{V}(\bar{t}). \quad (13)$$

Таким образом, необходимо решить уравнение (10) с граничными условиями (12) и (13).

Решение будем искать в виде

$$\bar{U}(\bar{\varphi}, \bar{t}) = \sum_k \bar{v}_k(\bar{\varphi}) e^{-ik\bar{t}}, \quad (14)$$

где  $\tau = \bar{\omega} \bar{t}$  – безразмерное время.

В силу вещественности  $\bar{u}(\bar{\varphi}, \bar{t})$ :  $\bar{u}_k = \bar{u}_{-k}$ .

Тогда разложим в ряд Фурье функции  $\bar{P}(\bar{t})$  и  $\bar{V}(\bar{t})$ :

$$\bar{P}(\bar{t}) = \sum_k \bar{f}_k e^{-i\bar{t}\tau_k}, \bar{f}_k = \bar{f}_{-k}, \quad (15)$$

$$\bar{V}(\bar{t}) = \sum_l \bar{v}_l e^{-i\bar{t}\tau_l}, \bar{v}_l, \bar{v}_l = \bar{v}_{-l}. \quad (16)$$

Подставив (14)–(16) в краевую задачу (10), (12) и (13), в результате найдем

$$\sum_k \left( -ik \bar{v}_k \bar{\omega} - \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^2 \bar{u}}{\bar{R}_*^2 \partial \bar{\varphi}^2} \right) e^{-ik\bar{t}} = \sum_k \bar{f}_k e^{-ik\tau_k}, \quad (17)$$

$$\bar{u}_k(0) = 0, \quad (18)$$

$$\sum_k \bar{v}_k(1) e^{-ik\tau} = \sum_l \bar{v}_l e^{-i\bar{t}\tau_l}. \quad (19)$$

Далее необходимо определить частоту колебаний  $\omega$ . Пусть две различные заданные частоты  $\omega_1$  и  $\omega_2$  относятся друг к другу как некоторые рациональные числа  $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n}{m}$  или  $m\omega_1 = n\omega_2$ .

Уравнениям (17) – (19) можно удовлетворить, если положить

$$\omega = m\omega_1 = n\omega_2. \quad (20)$$

Тогда

$$\omega_1 = \frac{\omega}{m}, \omega_2 = \frac{\omega}{n}. \quad (21)$$

В этом случае уравнения (17) – (19) примут вид:

$$\sum_k \left( -ik \bar{v}_k(\bar{\varphi}) \bar{\omega} - \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^2 \bar{v}}{\bar{R}_*^2 \partial \bar{\alpha}^2} \right) e^{-ik\tau} = \sum_k \bar{f}_k e^{-i\frac{k}{n}\tau}, \quad (22)$$

$$\bar{u}_k(0) = 0, \quad (23)$$

$$\sum_k \bar{v}_k(1) e^{-ik\tau} = \sum_l \bar{v}_l e^{-i\frac{l}{m}\tau}. \quad (24)$$

Поскольку  $\bar{P}(\bar{t})$  и  $\bar{V}(\bar{t})$  – периодические функции времени  $\bar{t}$ , то суммирование по  $k'$  в (22) должно происходить по номерам, кратным  $n$ , а суммирование по  $l$  в (24) – по номерам, кратным  $m$ :

$$\kappa = \kappa' \cdot n, l = \kappa \cdot m. \quad (25)$$

Тогда из (22) и (24) найдем

$$-\sum_k ik \bar{u}_k \bar{\omega} - \frac{1}{\alpha^2} \frac{\partial^2 \bar{u}_k}{\bar{R}_*^2 \partial \bar{\varphi}^2} = \bar{f}_{\kappa n}, \quad (26)$$

$$\bar{u}_k(0) = 0, \bar{u}_k(1) = \bar{v}_{\kappa m}. \quad (27)$$

Теперь от угла  $\varphi$  необходимо перейти к поперечной координате  $S = R_* \varphi$ . Учитывая, что  $\alpha R_* = h$ , то уравнения (26), (27) принимают вид:

$$\frac{\partial^2 \bar{u}_k}{dS^2} + ik \bar{u}_k \bar{\omega} = -\bar{f}_{\kappa n}, \quad (28)$$

$$\bar{u}_k(0) = 0, \bar{u}_k(1) = \bar{v}_{\kappa m}. \quad (29)$$

Решение краевой задачи (28), (29) следует построить в виде суммы общего решения однородного уравнения и частного решения неоднородного:

при  $\kappa \neq 0$

$$\bar{u}(\bar{s})_\kappa = \frac{i\bar{f}_{\kappa n}}{k\bar{\omega}} (1 - \cos \bar{s} \sqrt{ik\bar{\omega}}) + \left[ \bar{v}_{\kappa m} + \frac{\bar{f}_{\kappa n}}{ik\bar{\omega}} (1 - \cos \sqrt{ik\bar{\omega}}) \right] \frac{\sin \bar{s} \sqrt{ik\bar{\omega}}}{\sin \sqrt{ik\bar{\omega}}}, \quad (30)$$

при  $\kappa = 0$

$$\bar{u}_0(\bar{s}) = \left( \bar{v}_0 + \frac{\bar{f}_0}{2} \right) \bar{s} - \frac{\bar{f}_0 \bar{s}^2}{2}. \quad (31)$$

Так как осциллирующая в своей плоскости наклонная верхняя стенка не имеет средней постоянной составляющей скорости, то следует считать, что  $v_0 = 0$ . В этом случае решение при  $\kappa = 0$  упрощается до выражения

$$\bar{u}_0(\bar{s}) = \frac{\bar{f}_0}{2} (\bar{s} - \bar{s}^2). \quad (32)$$

Окончательно получим следующее приближенное решение гидродинамической задачи:

$$\bar{v}_r = \frac{\bar{f}_0}{\bar{r}^2} (\bar{\varphi} - \bar{\varphi}^2) + \frac{1}{\bar{r}} \sum_{\kappa \neq 0} \bar{u}_\kappa(\bar{\varphi}) e^{-ik\tau}, \quad (33)$$

$$\bar{u}_\kappa = \frac{i\bar{f}_{\kappa n}}{k\bar{\omega}} (1 - \cos \bar{\varphi} \sqrt{ik\bar{\omega}}) + \left[ \bar{v}_{\kappa m} - \frac{i\bar{f}_{\kappa n}}{k\bar{\omega}} (1 - \cos \sqrt{ik\bar{\omega}}) \right] \frac{\sin \bar{\varphi} \sqrt{ik\bar{\omega}}}{\sin \sqrt{ik\bar{\omega}}}, \quad (34)$$

$$\bar{v}_\varphi = 0. \quad (35)$$

При этом изменение давления в зазоре подчиняется следующему периодическому закону:

$$\bar{p} = \bar{p}_0 + \bar{r}\bar{\alpha} \sum_K \bar{f}_{\kappa n} e^{-ik\tau}. \quad (36)$$

Следует отметить, что первое слагаемое в уравнении (33) описывает стационарное напорное течение в канале с углом конусности  $\alpha$ .

На рис. 1 и 2 приведены графики распределения местных скоростей рабочей жидкости в щелевых зазорах при гармонических осцилляциях стенки и пульсациях давления при различной безразмерной частоте  $\bar{\omega} = 24100$  в случае  $\bar{\alpha} = 0$ . Эти графики построены на основании формул (33) – (35).

Как видно из рис. 1 и 2, увеличение безразмерной частоты колебаний приводит к значительному отличию характера течения от квазистационарного. Так как в различных фазах колебаний действие сил давления и трения на различных расстояниях от стенки проявляется в разной степени, то и направленные действия сил давления и трения также изменяется по высоте канала. Как следствие всего этого, и рас-

пределение скоростей по высоте канала носит достаточно сложный характер. Для нахождения причин, влияющих на распределение скоростей в каждый момент времени на динамику рабочей среды, должен проводиться анализ и сравнение всех факторов, влияющих на движение жидкости в щелевом канале при различной частоте колебания [8–14].

**Выводы.** Рассмотрено течение вязкой несжимаемой жидкости в плоском коническом щелевом зазоре. Для определения гидродинамических параметров при движении рабочей жидкости через конический щелевой зазор уравнения гидродинамики решены в форме Навье-Стокса методом малых возмущений. Общее решение получено в виде суммы

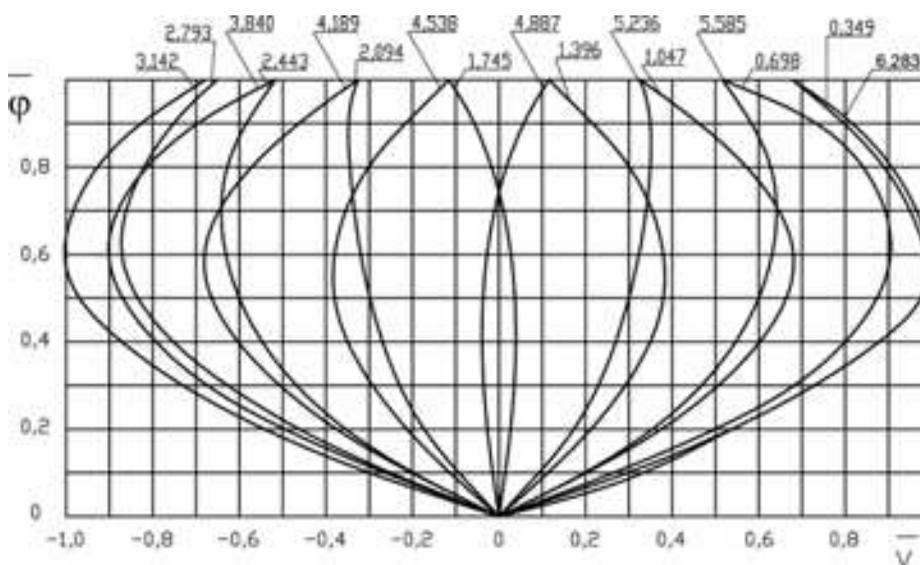


Рис. 1. Распределение местных скоростей в зазоре от совместного колебания стенки и давления при безразмерной частоте  $\bar{\omega} = 2$

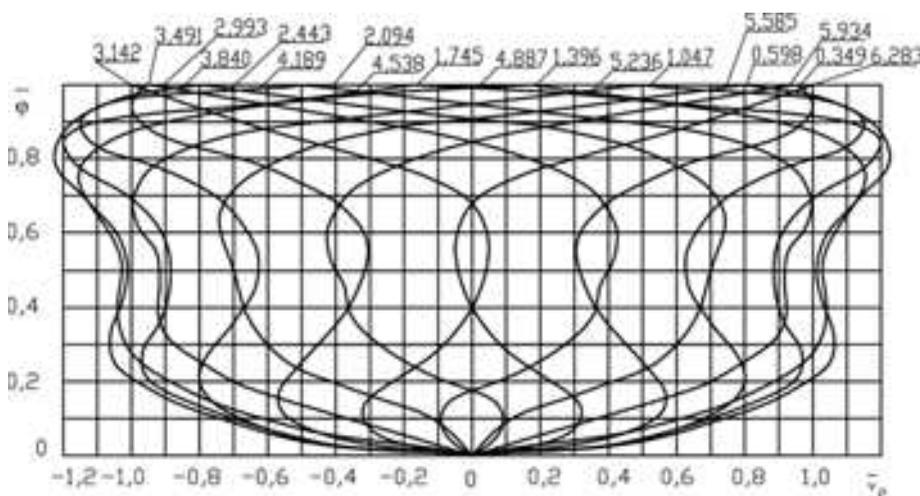


Рис. 2. Распределение местных скоростей в зазоре от совместного колебания стенки и давления при безразмерной частоте  $\bar{\omega} = 100$

частных решений, причем первое слагаемое описывает стационарное напорное течение в конусном канале, а второе слагаемое вносит аддитивный вклад от пульсаций давления и осцилляций стенки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крестин Е.А. Определение утечек жидкости через зазор бесконтактного уплотнения поршня гидравлического вибратора // Научное обозрение. 2014. №5. С. 108–110.
2. Крестин Е.А. Релаксационное течение в щелевом зазоре при ступенчатом изменении давления // Научное обозрение. 2015 №3. С. 116–121.
3. Крестин Е.А. Исследование гидродинамических параметров в зазоре при импульсном изменении давления // Научное обозрение. 2015. №4. С. 134–140.
4. Крестин Е.А. Нестационарные гидродинамические процессы в щелевых зазорах бесконтактных уплотнений при ступенчатом изменении давления // Градостроительство и архитектура: 2015. №1. С. 100–106.
5. Лозовецкий В.В. Гидро- и пневмосистемы транспортно-технологических машин. СПб., 2012. 555 с.
6. Крестин Е.А. Расчет бесконтактного уплотнения при ступенчатом изменении давления // Тезисы докл. X международной научно-практической конференции «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия». Новосибирск, 2015. С. 84–87.
7. Крестин Е.А. Расчет пульсирующих течений в щелевых зазорах переменной высоты // Научное обозрение. 2015 №14. С. 122–126.
8. Вибрации в технике: справочник. Т. 4. Вибрационные процессы и машины / под ред. Э.Э. Левендела. М.: Машиностроение, 1981. 509 с.
9. Гидравлика и гидропневмопривод. Ч 2: Гидравлические машины и гидропневмопривод / под ред. А.А. Шейпака. 4-е изд., доп. и перераб. М.: МГИУ, 2009. 352 с.
10. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гос. издат. техн.-теорет. лит., 1955. 520 с.
11. Крестин Е.А. Определение гидродинамических характеристик вязкой жидкости в канале переменной высоты // XII международная научно-практическая конференция // Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия. Новосибирск, 2015. №5. С. 69–74.
12. Численное исследование устойчивости течения Тейлора между двумя цилиндрами в двумерном случае // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2009. № 4. С. 754–768.
13. Гойдо М. Е. Проектирование объемных гидроприводов: справочное пособие. М.: Машиностроение, 2009. 304 с.
14. Жирных Б. Уплотнительные устройства в машиностроении. М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2017. 24 с.

Об авторе:

#### КРЕСТИН Евгений Александрович

кандидат технических наук, профессор кафедры общей и прикладной физики и химии  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: krestin@bk.ru

#### KRESTIN Evgeny A.

PhD in Engineering Science, Professor of the General and Applied Physics and Chemistry Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: krestin@bk.ru

Для цитирования: Крестин Е.А. К вопросу о течении вязкой несжимаемой жидкости в плоском коническом щелевом канале // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 51-54. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.11.  
For citation: Krestin E.A. On the Problem of Viscous Incompressible Fluid Flow in a Flat Conical Slotted Channel // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, №3. Pp. 51-54. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.11.

Н. С. СЕРПОКРЫЛОВ  
Е. В. ВИЛЬСОН  
Л. А. ДОЛЖЕНКО  
М. А. САИИД

## ОСОБЕННОСТИ ПУСКА СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В РЕЖИМАХ НИТРИФИКАЦИИ И ДЕНИТРИФИКАЦИИ

FEATURES OF THE START OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT FACILITIES  
IN THE MODES OF NITRIFICATION AND DENITRIFICATION

*Рассмотрены основные способы интенсификации биологической очистки сточных вод путем воздействия химических, физических и биологических факторов. Обоснована целесообразность применения биотехнологических методов при пусконаладочных работах на сооружениях биологической очистки в режимах нитрификации и денитрификации, основанных на использовании биолого-ферментных препаратов, магнитной обработки и освещения. Приведены результаты исследований для городских сточных вод на модельной установке биореакторов в режиме нитрификации и денитрификации.*

**Ключевые слова:** сточные воды, биологическая очистка, нитрификация, денитрификация, биопрепараты, свет-излучающий диод, магнитная обработка

Сооружения биологической очистки сточных вод являются основным узлом для большинства очистных сооружений централизованной системы водоотведения городов и поселений. Традиционные аэротенки должны обеспечивать снижение загрязнений по органическим веществам. В настоящее время к очистным сооружениям предъявляются требования по удалению не только органических веществ, но и биогенных соединений. При биологическом удалении биогенных веществ удельная скорость нитрификации и денитрификации значительно ниже удельной скорости окисления органических веществ [1].

Пусковые работы на сооружениях биологической очистки сточных вод являются основой эффективной работы в стационарном режиме, так как именно в этот период происходит формирование активного ила, определяются оптимальные технологические режимы очистки сточных вод. При запуске новых систем очистки часто используют активный ил, привезенный с других действующих очистных сооружений [2]. Успешный ввод в строй таких сооружений требует формирования специфического микробного сообщества в короткие сроки [3]. Естественно выращенные биоценозы активного ила, используемые в биологических очистных сооружениях, обладают наилучшей сопротивляемостью нагрузкам

*The main methods of intensification of biological wastewater treatment by chemical, physical and biological factors are considered. The expediency of using biotechnological methods during commissioning works on biological treatment facilities in the modes of nitrification and denitrification, based on the use of biologic-enzyme preparations, magnetic treatment and lighting, is substantiated. The results of research for urban wastewater on the model installation of bioreactors in the mode of nitrification and denitrification are given.*

**Keywords:** wastewater, biological treatment, nitrification, denitrification, biological products, light-emitting diode, magnetic treatment

и высокой скоростью окисления [4]. Для адаптации активного ила необходимо время, равное не менее трем его возрастам, для успешной нитрификации необходимо поддерживать возраст ила 15–20 суток, это значит, что он может сформироваться не менее чем через полтора месяца [5]. Время формирования адаптированного биоценоза и расчетной дозы активного ила может составить несколько месяцев до выхода на расчетные технологические показатели. Данная проблема связана со многими факторами: качественными и количественными характеристиками поступающих сточных вод, конструктивными особенностями сооружений. Для повышения концентрации активного ила в действующих сооружениях можно использовать контактные носители биомассы [6]. Ускорение процесса формирования биомассы активного ила как по качественным, так и по количественным показателям осуществляют внешним воздействием физических, химических и биологических факторов [7, 8].

Известно, что интенсификация биологических процессов очистки сточных вод возможна при воздействии на микроорганизмы ультразвука и электромагнитных полей [9]. Умеренное воздействие электрического поля стимулирует рост и жизнедеятельность микроорганизмов, осуществляющих

биологическую очистку сточных вод, увеличивая окислительную способность органических веществ, находящихся в воде. Ультразвук небольшой интенсивности (3 Вт/см<sup>2</sup>) и частоты ультразвуковых волн (22 – 44 кГц) вызывают в контактных условиях степень увеличения дегидрогеназной активности ила до 70 – 100 %, удельной скорости потребления кислорода – 25 – 50 %, ускорения процесса биологического окисления субстрата – 50 – 80 % [10].

Одним из способов повысить эффективность биологической очистки сточных вод является подача озono-воздушной смеси в аэротенк. Например, при концентрации озона 1 мг/л увеличивается степень очистки по БПК с 70 до 95 %. При подаче озono-воздушной смеси в импульсном режиме (10–15 мин/ч) остаточная ХПК в 1,3 раза меньше, чем при обычной (воздушной), при одинаковом времени аэрации [11].

Добавление в иловую смесь небольших доз 3 % пероксида водорода с концентрацией на уровне 2·10<sup>-4</sup> моль/л существенно изменяет физиологическое состояние активного ила в течение двух суток и способствует улучшению окислительной обстановки в системе, при которой микроорганизмы лучше усваивают кислород [12].

Для повышения аэробности системы и увеличения концентрации кислорода, особенно в темное время суток, целесообразно применять освещение светодиодами, закрепленными в аэрируемой зоне биореактора [13]. Красные и синие спектры света интенсифицируют активность активного ила и улучшают эффективность биологической очистки сточных вод.

Ускорение выхода на расчетные режимы происходит при добавлении в иловую смесь биологически активного вещества (БАВ) – мелафен, который представляет собой меламинамовую соль бис(оксиметил) фосфиновой кислоты и обладает высокой эффективностью и широким спектром действия при чрезвычайно низких концентрациях. При введении мелафена в концентрациях от 10–4 до 10–8 мг/дм<sup>3</sup> в иловую смесь аэротенков, практически в течение суток установлена более высокая способность активного ила к оседанию и предупреждению явления его «вспухания» [14].

В настоящее время разработано большое количество биопрепаратов, ускоряющих процесс биологической очистки сточных вод [15, 16]. Это консорциумы микроорганизмов, выделенные методом накопительных культур обычно из активного ила аэротенков городских сооружений очистки сточных вод. Они используются для очистки сточных вод местного значения, например, в селах, дачных и коттеджных поселках, небольших поселках городского типа, мини-заводах и т. п. Биопрепараты, содержащие ограниченное число видов микроорганизмов, по спектру разлагаемых веществ уступают свежему активному илу. Однако они содержат быстро растущие штаммы, которые инициируют процессы раз-

ложения органических загрязнений. В нестерильном процессе развиваются также микроорганизмы, содержащиеся в отходах, и в микробное сообщество включаются недостающие звенья.

Действие микроорганизмов биопрепаратов заключается в том, что в процессе своей жизнедеятельности они вырабатывают ферменты, которые способны расщеплять жиры, белки и другие сложные вещества органического происхождения на более простые органические вещества, которые легко разлагаются ими до углекислоты и простых соединений азота [17]. После добавления препарата возрастает концентрация микроорганизмов, а следовательно, и степень очистки. Клетки микроорганизмов иногда иммобилизуют на твердом дисперсном носителе, который может служить дополнительным источником азота и фосфора. Препараты содержат ассоциации 6–12 штаммов аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, обеспечивающих комплексную очистку сточной воды от органических загрязнителей: жиров, белков, сложных углеводов и даже (специализированные) от нефтепродуктов. В качестве питательных элементов биопрепараты содержат соли азота и фосфора, которые стимулируют рост микроорганизмов и выработку микроорганизмами липолитических, амилолитических, карбогидразных и других ферментов, максимально облегчающих разложение органики. Аналогичные биоактиваторы, но с несколько другим составом, применяются также при производстве компоста, в биотуалетах и т. п.

В настоящее время препараты применяются для анаэробных, аноксидных и аэробных условий очистки сточных вод, для обработки осадка. Для разрушения различных сложных биологических материалов бактерии, как установлено в результате исследований, вырабатывают ферменты-энзимы, разлагающие крупные молекулы на простые. Технологии с ферментами эффективны для наращивания биомассы, деструкции определенных типов загрязнений. Особенно они эффективны при первоначальном пуске биологических очистных сооружений в условиях, когда нет возможности иметь посевного активного ила из работающих сооружений (большие расстояния, или вообще их отсутствие). В случае применения биопрепаратов выход на рабочий режим сооружений биологической очистки существенно сокращается.

Выбор биопрепарата осуществляется в зависимости от состава сточных вод и выбранного режима работы очистных сооружений. Например, с целью интенсификации развития денитрифицирующих бактерий (уменьшения времени «выращивания» и развития бактериальной среды) был применен препарат Микропан R.N. производства компании Eurovix. Установлено, что применение биоактиватора позволяет ускорить процесс денитрификации. Время, необходимое для развития денитрифициру-

ющих бактерий и полного снижения концентрации нитрат-ионов с 13–15 до 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, сократилось в 1,5 раза и составило 5 суток [15].

Такой большой выбор способов интенсификации биологической очистки ограничивается при пусконаладочных работах универсальностью и эффективностью применения при малых капитальных вложениях. Поиск и анализ вариантов выхода на рабочий режим систем биологической очистки сточных вод в кратчайшие сроки, особенно при реализации процессов нитрификации и денитрификации, является актуальной проблемой и требует более глубокого и детального изучения.

Целью нашей работы являлось исследование возможности ускорения процесса формирования адаптированных илов для биологической очистки сточных вод в режимах нитрификации и денитрификации с помощью биолого-ферментных препаратов и электровоздействий.

Выбор магнитного воздействия на микроорганизмы активного ила сделан исходя из достаточной простоты реализации данных устройств для обработки иловых систем в производственных условиях. Влияние магнитного поля способствует значительному увеличению скорости окисления органических и выделению биогенных веществ, снижению величины илового индекса в условиях образования разных симбиозов микроорганизмов.

Для проверки влияния дополнительных физических и биохимических воздействий на процесс интенсификации биологической очистки вод в лабораторных условиях была сконструирована пилотная установка – модель биореактора с активным илом. Активный ил и поступающие сточные воды отобраны на действующих очистных сооружениях мкр. Суворовский г. Ростова-на-Дону. Состав поступающих сточных вод соответствовал среднеконцентрированным городским сточным водам. Анализ работы действующих очистных сооружений показал, что активный ил находится в неудовлетворительном состоянии [18]. В денитрификаторе сформирована восстановительная среда (анаэробноз), непригодная для жизни аэробных бактерий. В зоне денитрификации аэробные бактерии находятся около 23 часов, следовательно, облигатные аэробы, к которым относятся нитрификаторы, погибают в таких условиях. Кроме того, в аэротенке такая окислительно-восстановительная обстановка также представляет угрозу для жизнедеятельности аэробных микроорганизмов. Из этого следует, что в сооружении биологической очистки сформировалось специфическое бактериальное сообщество, адаптированное к данным условиям, однако не приспособленное окислять органические вещества до остаточных концентраций по БПК<sub>п</sub>, равным 2-3 мг О<sub>2</sub>/л, и осуществлять процессы деазотизации.

Исследования проводились в два этапа. На первом – изучали влияние биолого-ферментных препа-

ратов и омагничивания на окислительно-восстановительные свойства иловых смесей в пилотных моделях биореакторов. Оценка условий биотрансформации загрязнений проводилась по окислительно-восстановительному потенциалу (ОВП), поскольку он является экспрессным и достоверным показателем режимов нитрификации и денитрификации [19].

Пилотная установка состояла из 8 моделей биореакторов, в каждом из которых создавались особые условия воздействия на иловую смесь. Иловая смесь отбиралась из реальных очистных сооружений, находящихся в режиме пусконаладки технологической схемы: нитрификация с предшествующей денитрификацией. В качестве добавок применялись биолого-ферментные препараты Би-ХЕМ Цесклин и Bacti-Bio 9500, которые используются на практике для быстрого образования эффективной биомассы и, соответственно, деструкции органических загрязнений [20].

Биопрепарат Би-ХЕМ Цесклин состоит из трофически увязанной смеси штаммов бактерий, активных в условиях минимального присутствия кислорода, что соответствует анаэробным и анаэробным условиям. Каждая популяция сообщества культивировалась в специальных условиях, собрана и сохранена при определенных температурных и влажностных характеристиках.

Биопрепарат Bacti-Bio 9500 представляет собой гранулированный бактериальный концентрат для полного и интенсивного разложения органических веществ и осадков [21]. Биопрепарат создан на основе ферментов, поверхностно-активных веществ (ПАВ) и высокоактивных микроорганизмов, способных разлагать углеводороды, жиры, белки и углеводы (в том числе крахмал и целлюлозу). Биопрепарат содержит смесь специальных анаэробных и аэробных штаммов микроорганизмов.

Выбор биопрепаратов определялся тем, что после их пуска сооружения биологической очистки должны работать в режиме нитрификации и денитрификации.

Наложение электромагнитного поля осуществлялось различными способами: постоянными магнитами, а также магнитными лентами, постоянное освещение осуществлялось с помощью светодиодов, аэрация моделей производилась воздухом через керамические аэраторы.

Усредненные показатели ОВП режима работы биореакторов за 14 суток наблюдений приведены в табл. 1.

Контроль эмиссии газов от модельных биореакторов показал, что при аэробном окислении происходит выделение диоксида углерода СО<sub>2</sub>, по количеству которого возможно судить о потреблении кислорода активным илом и, соответственно, о степени деструкции загрязнений, т. е. его окислительной способности (рис. 1).

Интенсивность аэрации в моделях биореакторов находилась в пределах нормативных величин,

Таблица 1

Усредненные показатели режима биореакторов при воздействии на биомассу различных факторов

№ модели	Описание внешнего фактора	pH	T, °C	ОВП, мВ
1	Добавление биопрепарата Би-ХЕМ Цесклин	8	23	180
2	Добавление препарата Vacti-Bio 9500	8	23	60
3	Добавление смеси биопрепаратов Би-ХЕМ Цесклин и Vacti-Bio 9500	8	23,5	70
4	Воздействие постоянного магнитного поля	8	23	-30
5	Воздействие узкой магнитной ленты	8	23,5	-30
6	Воздействие широкой магнитной ленты	8,5	25	170
7	Воздействие постоянного освещения	8	23,9	-10
8	Контрольный образец (только аэрация воздухом)	8	23,5	200



Рис. 1. Сравнительный график окислительно-восстановительного потенциала биореакторов (мВ) с подачей кислорода воздуха для моделей 1-8 (ряды 1-8)

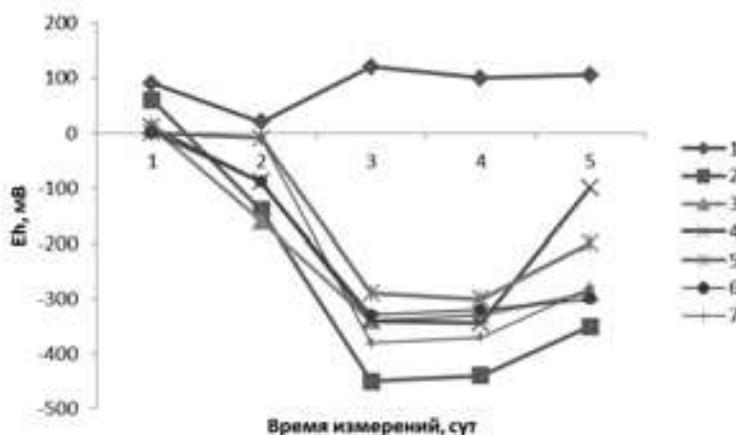


Рис. 2. Сравнительный график окислительно-восстановительного потенциала биореакторов без подачи кислорода воздуха для моделей 1-7 (ряды 1-7)

Таблица 2

Выборочные усредненные показатели очистки сточных вод с использованием биолого-ферментного препарата Vacti-Bio 9500

Показатели качества сточных вод после очистки	Без биопрепарата		С добавлением биопрепарата	
	ДНФ	НФ	ДНФ	НФ
ХПК, взболтанная проба	1614	1100	1215	1058
ХПК, отстоенная проба	167	62	98	90
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	61,6	72	4,84	5,5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	1,3	0,4	60	70
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/л	11	7,7	0,7	0,26
ОВП, мВ	- 60	80	- 120	100

в то же время она не должна быть ниже определенного предела, чтобы обеспечить поддержание активного ила во взвешенном состоянии независимо от его потребности в кислороде. Минимальная интенсивность лежит в пределах 48 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>ч) при глубине погружения аэратора  $h_a = 0,5$  м и 2,5 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup> ч) – при  $h_a = 6$  м. С другой стороны, интенсивность аэрации не должна превышать определенных значений, так как из-за повышенного содержания воздуха в жидкости фактическая эффективность аэрации понизится по сравнению с расчетными ее значениями.

Следует отметить, что бактерии, входящие в состав биопрепаратов, по своему происхождению относятся к факультативно аэробным микроорганизмам, т. е. могут работать в условиях низкой концентрации растворенного кислорода (рис. 2), иными словами, деградацию загрязняющих веществ можно проводить без постоянной подачи кислорода, но в присутствии освещения и препарата Би-ХЕМ Цесклин (ряд 1).

Из анализа графиков (рис. 1 и 2) следует, что биопрепараты, предназначенные для нитрификации, работают в аэробных условиях и успешно применяются как в жидкой среде, так и в осадках и илах, возникающих в отстойниках и модифицированных узлах очистных сооружений в зоне высоких значений окислительно-восстановительного потенциала при аэробном режиме. При постоянном освещении и без подачи кислорода воздуха идет процесс денитрификации, о чем свидетельствуют отрицательные величины окислительно-восстановительного потенциала.

На втором этапе исследований оценивалась эффективность биологической очистки сточных вод под воздействием биопрепарата Vacti-Bio 9500 на моделях биореакторов в режимах нитрификации и денитрификации. Навеска 1,5 (+/- 0,01) г препарата растворяется в 0,25 л водопроводной воды, т. е. концентрация равна 6 г/л. В модель биореактора объемом 1 л (1000 мл) вносится 60 или 120 мг препарата, что составляет концентрацию 60 и 120 мг/л соответственно. Периодичность внесения биопрепарата – один раз в 3–4 суток, при снижении ОВП обрабатываемых вод. Освещение светодиодами синим и красным цветом солнечного спектра велось круглосуточно.

Характеристика моделей биореакторов:

1 – денитрификатор с периодическим перемешиванием и нитратным рециклом без введения биопрепаратов;

2 – нитрификатор с аэрацией без введения биопрепаратов (аэратор Min jiang BL 758, расход воздуха – 3 л/мин);

3 – денитрификатор с ежедневной подачей 100 мл сточной воды после нитрификатора и периодическим перемешиванием с введением биопрепарата;

4 – нитрификатор с аэрацией, с подачей 100 мл воды из денитрификатора – с введением биопрепарата 1 (аэратор, Varbus 108 SB, расход воздуха – 3 л/мин).

После 14 суток наблюдений из биореакторов отбирались пробы по 500 мл вод из каждого на анализ в аккредитованную лабораторию.

Показатели очистки сточных вод при воздействии синего и красного цвета спектра с использованием биолого-ферментного препарата Vacti-Bio 9500 приведены в табл.2.

Если вычесть из значений ХПК во взболтанной пробе (табл. 2) показатели в отстоенной, то получим концентрацию биомассы по сухому веществу. Тогда концентрация биомассы без введения биопрепарата составляет, г/л: в ДНФ – 1,45, в НФ – 1,04; соответственно с введением: в ДНФ – 1,12, в НФ – 0,97. Это указывает на тот факт, что в режиме очистки сточных вод с введением биопрепарата объем избыточной биомассы меньше, чем без введения, %: в ДНФ (1,12/1,45) – на 23, в НФ – на 7. В итоге уменьшатся требуемые площади и эксплуатационные расходы на стабилизацию и обезвоживание биомассы.

**Выводы.** 1. Рассмотрены физические, химические и биологические способы интенсификации работы сооружений биологической очистки сточных вод. Показано, что при наращивании активного ила в период пуска сооружений биологической очистки имеются свои особенности, и наиболее перспективным является применение биотехнологических методов, основанных на использовании биолого-ферментных препаратов.

2. Эксперимент, проведенный в полупроизводственных условиях на пилотной установке, показал,

что выбранные биолого-ферментные препараты Би-ХЕМ Цесклин и Vasti-Bio 9500 применимы в режимах нитрификации и денитрификации, так как работают в условиях подачи кислорода и без подачи. Такой прием может быть использован на смешанных илах в аноксидно-аэробных условиях.

3. Эффективность очистки сточных вод с использованием биолого-ферментного препарата Vasti-Bio 9500 в полупроизводственных условиях за 14 суток с момента запуска установки составила в денитрификаторе по трудноокисляемым органическим веществам около 25 %, в нитрификаторе происходит глубокая нитрификация, снижение азота аммонийного с 72 до 5,5 мг/л. Отмечено снижение фосфатов с 7,7 до 0,26 мг/л; уменьшаются объемы избыточной биомассы в денитрификаторе на 23 %, в нитрификаторе – на 7 %.

Результаты проведенной работы показали возможность формирования адаптируемого активного ила с использованием биолого-ферментных препаратов в кратчайшие сроки и использованы с положительным эффектом при пуске производственных очистных сооружений суточным расходом 2000 м<sup>3</sup>/сут, время пуска составило 18 суток.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харьков С.В. Реконструкция очистных сооружений по технологии удаления азота и фосфора – мифы и реальность // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2014. №1. С. 22–31.
2. Степанов С.В., Стрелков А.К., Сташок Ю.Е., Патаки А. Реконструкция сооружений биохимической очистки НПЗ // Материалы конференции, посвященной памяти академика РАН и РААСН Яковлева С.В. СПб., 2010. С. 45–48.
3. Родионов А. Н., Озерова Л. П. Ретехнологизация аэротенков для достижения глубокого удаления биогенных элементов: опыт очистных сооружений г. Набережные Челны // НДТ. 2015. № 2. С. 26–33.
4. Van Haandel A. C., van der Lubbe J. G. M. Handbook of biological wastewater treatment: design and optimization of activated sludge systems. Elsevier, 2012. P. 770.
5. Есин М. А., Смирнов А. В., Соколов А.Н. Пусконаладочные работы – ключевой этап ввода в эксплуатацию очистных сооружений // Водоснабжение и санитарная техника. 2015. №10. 2015. С. 27-34.
6. Долженко Л.А. Имобилизация активного ила на носителях биореактора в условиях нитрификации и денитрификации // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2016. №4. С. 150 - 158.
7. Стрелков А.К., Степанов С.В., Степанов А.С., Кирсанов А.А., Губа И.Г. Интенсификация процессов биологической очистки на очистных канализационных сооружениях г. Самары // Водоснабжение и санитарная техника. 2006. № 9, ч. 2. С. 30-37.
8. Залевская Ю.М., Белик Е.С. Выбор технологии интенсификации биологической очистки сточных вод целлюлозно-бумажных предприятий // Транспортные сооружения. Экология. 2016. № 4. С. 97-113.
9. Андреев С.Ю., Гришин Б.М., Хазов С.Н., Ишев С.В. Экспериментальные исследования по влиянию электрообработки на ферментативную активность возвратного ила аэротенков // Водохозяйственный комплекс России: состояние, проблемы, перспективы: сб. ст. V Всерос. науч.-практ. конф. Пенза: МНИЦ ПГСХА, 2007. С. 30-31.
10. Денисова В.В., Резепова Р.Р., Балымова Е.С., Ахмадуллина Ф.Ю., Закиров Р.К. Изучение влияния низкочастотного ультразвука на биом активного ила городских очистных сооружений // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 16. С. 159-161.
11. Цхе А.А., Хан В. А., Мышкин В.Ф., Колесников В.П., Вильсон Е.В., Почуев Ю.Н., Луканин А.А. Предозонирование – как средство интенсификации процессов биологической очистки сточных вод // Научный журнал КубГАУ. №87(03). 2013. <http://ej.kubagro.ru/2013/03/pdf/38.pdf> (дата обращения: 03.04.2017).
12. Вильсон Е.В. Исследования в области удаления восстановленных соединений серы из сточных вод // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. №3 (дата обращения: 03.01.2018).
13. Борисова В.Ю. Влияние освещенности биомассы на технологические параметры аэротенков // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2011»: мат. VI Межд. науч.-практ. конф.; г. Чебоксары, 20–23 сент. 2011 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: Лик, 2011. С. 149–153.
14. Полескова Е.Г., Шулаева О.М., Шулаев М.В. Пилотные испытания интенсификации очистки сточных вод биологических очистных сооружений МУП «Водоканал» г. Казани с применением препарата «Мелафен» // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/pilotnye-ispytaniya-intensifikatsii-ochistki-stochnyh-vod-biologicheskikh-ochistnyh-sooruzheniy-mup-vodokanal-g-kazani-s-primeneniem> (дата обращения: 03.12.2017).
15. Кравцова М.В., Писклова О.П., Белова И.В. Анализ эффективности использования биопрепаратов для очистки сточных вод в пищевой промышленности // Технические науки – от теории к практике: сб. ст. по матер. XLIV междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: СибАК, 2015. № 3(40) (дата обращения: 03.12.2017).
16. Анциферов А.В., Филенков В.М. Улучшение степени очистки сточных вод промышленных предприятий на биологических очистных сооружениях // Градостроительство и архитектура. 2014. № 2 (15). С. 42–48.
17. Demarche P., Junghanns C., Nair R.R., Agathos S.N. Harnessing the power of enzymes for environmental stewardship // Biotechnology Advances. 2012. N30. P. 933–953.
18. Вильсон Е.В., Серпокрылов Н.С., Долженко Л.А., Смоляниченко А.С. Анализ результатов обследования комбинированных сооружений для очистки городских сточных вод // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2017»: материалы X юбилейной Межд. науч.-практ. конф.; г. Астрахань / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т. (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: Лик, 2017. С. 209–213.

19. Серпокрьлов Н.С., Скибина Е.В., Борисова В.Ю. Исследование биологической очистки сточных вод с использованием биопрепаратов // Вода: химия и экология. 2013. № 4. С. 30–35.

20. Инструкция по применению. Биопрепарат ВІ-СНЕМ Cesclean Цесклин/ <https://energovod.ru/tovary/ochistnye.../biopreparat-bi-chem-cesclean-cesklin>. (дата обращения: 03.04.2017).

21. Инструкция по применению. Биопрепарат Bacti-Bio 9500/ [biopreparat.wodas.ru](http://biopreparat.wodas.ru). (дата обращения: 03.04.2017).

Об авторах:

**СЕРПОКРЫЛОВ Николай Сергеевич**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения  
Донской государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**SERPOKRYLOV Nikolay S.**

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
344000. Russoa, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

**ВИЛЬСОН Елена Владимировна**

кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой водоснабжения и водоотведения  
Донской государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**VILSON Elena V.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
344000. Russoa, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

**ДОЛЖЕНКО Лидия Алексеевна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения  
Донской государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**DOLZHENKO Lidia A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
344000. Russoa, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

**САИЙД Марам Али**

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения  
Донской государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
344000, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**SAIYD Maram Ali**

Postgraduate Student of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
344000. Russoa, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

Для цитирования: Серпокрьлов Н.С., Вильсон Е.В., Долженко Л.А., Саид М.А. Особенности пуска сооружений биологической очистки сточных вод в режимах нитрификации и денитрификации // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 55-61. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.12.

For citation: Serpokrylov N.S., Vilson E.V., Dolzhenko L.A., Saiyd M.A. Features of the Start of Biological Wastewater Treatment Facilities in the Modes of Nitrification and Denitrification // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, №3. Pp. 55-61. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.12.

**М. В. ШУВАЛОВ**  
**Д. С. КОМАРОВ**

## ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ РЕНОВАЦИИ ЗОН ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДОВ

### PRIORITY MEASURES FOR THE RENOVATION OF HISTORIC URBAN AREAS

*В работе представлены сведения о канализовании жилых кварталов в зоне исторической застройки Самары. Исследования показали, что одной из основных проблем зон исторической застройки городов является невыполнение норм санитарных условий, обусловленных наличием дворовых помойниц для сбора отходов от неканализованных домохозяйств. На основе анализа архивных источников порядка 40 % домов, имеющих дворовые уборные, которые теоретически могли бы быть подключены к централизованной сети канализации уже к 1930 году.*

*The paper presents information on the sewage of residential areas in the historical buildings of Samara. Studies have shown that one of the main problems in the areas of historic urban development is the failure to comply with sanitary standards, due to the presence of yard dumps for collecting waste from non-canalized households. Based on the analysis of archival sources, about 40% of houses with courtyards that could theoretically be connected to a centralized sewerage network already by 1930.*

**Ключевые слова:** зона исторической застройки, канализование территорий жилой застройки, дворовая уборная, помойница, жидкие бытовые отходы, сточные воды

**Keywords:** historical building zone, sewerage of residential areas, courtyard toilet, waste basin, liquid household waste, wastewater

Реновации, как процессу улучшения комфортной среды проживания в городах, в настоящее время уделяется особое внимание. При выполнении комплекса мероприятий по реновации зон исторической застройки городов первоочередным мероприятием является улучшение санитарных условий в поселениях путем канализования этих территорий.

Согласно данным официальной статистики [1], в Российской Федерации 88,46 % площади жилищного фонда оборудовано канализацией. Самое низкое значение по данному показателю имеет Республика Тыва (55,78 %). Самое высокое – Чукотский автономный округ (99,86 %). В Самарской области 94,17 % площади жилого фонда оборудовано системой канализации.

В материалах о жилищных условиях населения, опубликованных Росстатом, по результатам Всероссийской переписи населения 2010 г. [2] представлена следующая информация:

1. На территории РФ в городских населенных пунктах насчитывается 39 590 251 домохозяйств, из них 13,16 % – домохозяйства индивидуального жилищного строительства; 83,64 % – отдельные квартиры; 3,2 % – коммунальные квартиры.
2. В 6,68 % домохозяйств городов России система канализации отсутствует; 84,22 % – подключено к централизованной системе канализации; 3,12 % – водоотведение производится через индивидуальную канализационную систему (включая септики); 5,97 % – через систему труб в выгребные ямы.

3. В 87,92 % домохозяйств в жилище имеется туалет со смывом (37,83 % – домохозяйств индивидуального жилищного строительства (ИЖС); 95,83 % – отдельные квартиры). Туалеты другого типа (в т. ч. биотуалет) имеются в 1,17 % домохозяйств (в т. ч. 3,91 % – домохозяйства ИЖС; 0,72 % – отдельные квартиры). Вне жилища туалеты расположены в 10,68 % домохозяйств (в т. ч. 57,54 % – домохозяйств ИЖС; 3,48 % – отдельные квартиры). Отсутствует туалет в 0,24 % домохозяйств (в т. ч. 0,73 % – домохозяйства ИЖС; 0,16 % – отдельные квартиры).

В городах Самарской области вышерассмотренные показатели находятся на уровне значений по стране. В таблице представлены показатели, характеризующие Самарскую область в сравнении с общероссийскими показателями по обеспеченности различными видами благоустройства жилых помещений различных видов домохозяйств.

Анализ представленных данных показывает, что в домохозяйствах, не подключенных к централизованной системе канализации, образуются жидкие бытовые отходы, доля таких домохозяйств в целом по России составляет 12,66 %, а в Самарской области – 7,58 %.

Основными источниками образования жидких бытовых отходов являются территории с неблагоустроенным жилищным фондом, в зданиях которых отсутствуют туалеты, подключенные к централизованной системе канализации.

## Обеспеченность различными видами благоустройства жилых помещений

Показатель	В целом		Отдельные квартиры		ИЖС	
	РФ	Самарская область	РФ	Самарская область	РФ	Самарская область
Количество домохозяйств	39 590 251	998 529	31 988 551	835 805	5 032 649	80 815
Имеется центральная система канализации, %	84,22	91,07	94,62	98,23	14,83	12,46
Водоотведение через индивидуальную канализационную систему (включая септик), %	3,12	1,35	1,02	0,34	17,21	12,54
Канализование в выгребные ямы, %	5,97	4,51	1,79	0,73	33,91	46,60
Канализация отсутствует, %	6,68	3,07	2,56	0,71	34,05	28,40
Имеется туалет (со смывом) в жилище, %	87,92	93,25	95,64	98,40	37,83	38,65
Имеется туалет другого типа в жилище (включая биотуалет), %	1,17	0,49	0,72	0,33	3,91	2,02
Имеется туалет вне жилища, %	10,68	6,07	3,48	1,17	57,54	58,32
Туалет отсутствует, %	0,24	0,19	0,16	0,10	0,73	1,01

Следует отметить, что в разъяснении Минприроды России [3] сказано, что «отнесение жидких фракций, выкачиваемых из выгребных ям, к сточным водам или отходам зависит от способа их удаления».

В случае, если жидкие фракции, выкачиваемые из выгребных ям, удаляются путем отведения в водные объекты после соответствующей очистки (например, при вывозе отходов на сливные станции централизованной системы канализации), их следует считать сточными водами и обращение с ними будет регулироваться нормами водного законодательства. В случае, если такие фракции удаляются иным способом, исключая их сброс в водные объекты (вывоз жидких отходов ассенизационными машинами на полигоны для захоронения отходов), такие стоки не подпадают под определение сточных вод в терминологии Водного кодекса РФ и их следует считать жидкими отходами, дальнейшее обращение с которыми должно осуществляться в соответствии с законодательством об отходах производства и потребления.

Согласно Правилам [4], «твердые и жидкие бытовые отходы – отходы, образующиеся в результате жизнедеятельности населения (приготовление пищи, упаковка товаров, уборка и текущий ремонт жилых помещений, крупногабаритные предметы домашнего обихода, фекальные отходы нецентрализованной канализации и др.)».

В Водном кодексе [5] представлено определение термина сточные воды: «дождевые, талые, инфильтрационные, поливомоечные, дренажные воды, сточные воды централизованной системы водоотведения и другие воды, отведение (сброс) которых в водные объекты осуществляется после их использова-

ния или сток которых осуществляется с водосборной площади».

Характер накопления нечистот рассмотрим на примере территории малоэтажного строительства в исторической части города – Ленинского района города Самары. Ленинский район – это район старой застройки конца XIX – начала XX в. В 1918 г. был выделен как второй район города.

Согласно официальным источникам, на сегодняшний день на территории Ленинского района 227 выгребных ям, обслуживающих 415 многоквартирных домов (МКД), в которых проживают 3830 жителей.

На рис. 1 представлена информация о канализовании многоквартирных домов, расположенных в Ленинском районе. На рис. 2 приведено соотношение жителей района, проживающих в зданиях с различной степенью благоустройства. Анализ представленной информации показывает, что из общего количества 35 % многоквартирных домов не подключено к системе централизованной канализации, в которых проживает 6 % жителей района.

Согласно п. 2.3.1 СанПиН 42-128-4690-88 «Санитарные правила содержания территории населенных мест», для сбора жидких отходов в неканализованных домовладениях устраиваются дворовые помойницы, которые должны иметь водонепроницаемый выгреб и наземную часть с крышкой и решеткой для отделения твердых фракций. Причем дворовые уборные должны быть удалены от жилых зданий, детских учреждений, школ, площадок для игр детей и отдыха населения на расстояние не менее 20 и не более 100 м.

На рис. 3 представлена схема размещения дворовых помойниц на территории Ленинского района

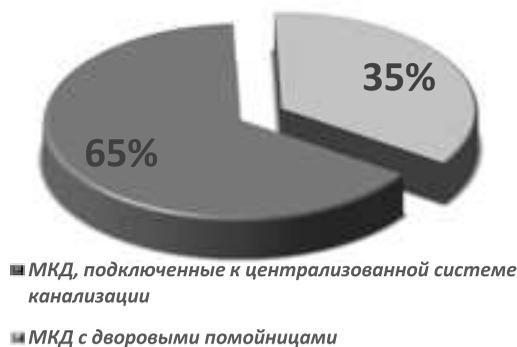


Рис. 1. Канализование МКД в Ленинском районе Самары

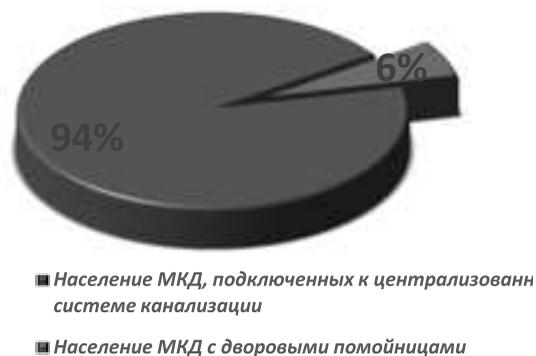


Рис. 2. Доля жителей, проживающих в домах Ленинского района с различной степенью благоустройства

по состоянию на 2018 г. На схеме показаны границы 20-метровой санитарно-защитной зоны (в масштабе карты-схемы) для дворовых помойниц. Наибольшее сосредоточение помойниц наблюдается в границах улиц Галактионовской, Красноармейской, Куйбышева, Л. Толстого, Буянова, Полевой, в зоне исторической застройки района. Следует обратить внимание, что большинство существующих дворовых помойниц было построено более 40 лет назад и их герметичность вызывает сомнения. Обследование показало, что в ряде кварталов имеются заброшенные дворовые уборные, заполненные доверху нечистотами.

Анализ рис. 3, 4 показывает, что большая часть дворовых помойниц расположена в непосредственной близости от жилых зданий, многие из которых попадают в границу санитарно-защитной зоны. Отметим, что не менее 15 % площади территории района (с учетом санитарно-защитной зоны в 20 м) в границах данных улиц попадает в зону с нарушенными санитарными условиями.

По данным архивной карты канализационной сети (рис. 5), на которой также показано место расположения существующих в 2018 г. дворовых помойниц, улицы Льва Толстого, Садовая, Шихобаловская (ныне Ленинская), Симбирская (ныне Ульяновская) уже были канализованы.

К 1930 г. канализационные сети располагались, в том числе, по ул. Оренбургской (ныне Чкаловская), части Галактионовской (в пределах 110 и 75-76 кварталов). Для неканализованных кварталов – по улицам Торговой (ныне Маяковского), Ярмарочной, Ульяновской, Арцыбушевской для сброса накопленных в помойницах нечистот на коллекторе диаметром 400 мм располагалась сливная станция (в районе нынешнего трамвайно-троллейбусного управления) (см. рис. 4).

Еще одна сливная станция в старой Самаре была расположена в нынешнем Самарском районе, на пересечении улиц Венцека и Уральской (ныне Братьев Коростелевых). Примечательно отметить что, помимо сливной станции, на данном коллекторе яйцевидного сечения (900x1600 мм) располагалась

снеговая шахта, предназначенная для сброса снежных масс с улиц города в канализацию.

В результате можно сделать вывод о том, что в настоящее время порядка 40 % домов, имеющих дворовые уборные, теоретически могли бы быть подключены к централизованной сети канализации уже к 1930 г.

Анализ существующих сетей канализации показывает, что большая часть зданий с дворовыми уборными может быть подключена к централизованной системе канализации в настоящий момент, за исключением кварталов преимущественно старой застройки. Как, например, дома по ул. Арцыбушевской не имеют возможности подключения к сети без строительства нового магистрального трубопровода.

В других государствах также существует проблема наличия выгребных ям в населенных пунктах. По оценкам специалистов, в США насчитывается более 25 тыс. выгребных ям. В штате Род-Айленд (США) с 2007 г. действует Закон о выгребных ямах (The Rhode Island Cesspool Act) [6]. Все выгребные ямы, расположенные в данном штате, являются объектом данного закона. Закон направлен на борьбу с негативными воздействиями на окружающую среду и здоровье населения, вызванными их наличием.

Согласно требованиям Закона, выгреб должны быть ликвидированы при следующих условиях:

При купле-продаже имущества, которое сопряжено с выгребом, – в течение одного года с момента сделки.

Если выгреб находится в неработоспособном состоянии – в течение одного года (или менее, при угрозе здоровью населения) с момента обнаружения уполномоченным лицом. Причем в законе приведены критерии неработоспособного состояния: не справляется с приемом нечистот, о чем свидетельствует их излив на поверхность; отметка уровня нечистот в выгребе менее 6 дюймов от входной трубы; откачивание стоков требуется чаще чем два раза в год; выявлено, что нечистоты из выгреба загрязнили источник водоснабжения; выявлен прямой контакт между днищем выгреба и уровнем грунтовых вод.

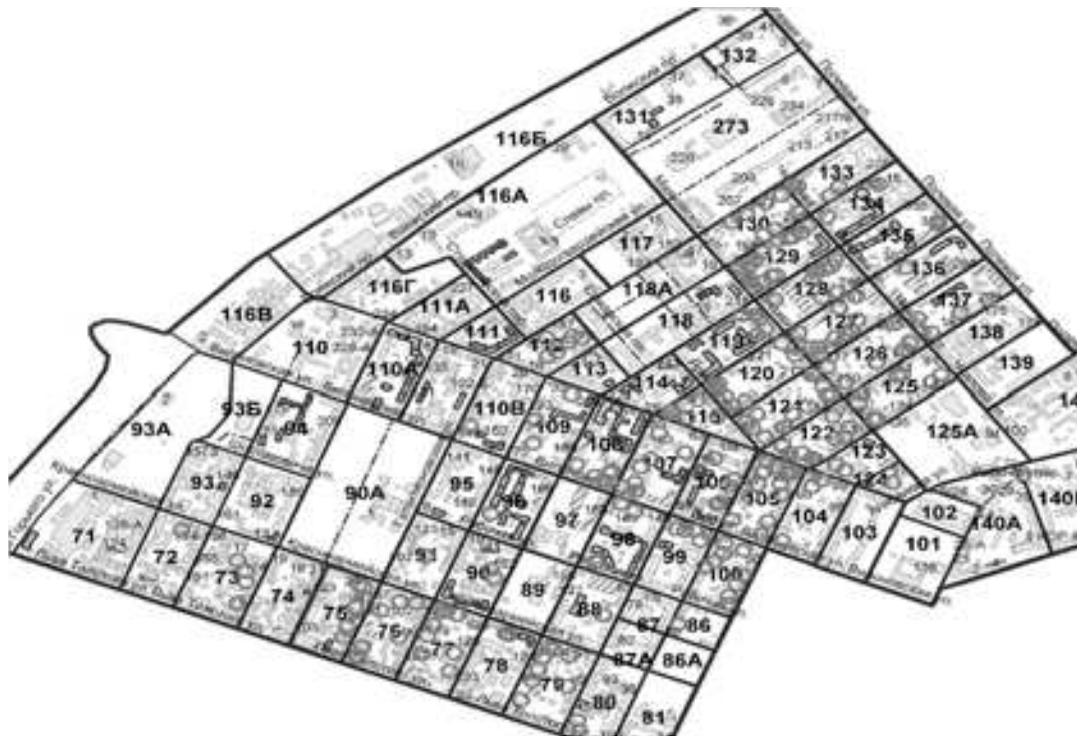


Рис. 3. Схема размещения выгребных ям на территории Ленинского района Самары  
○ – место размещения помойниц (существует в 2018 г.)  
с указанием границы санитарно-защитной зоны (20 м)



Рис. 4. Фрагмент плана Самары с сетями канализации  
○ - место размещения помойницы (существует в 2018 г.)  
с указанием границы санитарно-защитной зоны (20 м)

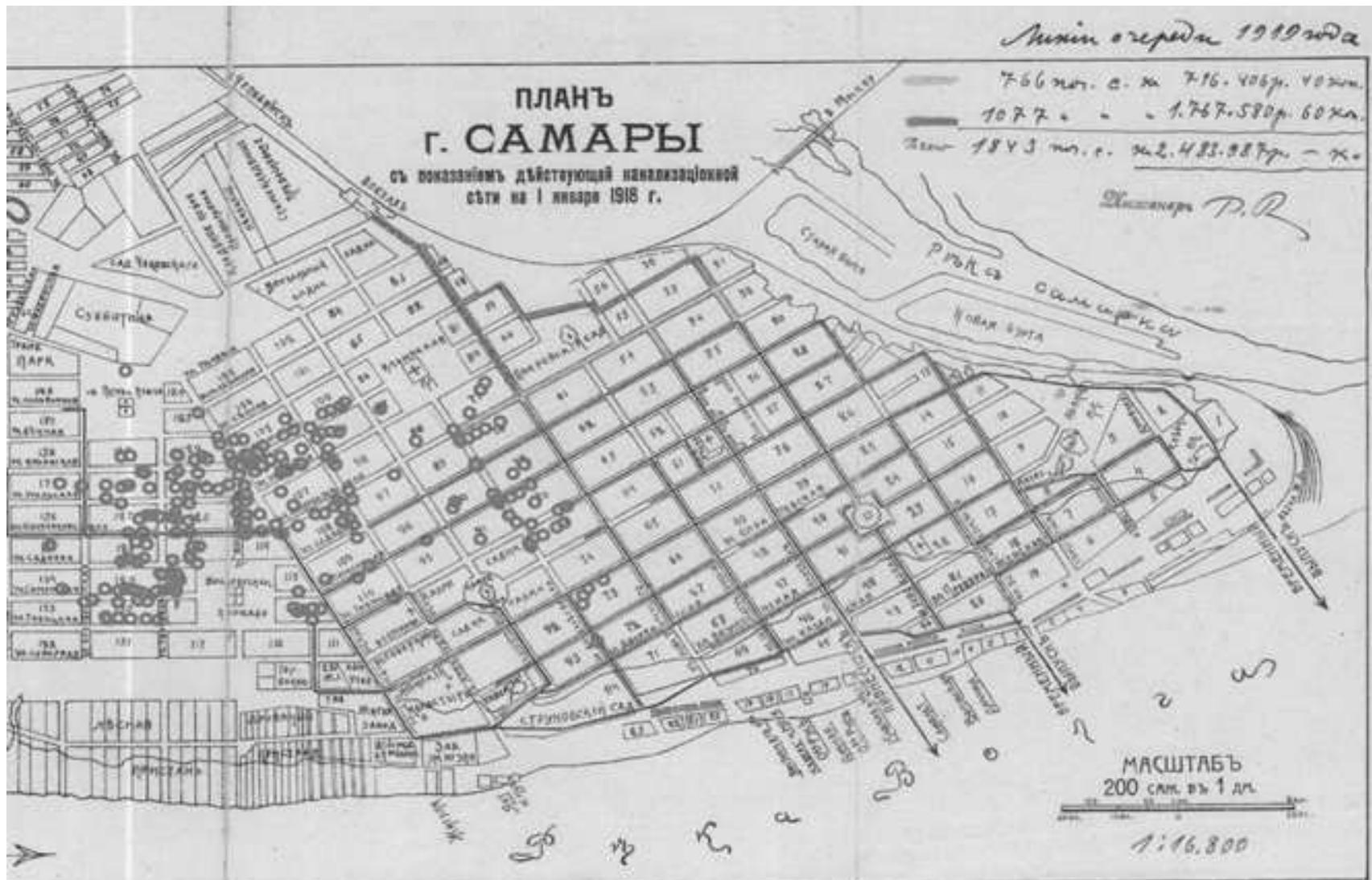


Рис. 5. Фрагмент плана Самары с сетями канализации  
 ○ – место размещения помойницы (существует в 2018 г.)  
 с указанием границы санитарно-защитной зоны (20 м)

При наличии технической возможности подключения к централизованной сети канализации.

При расположении выгребов на расстоянии менее 200 футов от источника водоснабжения или на расстоянии менее 200 футов от береговой линии приливной акватории водоема.

В целях исполнения требований этого закона и для финансовой поддержки населения действует специальная программа льготного кредитования (септик-кредитование) (the Community Septic Loan Program) [7]. Финансирование данной программы осуществляет Государственный оборотный фонд США (SRF) и контролируется Финансовым Агентством Чистой Воды.

**Выводы.** Анализ информации о канализовании исторической части территории Самары и технической информации по вопросу применения накопителей сточных вод (помойниц) в городах показывает, что при реализации приоритетного проекта «ЖКХ и городская среда» и концепции «Умный город» необходимо в качестве первоочередного мероприятия назначить работы по ликвидации помойниц и рекультивации земельных участков в зоне их расположения.

В зоне исторической застройки располагается большое число памятников архитектуры – объектов культурного наследия (ОКН), снос которых невозможен, так как эти объекты подлежат только ремонту или реконструкции. При формировании программ по реконструкции ОКН необходимо особо рассматривать вопросы, связанные с санитарным благоустройством территории, и обязательно комплексно решать вопросы по подключению зданий к системе

Об авторах:

**ШУВАЛОВ Михаил Владимирович**

кандидат технических наук, директор Академии строительства и архитектуры, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет, Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская 194, тел. (846) 242-41-70  
E-mail: ekos240@gmail.com

**КОМАРОВ Дмитрий Сергеевич**

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет, Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская 194, тел. (846) 242-41-70  
E-mail: dskomarov@gmail.com

городской канализации. В проектах реконструкции ОКН границы проектирования должны охватывать территорию, необходимую для комплексного решения инженерного обеспечения (реконструкция или новое строительство сетей канализации, хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения, электроснабжения и др.).

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fedstat.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Официальная публикация итогов Всероссийской переписи населения 2010 года. Том 9. Жилищные условия населения. Публикационная таблица: 4. Обеспеченность различными видами благоустройства жилых помещений частных домохозяйств [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru/>
3. Письмо Минприроды России от 13.07.2015 № 12-59/16226 «О рассмотрении обращения».
4. Постановление Правительства РФ от 10.02.1997 № 155 (ред. от 01.02.2005) «Об утверждении Правил предоставления услуг по вывозу твердых и жидких бытовых отходов».
5. Водный кодекс Российской Федерации (с изменениями на 3 августа 2018 года).
6. TITLE 23 Health and Safety. CHAPTER 23-19.15 'The Rhode Island Cesspool Act of 2007'.
7. Chariho Times. Town continues septic replacement loan program. August 14, 2014.

**SHUVALOV Mikhail V.**

PhD in Engineering Science, Director of Academy of Architecture and Civil Engineering, Associate Professor of the Water Supply and Waste Water Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-41-70  
E-mail: ekos240@gmail.com

**KOMAROV Dmitry S.**

Postgraduate Student of the Water Supply and Waste Water Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-41-70  
E-mail: dskomarov@gmail.com

Для цитирования: Шувалов М.В., Комаров Д.С. Первоочередные мероприятия реновации зон исторической застройки городов // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, №3. С. 62-67. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.13.  
For citation: Shuvalov M.V., Komarov D.S. Priority Measures for the Renovation of Historic Urban Areas // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 62-67. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.13.



# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

УДК 666.914

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.14

**А. А. РЯЗАНОВ  
В. М. ЛАТЫПОВ  
А. Н. РЯЗАНОВ  
В. А. РЯЗАНОВА**

## ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СЫРЬЕВОЙ ШИХТЫ НИЗКОТЕМПЕРА-ТУРНОГО ЦЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ

OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION OF THE RAW MATERIAL MIXTURE  
OF LOW-TEMPERATURE CEMENT ON THE BASIS OF FUEL-CONTAINING  
COAL PREPARATION WASTE

*Приведена методика расчета состава двухкомпонентной сырьевой шихты для получения известково-глинитного цемента на основе топливосодержащих техногенных отходов – гравитационных отходов обогащения углей. Разработана методика определения оптимального соотношения компонентов в шихте с учетом теплотворных свойств отходов. Ключевым параметром, при этом, является коэффициент энергетической эффективности. Целью расчета является определение такого соотношения компонентов в шихте, при котором обеспечивается максимальная экономия технологического топлива. Полученные результаты указывают на возможность полного исключения технологического топлива из производственного цикла при установившемся тепловом процессе за счет применения отходов углеобогащения.*

**Ключевые слова:** отходы углеобогащения, сырьевая шихта, известково-глинитный цемент, энергоемкость, коэффициент энергетической эффективности

Одним из перспективных направлений снижения энергетических затрат в промышленности строительных материалов является широкое вовлечение в технологический оборот крупнотоннажных топливосодержащих отходов углеобогащения (ОУ), которые образуются при обогащении каменных углей гравитационным способом на центральных углеобогащительных фабриках. Указанные отходы достаточно стабильны по химико-минералогическому составу и содержат топливные включения в количестве до 10–20 % и более по массе, что предопределяет

*The article presents a method for calculating the composition of a two-component raw material mixture for producing lime-clay cement based on fuel-containing technogenic waste - gravitational waste of coal enrichment. A method for determining the optimal ratio of components in the charge, taking into account the calorific properties of the waste, is given. The key parameter, in this case, is the energy efficiency ratio. The purpose of the calculation is to determine the ratio of components in the charge, which ensures maximum economy of process fuel. The results indicate the possibility of complete elimination of process fuel from the production cycle at the steady-state thermal process through the use of coal preparation waste.*

**Keywords:** coal wastes, raw material charge, lime-clayish cement, energy intensity, energy efficiency coefficient

выраженные теплотворные свойства последних [1,2]. Это позволяет отнести ОУ к ценному минеральному сырью для производства обжиговых строительных материалов, в первую очередь вяжущих веществ, как наиболее энергоемкого и потребляемого продукта.

В последние годы исследованию свойств вяжущих низкотемпературного обжига на основе природных и искусственных смесей посвящен целый ряд работ [3–9].

Одним из возможных вариантов эффективного решения данной задачи является способ получения гидравлического вяжущего посредством обжига

при 900-1100 °С двухкомпонентной сырьевой шихты, состоящей из карбонатного компонента и гравитационных отходов углеобогащения в установленных соотношениях по массе, реализация которого в промышленных условиях предполагает:

- двухфункциональное использование ОУ в качестве топливного и сырьевого компонента;
- получение низкотемпературного спека в процессе совместного обжига карбонатной породы с ОУ при максимально возможной энергетической сбалансированности процесса декарбонизации и частичного спекания за счет реализации теплотворных свойств топливных остатков золы.

Сырьевая шихта известково-глинитного цемента (ИГЦ) на основе отходов углеобогащения является двухкомпонентной механической смесью, состоящей из карбонатного компонента и топливосодержащих ОУ. Таким образом, содержание одного из компонентов находится в прямой зависимости от содержания другого, а выход ИГЦ (В) можно определить по формуле

$$B = CaO + MgO + S + P_1(1 - x_1) + C(1 - x_2), \% \quad (1)$$

где  $CaO + MgO$  – содержание указанных оксидов в шихте, %;  $S$  – суммарное содержание в шихте  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$ ,  $R_2O_3$ , %;  $P_1$  – приведенные потери при прокаливании известняка, % по массе шихты;  $C$  – содержание в шихте углеродистых частиц, %;  $x_1$  – степень декарбонизации известняка при обжиге, выраженная в долях единицы;  $x_2$  – степень выгорания органики, выраженная в долях единицы.

Выход вяжущего по массе можно определить по формуле

$$B = K - \frac{K}{100} \cdot P_1(1 - x_1) + O - \frac{O}{100} \cdot P_2(1 - x_2), \text{ кг/м}, \quad (2)$$

где  $K$  – масса карбонатной породы на 1 т шихты, кг;  $O$  – масса отходов на 1 т шихты, кг;  $P_1$  – потери при прокаливании карбонатного компонента, % по массе;  $P_2$  – потери при прокаливании ОУ, % по массе;  $x_1$  и  $x_2$  – то же, что и в формуле (1). В практических расчетах удобнее пользоваться коэффициентами выхода каждого из сырьевых компонентов  $K_B^H$  и  $K_B^O$ :

$$K_B^H = \frac{K - \frac{K}{100} \cdot P_1(1 - x_1)}{K}, \quad (3)$$

$$K_B^O = \frac{O - \frac{O}{100} \cdot P_2(1 - x_2)}{O}, \quad (4)$$

где  $K_B^H$  – коэффициент выхода известняка;  $K_B^O$  – коэффициент выхода минеральной части ОУ;  $K$ ,  $O$ ,  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $x_1$  и  $x_2$  – то же, что и в формулах (1), (2).

Суммарное содержание известковой ( $I$ ) части и минеральной части ОУ ( $O_1$ ) в вяжущем будет определяться расходом карбонатного компонента ( $K$ ) и ОУ ( $O$ ), а также потерями их массы при обжиге:

$$I + O_1 = K \cdot K_B^H + O \cdot K_B^O. \quad (5)$$

Задаваясь требуемым соотношением известняка и отходов в конечном продукте, расход карбонатного

компонента ( $K$ ) и отходов ( $O$ ) на приготовление 1 т вяжущего можно определить по формулам:

$$K = \frac{I}{K_B^H}, \text{ кг/м}, \quad (6)$$

$$O = \frac{O_1}{K_B^O}, \text{ кг/м}. \quad (7)$$

Важным моментом в решении задачи оптимизации сырьевого состава являлся правильный выбор пределов варьирования соотношением исходных компонентов, в основу которого были положены следующие теоретические предпосылки. Было принято допущение, что в результате низкотемпературного обжига шихты при 1000 – 1100 °С конечный продукт будет состоять в основном из определенного количества свободной  $CaO$  метаморфизированного глинистого вещества отходов. В связи с этим граничные соотношения сырьевых компонентов устанавливались по предельно допустимому содержанию оксида кальция в вяжущем, исходя из условия обеспечения его гидравлических свойств при достаточной воздухостойкости.

Анализ литературных данных [10] показал, что воздухостойкость известково-пуццолановых композиций обеспечивается при содержании в их составе не менее 20 % по массе  $CaO_{cb}$ . В то же время для сохранения гидравлических свойств содержание  $CaO_{cb} + MgO_{cb}$  в известьесодержащих вяжущих ограничивается 50 % по массе. Таким образом, содержание  $CaO_{cb}$  в вяжущем должно находиться в пределах 20-50 % по массе.

Зная химический состав сырьевых компонентов, активность вяжущего ( $A$ ) по содержанию  $CaO_{cb} + MgO_{cb}$  с учетом степени декарбонизации известняка и выгорания органики можно установить

$$A = \frac{CaO + MgO - P_1(1 - x_1)}{CaO + MgO + S + P_1(1 - x_1) + C(1 - x_2)} \cdot 100, \quad (8)$$

где все обозначения те же, что и в формуле (1).

Задаваясь процентным содержанием по массе компонентов в шихте – известняка (ОУ) от 20(80) до 60(40) и принимая степень декарбонизации известняка  $x_1$  и выгорания органики  $x_2$  равной 1, можно определить теоретическое максимально возможное содержание  $CaO_{cb} + MgO_{cb}$  в вяжущем. Расчетная зависимость между соотношением сырьевых компонентов в шихте и содержанием  $CaO_{cb}$  в ИГЦ показана на рис. 1. Из анализа представленной зависимости следует, что минимальному, из условия обеспечения воздухостойкости, содержанию оксида кальция в ИГЦ, равному 20 % по массе, соответствует шихта с содержанием отходов и известняка соответственно 75 и 25 % в зависимости от показателей п.п.п. (П2) базовых отходов. В то же время максимально допустимому содержанию  $CaO_{cb}$  в ИГЦ (50 % по массе) соответствует сырьевая смесь с содержанием известняка 60 % по массе.

Ввиду достаточно широкого диапазона допустимого содержания в вяжущем свободного оксида кальция, расчет состава сырьевой шихты, а также оценку энергетической эффективности процесса обжига предлагается производить также с учетом значения коэффициента энергетической эффективности  $K_3$  (9):

$$K_3 = \frac{Q^o \cdot m_o^{yd}}{Q_{TP}^{yd}}, \quad (9)$$

где  $Q_{TP}^{yd}$  – удельная энергоемкость процесса обжига шихты, кДж/кг (10);

$Q^o$  – теплотворная способность ОУ, кДж/кг;

$m_o^{yd}$  – удельное содержание ОУ в шихте, кг.

$$Q_{TP}^{yd} = [(m_1 \cdot g_{CaCO_3} + m_2 \cdot g_{MgCO_3} + m_3 \cdot g_{дг.оу} + g_{ш}) - (g_T + Q_{ЭКЗ}^{yd})], \quad (10)$$

где  $g_{MgCO_3}$  – удельный расход тепла на диссоциацию  $MgCO_3$  – 1314,6 кДж/кг;

$g_{CaCO_3}$  – удельный расход тепла на диссоциацию  $CaCO_3$  – 1779,4 кДж/кг;

$g_{дг.оу}$  – удельный расход тепла на дегидратацию глинистого вещества в отходах углеобогащения – 460,5 кДж/кг;

$m_1, m_2, m_3$  – удельное содержание  $CaCO_3, MgCO_3$  и глинистой части ОУ в сырьевой смеси соответственно;

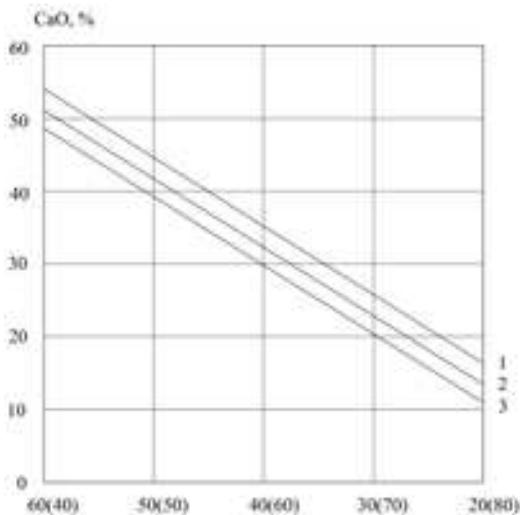
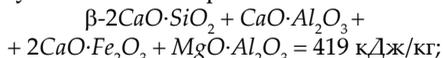
$g_{ш}$  – теплота, затрачиваемая на нагрев сырьевой шихты:

$$g_{ш} = m_{ш} \cdot c_{ш} \cdot T, \quad (11)$$

$m_{ш}$  – масса сырьевой шихты, кг;

$c_{ш}$  – средняя удельная теплоемкость сырьевой шихты при заданной температуре обжига  $T$  (°С), кДж/кг °С;

$Q_{ЭКЗ}^{yd}$  – удельная теплота, выделяемая при образовании искусственных минералов:



Содержание известняка (ОУ) в шихте, % по массе  
 Содержание угольных остатков в ОУ: 1-25%; 2-18%; 3-10% по массе  
 Рис. 1. Расчетное содержание  $CaO_{св}$  в ИГЦ в зависимости от состава шихты ( $P_1 = 43\%$ )

$g_T$  – теплосодержание смеси газов, равное сумме теплосодержаний, составляющих смесь газообразных продуктов реакции декарбонизации:

$$g_T = (m_1 CO_2 \cdot c_{CO_2} + m_2 CO_2 \cdot c_{H_2O}) \cdot t, \quad (12)$$

где  $t$  – температура продуктов сгорания, °С;

$m_1 CO_2, m_2 CO_2$  – удельный выход  $CO_2$ , соответственно  $CaCO_3, MgCO_3$ , м<sup>3</sup>/кг,

$c_{CO_2}, c_{H_2O}$  – массовая теплоемкость продуктов сгорания, кДж/кг °С.

Удельное содержание отходов в шихте при  $K_3 \geq 1$  (условие обеспечения самообжига шихты):

$$m_o^{yd} = \frac{Q_{TP}^{yd}}{Q^o}, \text{ кг.} \quad (13)$$

Содержание отходов в 1 т шихты:

$$m_o^{yd.ш} = \frac{1000 \cdot Q_{TP}^{yd}}{Q^o}, \text{ кг.} \quad (14)$$

Содержание отходов в 1 т цемента:

$$m_o^{yd.ц} = \frac{1000 \cdot Q_{TP}^{yd}}{Q^o \cdot K_B}, \text{ кг,} \quad (15)$$

где  $K_B$  – коэффициент выхода вяжущего (0,7-0,8).

Требуемый расход натурального топлива на обжиг 1 т шихты (при  $K_3 < 1$ ) составит:

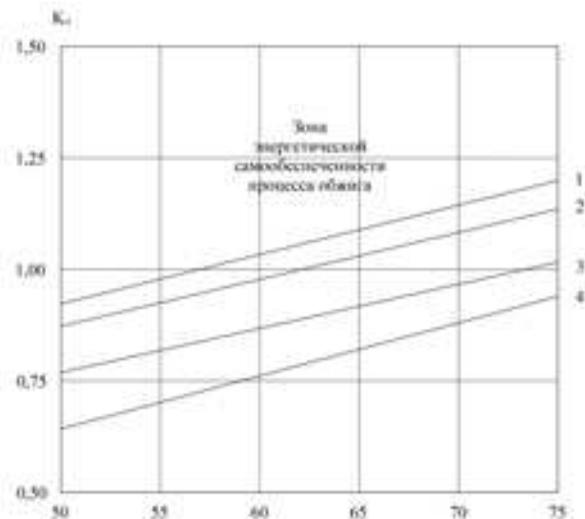
$$B_H^{ш} = \frac{1000 \cdot Q_{TP}^{yd}}{Q_H^T} \cdot (1 - K_3), \text{ кг,} \quad (16)$$

где  $Q_H^T$  – теплотворная способность используемого вида топлива, кДж/кг.

В пересчете на 1 т вяжущего расход натурального топлива составит:

$$B_H^B = \frac{1000 \cdot B_H^{ш}}{K_B}, \text{ кг.} \quad (17)$$

Графическая интерпретация зависимости коэффициента энергетической эффективности  $K_3$  от содержания отходов ОУ в шихте представлена на рис. 2.



Содержание отходов в шихте, % масс.  
 1 –  $P_2 = 28\%$ ; 2 –  $P_2 = 26\%$ ; 3 –  $P_2 = 23\%$ ; 4 –  $P_2 = 19\%$   
 Рис. 2. Зависимость коэффициента энергетической эффективности  $K_3$  от содержания ОУ в двухкомпонентной шихте

Как следует из графика (рис. 2), энергетический (тепловой) баланс процесса обжига сырьевых составов, характеризующихся  $K_3 \geq 1$ , обеспечивается за счет энергетического потенциала самой шихты и не требует использования технологического топлива при установившемся процессе.

**Выводы.** Разработанная методика расчета количественного состава двухкомпонентной сырьевой шихты известково-глинистого цемента низкотемпературного обжига на основе известняка и гравитационных отходов углеобогащения позволяет корректировать количество вводимых в шихту отходов как по активности получаемого гидравлического вяжущего, так и по условию обеспечения энергетической сбалансированности процесса обжига за счет энергетического потенциала ОУ, в зависимости от их теплотворной способности.

Ключевым параметром предлагаемой методики является коэффициент энергетической эффективности  $K_3$ . Целью расчета является подбор сырьевого состава с  $K_3 \geq 1$ . При этом условии возможен самообжиг шихты при установившемся процессе с полным исключением технологического топлива из производственного цикла.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Класен В.К., Борисов И.Н., Мануйлов В.Е., Ходыкин Е.И. Теоретическое обоснование и эффективность использования углеотходов в качестве сырьевого компонента в технологии цемента // Строительные материалы. 2007. № 8. С. 20–21.
2. Рахимов Р.З., Магдеев У.Х., Ярмаковский В.Н. Экология, научные достижения и инновации в производстве строительных материалов на основе и с применением техногенного сырья // Строительные материалы. 2009. № 12. С. 2–5.
3. Рязанов А. Н., Винниченко В. И., Плагин А. А. Теоретическое обоснование комплексного использования доломита и угольных отходов для получения строительных материалов // Сб. науч. трудов. Вып. 138. Харьков: УкрГАЗТ, 2013. С. 77–85.

Об авторах:

**РЯЗАНОВ Антон Александрович**  
аспирант кафедры строительных конструкций  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450062, Россия, Республика Башкортостан,  
г. Уфа, ул. Космонавтов, 1,  
тел. (987) 107-99-38  
E-mail: stow-team@live.ru

**ЛАТЫПОВ Валерий Марказович**  
доктор технических наук, профессор кафедры  
строительных конструкций  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1,  
тел. (917) 456-03-54  
E-mail: stexpert@mail.ru

4. Шелихов Н.С., Рахимов Р.З., Сагдиев Р.Р., Стоянов О.В. Низкообжиговые гидравлические вяжущие. Проблемы и решения // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 2 (17). С. 59–64.

5. Винниченко В.И., Рязанов А.Н. Получение цемента из отходов доломита // Экология и промышленность России. 2013. № 2. С. 111.

6. Винниченко В.И., Рязанов А.Н. Ресурсо- и энергосберегающие вяжущие из отходов доломита // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды: сборник докладов международной научно-технической конференции. / Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г.Шухова. 2015. С. 29–39.

7. Барбане И., Витыня И., Линдыня Л. Исследование химического и минералогического состава романце-мента, синтезированного из латвийской глины и доломита // Строительные материалы. 2013. № 1. С. 40–43.

8. Tislova R., Kozlowska A., Kozlowski R., Hughes D., Porosity and specific surface area of Roman cement pastes // Cement.Concrit. Res. 2009. № 39 (2). Pp. 950–956.

9. Hages D.C., Jaglin D., Kozlowski R., Mucha D. Roman cements – Belite cements calcined at low temperature // Cement.Concrit. Res. 2009. № 39 (2). Pp. 77–89.

10. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. М.: Инфра-Инженерия, 2011. 541 с.

**RIAZANOV Anton A.**  
Postgraduate Student of the Building Structures Chair  
Ufa State Petroleum Technological University  
450062, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa,  
Cosmonavtov str., 1,  
tel. (987) 107-99-38  
E-mail: stow-team@live.ru

**LATYPOV Valery M.**  
Doctor of Engineering Science, Professor of the Building Structures Chair  
Ufa State Petroleum Technological University  
450062, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa, Cosmonavtov str., 1,  
tel. (917) 456-03-54  
E-mail: stexpert@mail.ru

**РЯЗАНОВ Александр Николаевич**

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой  
строительных конструкций  
Уфимский государственный нефтяной технический  
университет  
450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1,  
тел. (987) 091-02-01  
E-mail: aryazanov@hotmail.com

**РЯЗАНОВА Виктория Альбертовна**

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных  
конструкций  
Уфимский государственный нефтяной технический  
университет  
450062, Россия, Республика Башкортостан, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1,  
тел. (987) 091-02-03  
E-mail: vryazanova@hotmail.com

**RIAZANOV Aleksander N.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head  
of the Building Structures Chair  
Ufa State Petroleum Technological University  
450062, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa,  
Cosmonavtov str., 1,  
tel. (987) 091-02-01  
E-mail: aryazanov@hotmail.com

**RIAZANOVA Victoriia A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor  
of the Building Structures Chair  
Ufa State Petroleum Technological University  
450062, Russia, Republic of Bashkortostan, Ufa, Cosmonavtov  
str., 1,  
tel. (987) 091-02-03  
E-mail: vryazanova@hotmail.com

Для цитирования: *Рязанов А.А., Латыпов В.М., Рязанов А.Н., Рязанова В.А.* Оптимизация состава сырьевой шихты низкотемпературного цемента на основе топливосодержащих отходов углеобогащения // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, №3. С. 68-72. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.15.

For citation: *Ryazanov A.A., Latypov V.M., Ryazanov A.N., Ryazanova V.A.* Optimization of the Composition of the Raw Material Mixture of Low-temperature Cement on the Basis of Fuel-containing Coal Preparation Waste // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 68-72. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.14.

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



УДК 72.01

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.15

Н. А. ГОГОЛЕВА

## ТЕКТОНИКА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КУПОЛОВ И ОБОЛОЧЕК И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИХ ОБЪЕМНО-ПРОСТРАНСТВЕННУЮ КОМПОЗИЦИЮ

TECTONICS OF CRYSTAL DOMES AND COVERS AND FACTORS DEFINING THEIR VOLUME  
AND SPACE COMPOSITION

*В статье приводится краткая история возникновения геодезических кристаллических купольных сооружений. Рассматривается комплекс факторов, которые являются определяющими условиями в формировании тектоники объемно-пространственной композиции купольных сооружений. Освещаются вопросы пластической обработки и пластической выразительности купольных сооружений с разной конструктивной схемой геометрической разбивки поверхности. Дается комплексная оценка исходных условий проектирования и учет формирующих факторов, позволяющих создавать выразительные объемно-пространственные композиции сооружений различного функционального назначения с использованием кристаллических купольных оболочек.*

**Ключевые слова:** тектоника купольной конструкции, кристаллические купола и оболочки, геометрические параметры оболочек, геодезические купола, конструкции купола, купольные композиции, художественные принципы, сферические поверхности

Купол – одна из старейших конструктивных форм, применяемых в архитектуре с древнейших времен. Купол, как поверхность тела вращения с вертикальной осью, наиболее органично сочетается с центрической формой сооружения – квадратной, круглой или многогранной. Поэтому купол, рожденный в древние времена в качестве элементарной формы кирпичного перекрытия жилища, постепенно стал самым величественным покрытием монументальных зданий. Вплоть до XX в. купол чаще всего был средством обогащения объемно-пространственной структуры сооружения, являясь пластически выразительной и завершающей частью сложной объемно-пространственной композиции сооружений,

*The article provides a brief history of the geodesic crystal dome structures. A set of factors that are determining conditions in the formation of the tectonics of the volume-spatial composition of dome structures is considered. The issues of plastic processing and plastic expressiveness of dome structures with different structural scheme of the geometric breakdown of the surface are considered. A comprehensive assessment of the initial design conditions and the consideration of formative factors allowing the creation of expressive volume-spatial compositions of structures of various functional purposes using crystal dome shells are given.*

**Keywords:** dome tectonics, crystal domes and shells, geometric parameters of shells, geodesic domes, dome structures, dome compositions, artistic principles, spherical surfaces

придавая своеобразие силуэту городской застройки (собор св. Петра в Риме, Санта Мария дель Фьоре во Флоренции, св. Павла в Лондоне, Исаакиевский собор в Санкт-Петербурге). Своды и купола не только отражали технические достижения. Они несли в себе художественный строй мысли своего времени.

Купольные композиции в современной архитектуре, как и в зодчестве прошлых веков, занимают одно из центральных мест. В настоящее время купол переосмыслен как в композиционно-функциональном, так и в конструктивном аспекте. Современные архитектурные формы купольных покрытий отличаются эстетическими, функциональными, конструктивными и технологическими достоинствами.

В отличие от купольных конструкций прошлого современные купольные покрытия в большинстве случаев являются самостоятельной архитектурной формой и полностью организуют функциональный процесс, из соподчиненного композиционного элемента он превратился в основной элемент композиции. Современная практика конструирования купольных конструкций позволяет возводить их с различной геометрической поверхностью и конфигурацией опорного контура и, тем самым, перекрывать сооружения с различной объемно-планировочной организацией внутреннего пространства.

Особый интерес заслуживают купольные конструкции, построение которых основано на использовании геометрических параметров правильных многогранников и благодаря им получившие название геодезических или кристаллических оболочек. Впервые купол с такой геометрией был создан в Германии в 1926 г. главным инженером оптической компании Carl Zeiss Вальтером Бауерсфельдом. Примерно через 20 лет Ричард Бакминстер Фуллер в США продолжил изучение геодезических куполов и в 1954 г. получает первый патент на строительную конструкцию геодезического купола. Его разработки внесли большой вклад в практику строительства и использования геодезических кристаллических куполов и оболочек.

Так, сооруженная по его проекту галерея изящных искусств Колорадского университета представляет собой геодезический купол диаметром 40 м. А купол в Батон-Руж построен по кристаллографической схеме разрезки по системе геодезических куполов инженера Б.Фуллера. Несущая сетчатая конструкция купола выполнена из стальных трубчатых шестиугольников, смонтированных на сферической поверхности, с разбивкой на основе икосаэдра.

Б.Фуллер и С.Садао запроектировали универсальный жилой дом в форме геодезического купола, вместо окон предусматриваются светопроницаемые панели. Купола по системе Б. Фуллера различных диаметров построены для зданий завода Форда в Дейтройте, для музея в Кейн-Деде ( США ), для помещений радарной станции в Арктике, для здания театра в Колумбии, для павильона американской выставки в Москве в парке Сокольники и т. д.

Большой вклад в изучение и строительство геодезических – кристаллических куполов и оболочек внесли российские ученые: М.С. Туполев, профессор МАРХИ, Г.Н.Павлов, Г.М. Голов, Н.А.Гоголева, а также другие преподаватели Нижегородского архитектурно-строительного университета [1,2]. Группа энтузиастов, возглавляемая Г.Н. Павловым, занималась не только теоретической разработкой, моделированием и автоматизацией расчетов геодезических куполов, за что получила несколько патентов на свои разработки, но и вместе со студентами участвовала в строительстве объектов по своим проектам с использованием разнообразной кристаллической струк-

туры покрытия [4,5]. Это кафе на Верхневолжской набережной, торговый павильон в центре Сормова, навес для настольных игр в спортивном лагере университета, теневой навес на танцплощадке в парке Кулибина, игровые конструкции и навесы на детских площадках города и др. По разработкам и проектам группы строились объекты с кристаллическим купольным покрытием в Кирове, Баку, Краснодаре и других городах страны.

Возведение сооружений с применением кристаллических куполов и оболочек ведется и в наши дни в разных странах мира.

Художественные принципы, заложенные в образование пластических решений поверхностей кристаллических оболочек посредством выявления формообразования структуры, имеют большое градостроительное значение. Пластическая поверхность наружного и внутреннего покрытия, состоящая из многочисленных шестигранных объемных элементов, орнаментальна по своей форме. Выразительность рельефа поверхности усиливается нюансами освещения.

Архитектурно-конструктивное моделирование кристаллических оболочек предопределяется особенностями геометрического построения поверхности оболочек, типом конструкции и объемно-пространственным формообразованием. Архитектурная форма становится тектоничной, когда ее элементы создают единую гармоничную систему, формирующую художественный образ на основе выявления структурных особенностей формы кристаллического купола. Тектоника является пластическим выражением физических свойств материала и, вместе с тем, раскрывает эстетические средства материально-технической структуры сооружения. При этом тектоничность выступает как качество, определяющее художественные свойства архитектурной формы. Таким образом, тектоника архитектуры купольной оболочки раскрывает единство конструкции и объемно-пространственной структуры.

В процессе формирования объемно-пространственной композиции объектов на основе кристаллических купольных оболочек существенное влияние оказывает ряд факторов, учет которых позволяет создавать выразительные архитектурные решения зданий различного функционального назначения. В силу того, что купольная структура в большинстве случаев полностью или частично определяет объемно-пространственную композицию сооружения, эти факторы, в первую очередь, влияют на нее, определяя архитектурно-строительные особенности применения. Среди факторов, определяющих архитектурно-планировочное, конструктивное и художественное решение купольного сооружения, наиболее важными являются функционально-технологические, архитектурно-композиционные, градостроительно-ландшафтные, природно-географические, технические и экономические [2, 5–7].

*Функционально-технологические факторы* относятся к виду формообразующих факторов, определяющих особенности планировочно-пространственного построения кристаллических купольных оболочек. Это отражается на проектировании структуры оболочек по заданным геометрическим параметрам с определенными очертаниями плана и разреза, типом конструкции.

На основе анализа функционально-технологических факторов определяется целесообразность использования оболочки по перекрытию определенного типа пространства. При этом объемно-пространственные кристаллические оболочки полностью пластически определяют объемную композицию сооружения с организацией функционально-технологического процесса в подкупольном пространстве. Среди всего многообразия внутренних пространств, формирующихся на основе кристаллических купольных оболочек, можно выделить моноцентрические статические пространства и полицентрические динамические пространства, организуемые из блоктированных купольных покрытий.

*Архитектурно-композиционные факторы* определяют формирование объемно-пространственного решения купольных оболочек на основе архитектурно-композиционных средств и приемов построения формы (масштаб, нюанс, контраст, пропорциональность, модульность, симметрия, асимметрия, закономерности ритма, пластическое и цветовое единство и т. д.). Влияние архитектурно-композиционных средств и приемов построения формы выражается как при создании объемно-пространственной композиции в целом, так и при построении интерьеров купольных сооружений с декоративной обработкой.

Правильное восприятие архитектурно-пространственной формы оболочки зависит от умелого композиционного подразделения целого на отдельные части, основанного на активном проявлении структурности покрытия. При этом могут использоваться все виды контраста: масса и пространство, крупное и мелкое, вертикальное и горизонтальное, легкое и тяжелое, прозрачное и непрозрачное, гладкое и фактурное, темное и светлое, поли- и монохромное и т. д. Можно выделить следующие варианты структур кристаллических купольных оболочек: полностью открытый каркас, частично закрытая конструктивная структура, включающая сочетание ячеек каркаса с элементами покрытия, полузакрытая конструктивная система, характерная для панельно-каркасных и стержневых двухконтурных купольных оболочек, полностью закрытая конструктивная система, характерная для сплошных, панельно-каркасных и стержневых двухконтурных купольных оболочек.

Все варианты структур кристаллических купольных оболочек имеют право на существование в архитектурно-строительной практике. Их использование в практике проектирования определяется

с учетом функционально-эксплуатационных и эстетических соображений. Так, например, полностью открытая конструкция чаще всего применима в символических декоративных композициях. Структурность композиции полностью закрытых конструктивных систем основана и определяется рисунком на элементах ограждения или рисунком в открытых и полукрытых конструкциях кристаллических куполов и оболочек может быть значительно ослаблено окраской их элементов в один цвет с фоновым заполнением ячеек каркаса, а также созданием рассеянного освещения в помещении.

Различная окраска панелей и стержневых элементов покрытия позволяет более активно подчеркнуть конструктивную особенность кристаллических купольных оболочек, и наоборот, окраска стержней элементов и каркаса в один цвет с элементами заполнения приводит к «нечитаемости» отдельных элементов.

Наложение пространственно-пластических, светотеневых, цветовых ритмов, образуемых путем последовательной иерархической группировки отдельных мелких конструктивных форм в более крупные конструктивные элементы (стержни каркаса, элементы заполнения или укрупненные элементы покрытия, крупные конструктивные формы, световые проемы, входные узлы и т. п.), позволяет создавать выразительные архитектурные решения кристаллических купольных декоративных оболочек.

Таким образом, приемы компоновки формы декоративных купольных оболочек состоят в активном, отчетливом членении поверхности оболочки на отдельные взаимосвязанные формообразующие части, в ясной композиционной взаимосвязи элементов конструкции, в организации архитектурных ритмов (пространственных, пластических, световых, цветовых).

Соразмерность архитектурной композиции декоративной купольной оболочки предполагает согласование элементов формы, архитектурных пространств, свето-цветовых построений объемно-пространственной композиции декоративных купольных сооружений. Это может проявляться геометрически (пропорциональность, сомасштабность отдельных элементов к целому), пластически (свето-цветовая согласованность элементов и целого), пространственно (гармоническое единство купольной оболочки с окружающей застройкой или ландшафтом). Приемы решения проблемы соразмерности, имеющие важное значение в процессе психофизиологического восприятия формы, основаны на сопоставлении масштабов в композиции архитектурной формы оболочки и ее частей с учетом особенностей восприятия формы, а также на сопоставлении масштабов в композиции архитектурной формы оболочки и ее частей с учетом особенностей восприятия с различного расстояния. Для декора-

тивных купольных покрытий правомерно включение в структуру купольного сооружения элементов с определенным масштабным рядом, учитывающим размерность элементов, привычных человеку, а также постепенность перехода от крупных форм к малым и т. д. [8].

Гибкость архитектурной композиции кристаллической купольной оболочки проявляется в универсальности пространства. Этот принцип позволяет проводить пространственную трансформацию помещений на основе свободной изменяемой планировки. Характерным проявлением гибкости является организация нейтрального пространства, не имеющего определенного функционального назначения – оболочек «контейнеров». Гибкость купольной оболочки обеспечивается простотой формообразующих элементов, удовлетворяющих условиям оптимальности их сочетаний в пространственных композиционных моноцентрических декоративных купольных сооружениях, композиционной незавершенности элементов, участвующих в создании полицентрических купольных сооружений, масштабной инвариантностью сооружений, позволяющих сохранять свое значение в изменяющихся градостроительных ситуациях.

Единство архитектурной композиции купольного сооружения является основным принципом, определяющим художественный строй архитектурного сооружения. Формирование композиционного единства объемно-пространственной композиции купольных сооружений наиболее полно отражается в их форме, определяемой четко выраженной структурностью и непрерывностью перетекания архитектурных пространств многоячеековых объектов. Приемы создания целостной формы декоративного купольного сооружения заключаются в выявлении главных и второстепенных элементов формы, в их взаимосвязи и соподчиненности. Сохранению единства композиции способствует также контрастное сопоставление ее частей, построенное на ритмических, масштабных, цветовых и пластических переходах от одной части композиции купольного здания к другой.

*Градостроительно-ландшафтные факторы* существенным образом оказывают влияние на пространственное решение сооружения и определяют условия взаимосвязи декоративных купольных сооружений с окружающей средой. Эти факторы включают условия общей композиции градостроительного ансамбля, условий рельефа и ландшафта, масштаба окружающей застройки и ее планировочной структуры, условия зрительного восприятия объемной формы купольного здания.

Малопроектные купольные декоративные сооружения своей пластической формой, сомасштабной человеку, позволяют удачно вписать их в композицию окружающей застройки и природного окружения.

Купольные сооружения больших пролетов могут взять на себя роль архитектурных и градостроительных доминант, организуя центральное композиционное ядро групп зданий и сооружений. При выборе места для их строительства необходимо учитывать возможность организации вокруг них свободных пространств для обеспечения условий правильного зрительного восприятия. Немаловажное значение имеет грамотное использование рельефа местности, позволяющее разместить купольное здание в пониженной его части и обеспечить тем самым восприятие пространственной декоративной формы купола с возвышающихся точек во взаимосвязи с благоустройством окружающей среды. Эта композиция в современной теории получила название «пятой» фасад архитектуры.

*Конструктивные факторы* являются средством материализации композиционного замысла объемно-пространственной композиции декоративного купольного сооружения. Они определяются поиском художественной выразительности архитектурных форм купольных сооружений через освоение новой техники, современных конструкций и материалов. Тектонизация архитектурных форм кристаллических купольных оболочек объективно проявляется в таких эстетических свойствах покрытия, как легкость, прозрачность, большепролетность, динамичность, строгая геометричность и пластичность. Это находит конкретное отражение в прозрачности решетчатой структуры, в однотипности конструктивных формообразующих элементов и их геометрическом «рисунке», в пластическом построении опор оболочки, решаемых контрастно или в подобии с ее конструктивной структурой, в отсутствии опор во внутреннем решении пространства, в выразительности внешнего силуэта.

*Технические факторы* определяют условия формирования эргономики внутреннего пространства кристаллических купольных оболочек, т. е. условия создания архитектурного «микроклимата» (требования к теплотехнике, вентиляции, освещению, акустике). Теплотехнические требования предьявляются к структуре покрытия и проявляются в выборе системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Важна компактность объема и его внутреннего пространства, при минимуме площади ограждения в зданиях в суровых климатических условиях. В условиях жаркого климата с повышенной солнечной радиацией желательна большая кубатура сооружения, так как большой объем дольше прогревается и более длительно сохраняет комфортные условия. В этих условиях целесообразно использовать подвешенные купольные оболочки.

Освещение внутреннего пространства оболочки осуществляется за счет остекления проемов под опорными арками или путем введения различных светопрозрачных элементов в поверхности покрытия.

Вопросы акустики тесно связаны с формой покрытия и поэтому должны решаться на стадии выбора конструктивной системы. Акустические требования могут удовлетворяться путем введения звукопоглощающих материалов или подвесных звукоотражающих экранов.

*Природно-географические факторы* существенным образом влияют на выбор оптимальной формы кристаллического купола. Снег и ветер учитываются при выборе конструктивных систем и вида пластической обработки, определении расчетных усилий, что существенным образом сказывается на форме кристаллической купольной оболочки.

Широта места влияет на цветовое решение купольной оболочки. В районах с высокой сейсмичностью к конструкции купольных оболочек предъявляются специфические требования, находящие выражение в большей прочности устройства специального опорного контура, что сказывается на объемно-пространственной композиции купольного сооружения.

*Экономические факторы* выступают в качестве критерия целесообразности конструктивного решения. Экономичность объемно-пространственного решения определяется сокращением общей строительной кубатуры здания, что ведет к снижению отапливаемого объема ограждающей конструкции, рациональной организации функционально-технического процесса. Экономичность конструктивного решения купольного здания определяется, в первую очередь, рациональностью геометрической схемы, несущей конструкции с минимальным количеством типов размеров элементов и простотой монтажа, минимальным расходом материалов, технологичностью изготовления конструктивных элементов покрытия, экономичностью объемно-пространственной структуры купольной оболочки.

Об авторе:

#### **ГОГОЛЕВА Наталья Аркадьевна**

кандидат архитектуры, доцент, профессор кафедры дизайн-проектирования и изобразительных искусств Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет  
603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65  
E-mail: entazis@me.com

**Вывод.** Учет всего комплекса рассмотренных факторов является необходимым условием формирования объемно-пространственной композиции кристаллических купольных сооружений. Комплексная оценка исходных условий проектирования и учет основных формообразующих факторов позволяют создавать выразительные объемно-пространственные композиции сооружений различного назначения с использованием кристаллических купольных оболочек. Определяющее влияние на формирование объемно-пространственной структуры кристаллического купольного сооружения оказывают особенности геометрического формирования поверхности, объемно-пространственного и конструктивного формообразования.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Павлов Г.Н., Голов Г.М., Гоголева Г.Н. Декоративные кристаллические структуры как объект малых архитектурных форм // Известия вузов. Сер. «Строительство и архитектура». 1980. № 4. С. 62–64.
2. Павлов Г.Н. Композиционное формообразование куполов и оболочек // АН СССР. 1977. № 2. С. 30–41.
3. Ляхов А.Я. Система проектирования и расчета геодезических куполов с открытой архитектурой: монография. Воронеж: Научная книга, 2015. 160 с.
4. Павлов Г.Н., Супрун А.Н. Автоматизация архитектурного проектирования геодезических куполов и оболочек: монография. Н.Новгород: ННГАСУ, 2006. 162 с.
5. Михайленко В.С. и др. Формообразование оболочек в архитектуре. Киев: Будівельник, 1972. 89 с.
6. Арнхейм Р. Искусство и визуальное восприятие / пер. с англ. М.: Архитектура – С, 2012. 392 с., ил.
7. Степанов А.В. и др. Объемно-пространственная композиция. М.: Архитектура-С, 2004. 256 с.: ил.
8. Франсис Д.К. Чинь Архитектура: форма, пространство, композиция / пер. с англ. М.: АСТ: Астрель, 2005. 399 с.: ил.

#### **GOGOLEVA Natalia A.**

PhD in Architecture, Professor of the Design and Fine Arts Chair  
Nizhny Novgorod State of Architecture and Civil Engineering  
603950, Russia, Nizhny Novgorod, Ilyinskaya str., 65  
E-mail: entazis@me.com

Для цитирования: Гоголева Н.А. Тектоника кристаллических куполов и оболочек и факторы, определяющие их объемно-пространственную композицию // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, №3. С. 73-77. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.15.

For citation: Gogoleva N.A. Tectonics of Crystal Domes and Covers and Factors Defining their Volume and Space Composition // Urban Construction and Engineering. 2018. V. 8, № 3. Pp. 73-77. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.15.

Л. И. ИВАНОВА  
Ф. В. КАРАСЁВ

## РЕГЕНЕРАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ В СТРУКТУРЕ ДОМОВЛАДЕНИЙ ГОРОДСКИХ УСАДЕБ XIX – НАЧАЛА XX ВЕКА

REGENERATION OF LANDSCAPE ARCHITECTURE OBJECTS IN THE STRUCTURE OF HOUSEHOLDS IN URBAN ESTATES OF THE 19TH - EARLY 20TH CENTURIES

*Рассматриваются классификация и особенности формирования объектов ландшафтной архитектуры в структуре домовладений усадебной застройки XIX – начала XX в. (на примере города Самары) с учетом градостроительных признаков: социальная принадлежность, расположение относительно исторического центра города, плотность, высотность, функциональный и планировочный тип застройки. Сделан акцент на сохранении объектов ландшафтной архитектуры в границах сложившихся домовладений, составляющих основу планировки кварталов исторического центра города. Учитывая выявленную классификацию, предложена методика по сохранению и развитию объектов ландшафтной архитектуры в современных условиях.*

**Ключевые слова:** городские усадьбы, ландшафтная архитектура, домовладение, оформление пространства, квартал, исторический центр, озеленение

Являясь неотъемлемой частью градостроительной практики, ландшафтная архитектура занимается оформлением как отдельных сооружений, так и ансамблей зданий, улиц и площадей, общественных пространств разного типа (в т. ч. зеленых рекреационных зон), объектов транспортной инфраструктуры, служит регенерации промышленных зон, а также восстанавливает и сохраняет экологическую целостность природных территорий, входящих в границы освоенного человеком пространства.

В России начало развития ландшафтной архитектуры может быть отнесено к концу XVIII в., когда в планы городов, разработанных Комиссией о каменном строении Санкт-Петербурга и Москвы, помимо основной застройки стали включаться различные объекты озеленения [1]. В XIX столетии в ландшафтной архитектуре находят отражение эклектизм и исторические стили. В этот период Самара становится губернским городом (1851 г.). По указу царя Николая Первого был утвержден план реконструкции города и специальный план его озеленения, по которому Самара значительно расширилась, появились новые храмы с церковными садами при них, городские общественные сады и скверы, реконструированы старые кладбища и на их месте устроены общественные

*The article views the classification and features of the formation of objects of landscape architecture in the structure of households of the estate building of the XIX - beginning of the XX centuries on the example of the city of Samara taking into account the town-planning features: social affiliation, location relative to the historic city center, density, height, functional and planning type of buildings. Emphasis is placed on the preservation of objects of landscape architecture within the borders of the existing households, which form the basis of the planning of the neighborhoods of the historic city center. Considering the identified classification a technique for the preservation and development of landscape architecture objects in modern conditions is proposed.*

**Keywords:** urban estates, landscape architecture, household, space design, quarter, historic center, gardening

сады. Были также благоустроены участки естественного леса на территории города под общественные нужды [2, 3]. На территории некоторых городских домовладений существовали довольно крупные фруктовые сады, которые были открыты владельцами для общественного пользования. Небольшие фруктовые сады других домовладений существенно разнообразили городской ландшафт.

Традиционно городская застройка Самары XIX – начала XX в. носила усадебный характер. Типовые усадьбы, сформировавшиеся ко второй половине XIX в., представляли собой жилые и хозяйственные комплексы с главным зданием, фасад которого был ориентирован по красной линии застройки улицы [4]. В дворовой части находились службы (различные хозяйственные постройки: каретники, амбары, сараи, погреба и т. д.), помимо них на территории домовладения располагались зеленые насаждения. В зависимости от сословной принадлежности усадьбы (мещанские, купеческие, дворянские) различались вид, качество и состав насаждений на участке [5]. Расположение усадьбы относительно исторического ядра города и ее сословная принадлежность влияли на площадь и качество озелеяемой территории внутри домовладения.

Первый тип низкоплотной мещанской застройки (рис. 1) был образован деревянными или каменно-деревянными домами преимущественно в один-два этажа, расположенными зачастую с отступом от красной линии застройки улицы. Для данного типа характерно озеленение 25-50 % территории домовладения, большую часть которого занимал огород. Кроме того, для такой застройки характерно устройство декоративного цветочного палисадника между главным зданием усадьбы и улицей, что перекликается с деревенской застройкой улицы (мещане были по большей части выходцами из села и не имели достаточного представления о различиях жизни в городе и деревне). Озеленение здесь носило по большей части утилитарный характер.

Второму типу – среднеплотной застройке мещан или купцов 2–3-й гильдий образованной по улице каменно-деревянными или каменными домами в два-три этажа, как правило, соответствует внутриворотовое пространство, занимаемое флигелем для прислуги. Флигель часто отделен от господского дома сараями, амбарами, каретниками. Открытое пространство между ними занимает озеленение, составляющее не более 15-25 % территории домовладения. Традиционные виды озеленения территории домовладения, такие как утилитарные огород и небольшой сад, не характерны для данного вида застройки. Это уже более благоустроенная озелененная территория для отдыха с тропинками, скамьями. Из посадок присутствуют, как правило, несколько деревьев садовых культур (яблоня, груша, вишня), цветочные куртины, травянистые лужайки. Более состоятельные владельцы разбивают, таким образом, небольшой декоративный усадебный садик.

Третьему типу – высокоплотной застройке дворян или купцов 1–2-й гильдии, образованной по улице каменными домами в два-четыре этажа, соответствует внутриворотовое пространство с флигелями для прислуги в структуре господского дома, каретниками, амбарами и минимальным озеленением (2–10 % от территории домовладения). Дома здесь принадлежали состоятельным владельцам и находились в историческом ядре, застройка была достаточно плотной и не позволяла разбивать большие озелененные территории внутри домовладения. А сами владельцы вполне могли позволить себе иметь загородные дачи. Озеленение здесь практически либо отсутствует, либо включает одно, реже два дерева садовых культур и небольшой газон.

Рассмотренные типы застройки располагаются в пределах исторического центра Самары. Так, первый тип встречается на периферии исторического центра, второй – на пороге исторического ядра города, третий – в историческом ядре [6, 7]. Каждый из этих типов характеризуется различными планировочными решениями и площадью озеленяемой территории домовладения (рис. 2):

1. Хаотичная застройка усадебного места. Озеленение восполняет периметральную структуру

домовладения, создавая эффект заполнения участка. При отступе главного здания усадьбы от красной линии перед домом устраивался палисадник по примеру деревенского дома.

2. Однорядная застройка усадебного места с расположением жилого дома вдоль одной из границ участка. Устройство домовладения, в большинстве случаев перед службами, занимало практически половину территории участка.

3. Осевая застройка. Постройки расположены по центру домовладения. Озеленение территории по двум сторонам, практически по всей длине домовладения.

4. Двухрядная застройка. Характерна для широких дворов длиной по красной линии от 30 м. Насаждения по периметру домовладения в свободных от застройки местах.

5. Периметральная застройка. Постройки размещены по границам участка. В данном варианте озеленение представляло собой узкие полосы перед службами в глубине домовладения либо заполнение небольших свободных от застройки проемов.

6. Периметрально-осевая застройка. Озеленение практически отсутствовало за исключением небольших участков озеленения перед службами в глубине домовладения.

Выявленная классификация позволила разработать методику по сохранению и развитию городских усадеб в современных условиях. Суть ее состоит в том, чтобы сохранить историческую парцелляцию квартала путем доформирования домовладений в зависимости от предмета охраны с учетом исторически сложившихся планировочных особенностей городских усадеб. Разработано по три варианта на шесть выявленных планировочных типов усадьбы [8]. Каждый из вариантов направлен на достижение экономической выгоды от регенерации исторических построек по периметру квартала за счет замещающего строительства внутри квартала при условии, что службы (надворные постройки) не составляют предмет охраны [9,10]. Доформирование домовладений также может быть осуществлено путем разбивки ландшафтных объектов, которые исторически являлись их важной составной частью. Это могут быть небольшие декоративные или фруктовые сады и скверы в структуре домовладений, которые существенно обогатят и разнообразят ландшафт исторической застройки Самары. Учитывая выявленную классификацию, предложенная методика по сохранению и развитию объектов ландшафтной архитектуры в современных условиях позволяет качественно сохранить и восстановить историческую усадебную застройку.

**Выводы.** В сложившей исторической усадебной застройке Самары не менее важное значение наряду с самими домами и хозяйственными постройками занимали небольшие озелененные участки в виде утилитарных и декоративных садов. Они не только служили

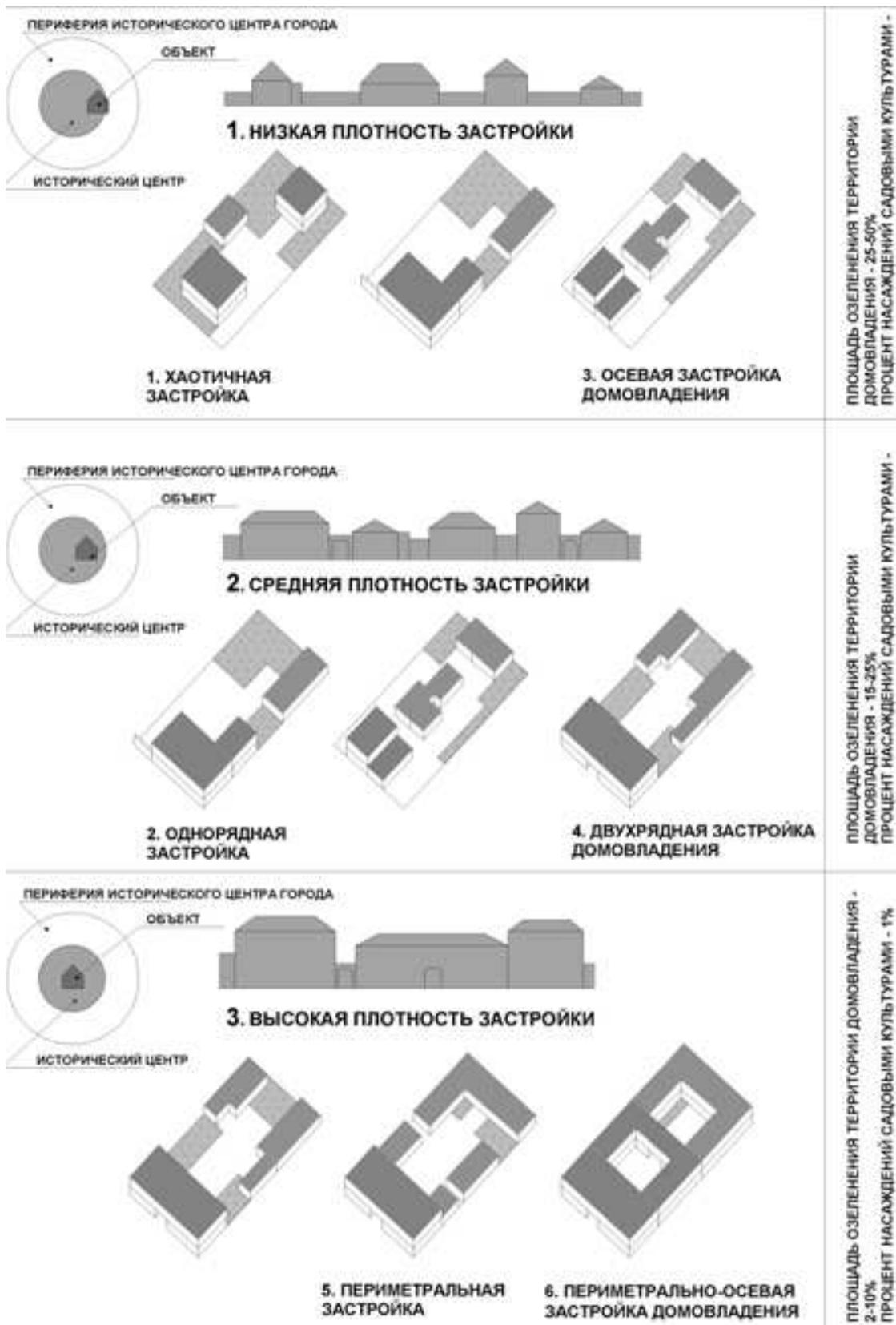


Рис. 1. Классификация городских усадеб.  
Процент озеленения территории домовладения. Автор: Ф.В. Карасёв

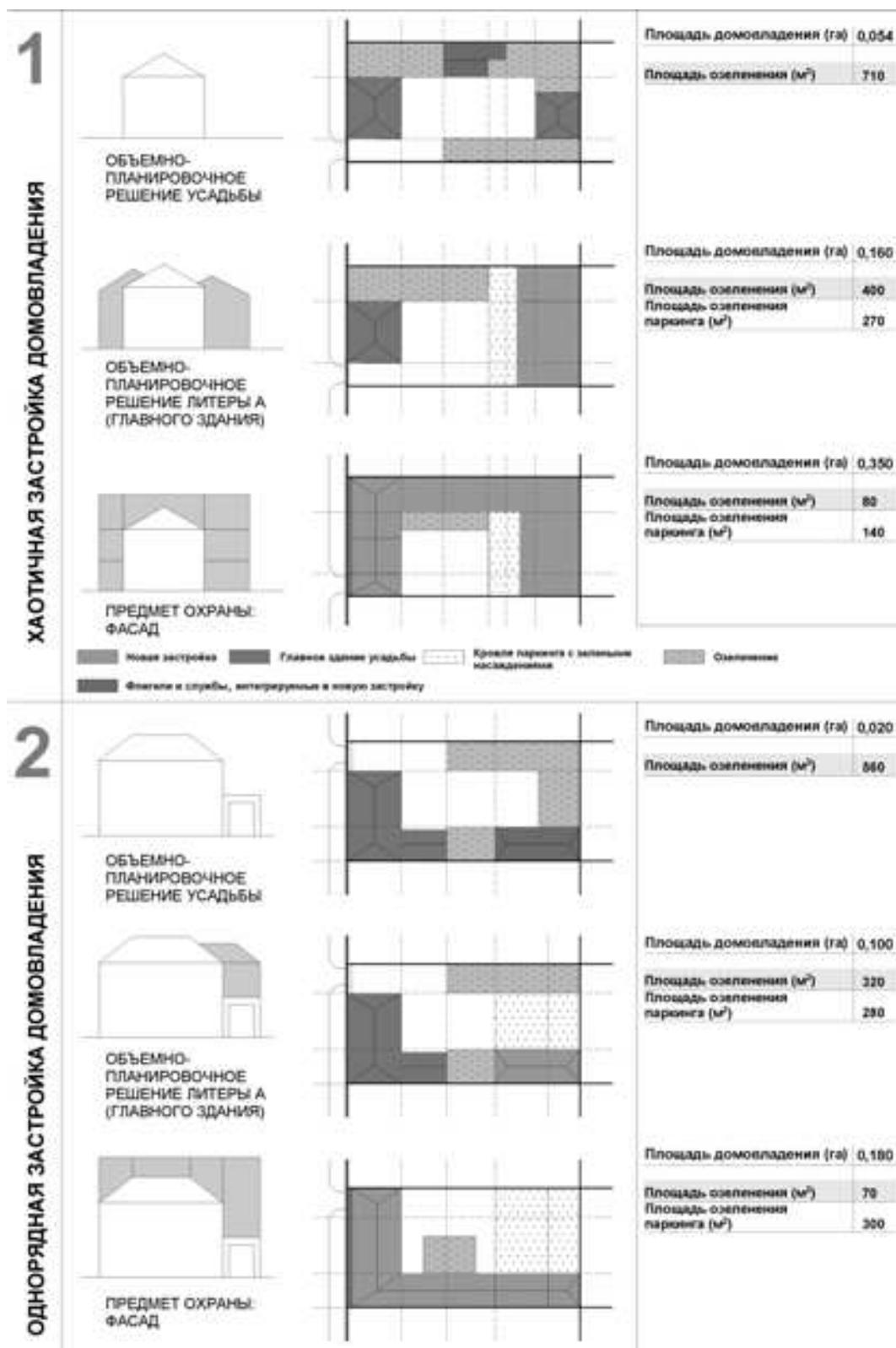
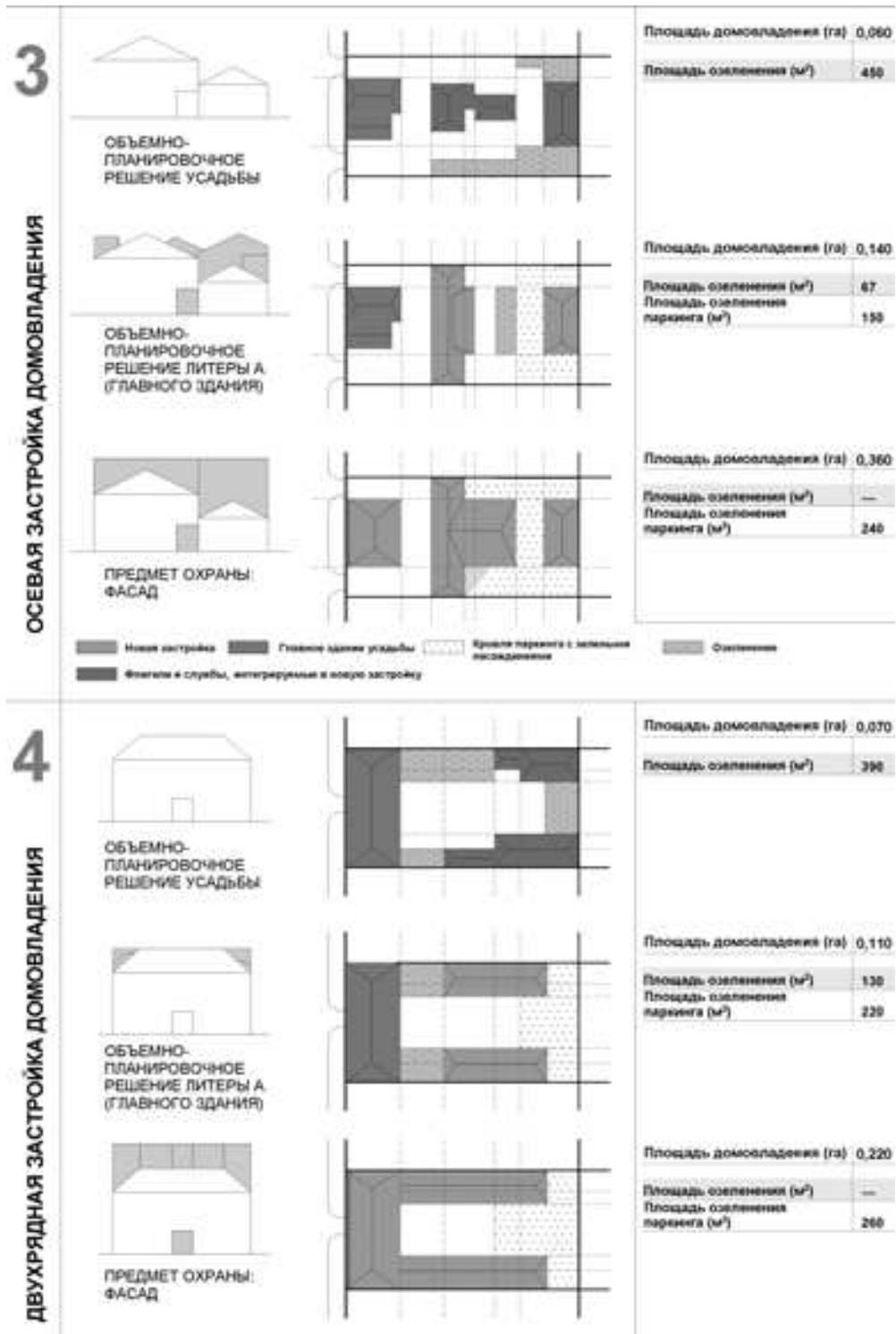


Рис. 2. Варианты доформирования и озеленения территории домовладений в зависимости от выявленных планировочных решений и предмета охраны: фасад, объемно-планировочное решение литеры А (главного здания усадьбы), объемно-планировочное решение усадьбы. Автор: Ф.В. Карасёв



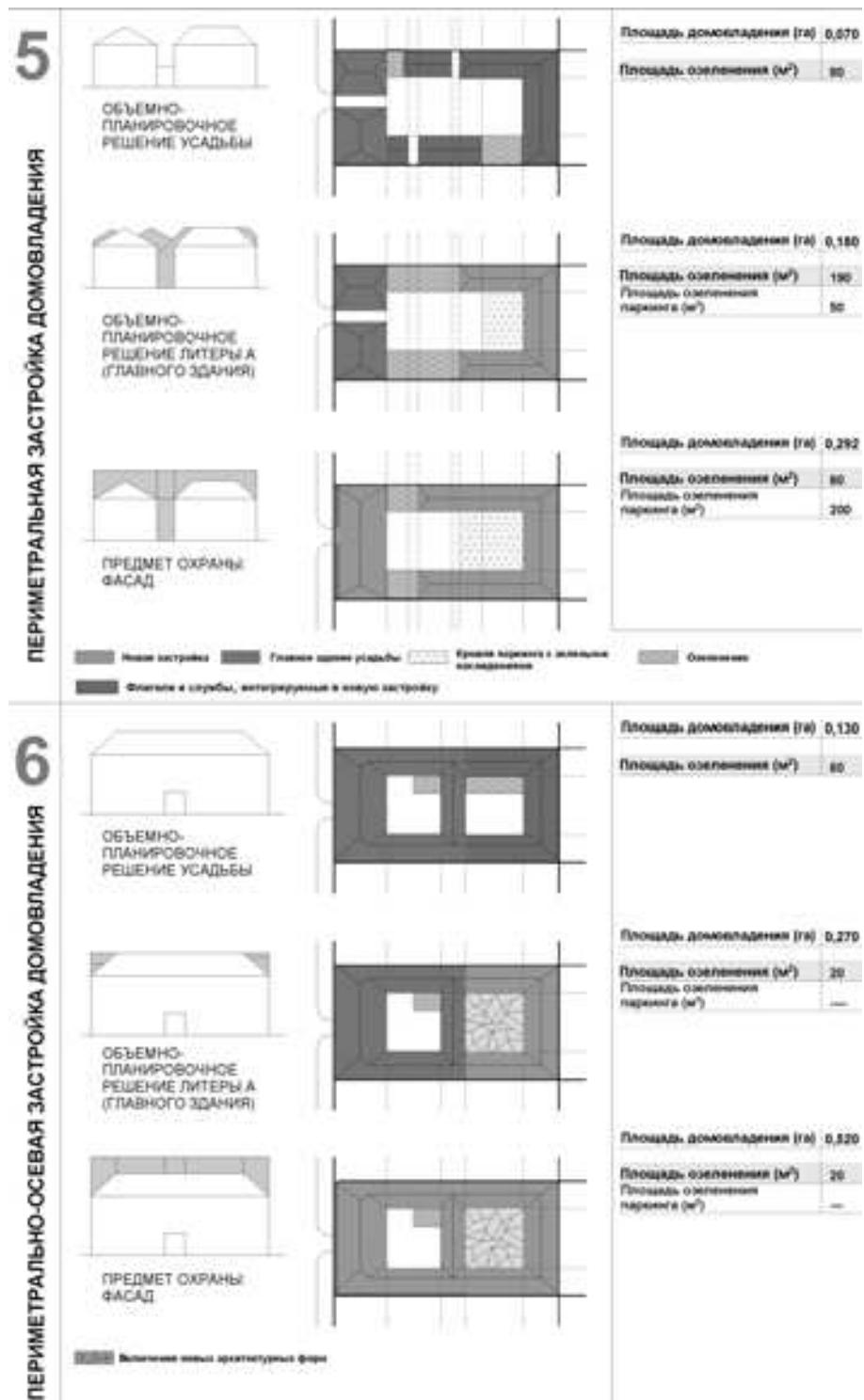


Рис. 2. Окончание

хозяйственной пользе владельцев, но существенно разнообразили и украшали городской ландшафт. Выявленные закономерности и особенности этих участков могут быть использованы при реконструкции усадебной застройки исторического центра Самары.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Палентреер С.Н. Избранные труды. Садово-парковое и ландшафтное искусство. М.: МГУЛ, 2003. 308 с.
2. Лекарева Н.А. Ландшафтная архитектура и дизайн. Традиции и современность. Самара, 2005. 212 с.
3. Иванова Л.И. К реконструкции городского сада // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство: сборник статей / СГАСУ. Самара, 2015. С. 199–201.
4. Ожегов С.С. История ландшафтной архитектуры. М.: Стройиздат, 1993. 240 с.
5. Сокольская О.Б. История садово-паркового искусства. М.: Инфра-М, 2004. 350 с.
6. Литвинов Д.В. Влияние российского правового регулирования на застройку городских прибрежных территорий в XVII - XIX вв. (на примере Среднего Поволжья) // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. 2014. №2-2(40). С. 121–123.
7. Филанова Т.В., Шуруев Ф.В. Анализ формирования системы общественных и рекреационных пространств в крупнейшем исторически сложившемся городе [Электронный ресурс] // Архитектон: известия вузов. 2015. №49 (дата обращения: 10.03.2018).
8. Карасёв Ф.В. Методика сохранения городских усадеб XIX – начала XX века с учетом их классификации по градостроительным признакам // Градостроительство и архитектура. 2016. №3 (24). С. 53–61. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.9.

Об авторах:

#### **ИВАНОВА Людмила Игоревна**

кандидат архитектуры, доцент кафедры реставрации и реконструкции архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: iwamila@yandex.ru

#### **КАРАСЁВ Федор Вадимович**

ассистент кафедры реставрации и реконструкции архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: fedor\_karasev@mail.ru

9. Вавилонская Т. В. Стратегия обновления архитектурно-исторической среды / рецензенты: д. арх., проф. А.Л. Гельфонд, д. арх., проф. В.А. Нефедов; СГАСУ. Самара, 2008. 300 с.

10. Стадников В.Э. Метод бесконфликтной реновации типового регулярного квартала исторического российского города [Электронный ресурс] // Архитектон: известия вузов. 2010. №32 (дата обращения: 10.03.2018).

#### **IVANOVA Lyudmila I.**

PhD in Architecture, Associate Professor of the Restoration and Reconstruction of Architectural Heritage Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: iwamila@yandex.ru

#### **KARASEV Fedor V.**

Assistant of the Restoration and Reconstruction of Architectural Heritage Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: fedor\_karasev@mail.ru

Для цитирования: Иванова Л.И., Карасёв Ф.В. Регенерация объектов ландшафтной архитектуры в структуре домовладений городских усадеб XIX – начала XX века // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 78–84. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.16.

For citation: Ivanova L.I., Karasev F.V. Regeneration of landscape architecture objects in the structure of households in urban estates of the 19th - early 20th centuries // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 78-84. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.16.

Е. В. КОСЕНКОВА  
Д. В. ЛИТВИНОВ

## АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРОДСКИХ МОСТОВ

### ARCHITECTURAL PLANNING PRINCIPLES OF URBAN BRIDGES RECONSTRUCTION

*Рассматриваются мосты и эстакады г. Самары, выявляются их основные характеристики. Дается краткая историческая справка о возникновении первых мостов как простых инженерных сооружений, выделяются основные временные периоды. Приводятся примеры реализованных решений, характеризующие основные этапы истории мостостроения: мост Гогенцоллернов в Кельне, мост Миллениум в Гейтсхеде, мост Понте-Веккьо во Флоренции, мост Золотые Ворота в Сан-Франциско, Русский мост во Владивостоке, Струнный мост в Иерусалиме. Проведенный анализ помогает понять, как современный мост, располагаясь в системе городской застройки, влияет на нее, дополняет и обогащает ее, сочетает в себе множество функций и передовых технологий, а также обладает архитектурной выразительностью.*

**Ключевые слова:** город, мост, многофункциональные мосты, пешеходные мосты, транспортная система, модернизация, новые технологии

Самара – крупный город России, административный центр Самарской области, расположенный на левом низменном берегу Саратовского водохранилища напротив Самарской Луки, при впадении в нее рек Самары и Сока. Город тянется вдоль реки Волги на 50 км, а в ширину – на 20 км. В настоящее время Самара стала крупным экономическим, транспортным, научно-образовательным и культурным центром.

Как административный центр Самара является городом, для которого огромную роль играет связь с другими населенными пунктами области. Транспортная сеть города должна быть достаточно развитой и способствовать ускорению коммуникации внутри города. Рассматривая транспортную сеть города, необходимо уделить особое внимание мостам и эстакадам, так как они помогают создать единую систему сообщения между районами города, разделенными естественными или искусственными физическими препятствиями [1, 2].

Мост – сооружение, возведенное через реку, озеро, овраг, пролив или любое другое естественное физическое препятствие. Эстакада в отличие от моста возводится выше уровня земли с целью обхода занятых земель или транспортных потоков. Существует около десятка типов мостовых конструкций,

*The bridges and overpasses of the city of Samara are considered, their main characteristics are identified. A brief historical background of the appearance of the first bridges as simple engineering structures is given, the main temporary periods are highlighted. Examples of implemented solutions that characterize the main stages of the history of bridge construction are given: the Hohenzollern Bridge in Cologne, the Millennium Bridge in Gateshead, the Ponte Vecchio Bridge in Florence, the Golden Gate Bridge in San Francisco, the Russian Bridge in Vladivostok, the String Bridge in Jerusalem. The analysis helps to understand how a modern bridge, located in the city building system, affects it, complements and enriches it, combines many functions and advanced technologies, and also has architectural expressiveness.*

**Keywords:** city, bridge, multifunctional bridges, pedestrian bridges, transport system, modernization, new technologies

самыми распространенными из которых являются балочные, балочно-консольные, арочные, висячие и вантовые. Первые капитальные мосты появились еще в античную эпоху, а наибольшее распространение мостостроение получило в эпоху Римской империи [3–5].

Рассматривая эволюцию мостов, можно выделить основные периоды в истории мостостроения (рис. 1). Первый период был самым продолжительным. Он начался еще около 110 г. до н.э. и закончился только в конце XVIII в. (110 г. до н.э. – 1779 г.). Второй период занимает XIX в. (1779 – 1900 гг.). Третий период – конец XIX первая половина XX в. (1880 – 1940 гг.). Четвертый период начался во второй половине XX в. (1940 г. – настоящее время).

Первый период характеризовался строительством каменных и деревянных арочных и висячих мостов (110 г. до н.э. – 1779 г.), (рис. 2). Деревянные мосты быстро разрушались, поэтому многие из них впоследствии заменялись каменными. Одними из первых капитальных мостов были мост Понте-Мильвио в Риме (109 г. до н.э.) и мост Тиберия в Римини (14 г. до н.э.). Позднее в Риме появился мост Святого Ангела (139 г.), а в 370 г. был отреставрирован мост Честио (50 г. до н.э.). Развитие мостостроения в Римской империи привело к появлению первых



Рис. 1. Основные периоды в эволюции мостов

многофункциональных мостов, которые совмещали транспортную функцию с торговой. Таким стал пешеходный мост Понте-Веккьо во Флоренции. Он был построен на месте двух более ранних мостов в 1345 г. и до сих пор сохранил свой облик. Вдоль моста расположено множество ювелирных лавок. Позднее над находящимися на мосту зданиями был построен коридор и смотровая площадка с панорамными окнами. Длина моста составляет 30 м (табл. 1, п. 1). Надстроенные и расширенные лавки торговцев до сих пор нависают над рекой, что придает Понте-Веккьо особую выразительность [6].

Активное развитие металлургической отрасли, начавшееся после окончания эпохи Средневековья, ознаменовало следующий этап в истории мосто-

строения, связанный с появлением металлических арочных мостов (1779 – 1900 гг.), (рис. 3). Первым чугунным мостом стал Айронбридж в Колбрукдейле (1779 г.). Спустя некоторое время в Париже был возведен чугунный Аркольский мост (1856 г.). Позднее появилась возможность возводить мосты из стали, и мостостроение приобрело огромные масштабы. Одним из таких мостов стал железнодорожный мост Гогенцоллернов в г. Кельн, Германия, стальную конструкцию которого поддерживают железобетонные опоры. Он был открыт в 1911 г., разрушен в годы Второй мировой войны, а затем восстановлен и расширен в 1989 г. Мост имеет пешеходно-велосипедные дорожки и смотровые площадки. Общая длина моста составляет около 410 м (табл. 1, п. 2). Его легкие



Рис. 2. Первый период (110 г. до н.э. – 1779 г.)

### МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ АРОЧНЫЕ МОСТЫ (1779 – 1900 гг.)



**1779 г.**  
Айронбридж,  
Колбрукдейл



**1856 г.**  
Аркольский мост,  
Париж



**1911 г.** Мост  
Гогенцоллернов,  
Кёльн

Рис. 3. Второй период (1779 – 1900 гг.)

### БЕТОННЫЕ И СТАЛЬНЫЕ ВИСЯЧИЕ МОСТЫ (1880 – 1940 гг.)



**1880 г.**  
Бруклинский мост,  
Нью-Йорк



**1903 г.**  
Вильямсбургский  
мост,  
Нью-Йорк



**1937 г.**  
Золотые ворота,  
Сан-Франциско

Рис. 4. Третий период (1880 – 1940 гг.)

### БЕТОННЫЕ ВАНТОВЫЕ МОСТЫ (НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ) (1940 гг. – настоящее время)



**2001 г.**  
Миллениум,  
Гейтсхед



**2008 г.**  
Струнный мост,  
Иерусалим



**2012 г.**  
Русский мост,  
Владивосток

Рис. 5. Четвертый период (1940 г. – настоящее время)



Рис. 6. Мосты г. Самары

Таблица 1

## Основные характеристики современных мостов

Название моста	Год постройки, реконструкции	Длина моста, м	Основное и дополнительное движение	Тип конструкции	Материал
Понте-Веккьо, Флоренция, Италия	1345 г. — постройка 1565 г. — коридор 1938 г. — смотровая площадка коридора	95	Пешеходное	Аронный мост	Камень
Мост Гогенцоллернов, Кельн, Германия	1907-1911 гг. — постройка 1948 г. — восстановлен 1989 г. — завершение работ	409	Железнодорожное и пешеходное	Аронный мост	Сталь и бетон
Мост Золотые ворота, Сан-Франциско, США	1933-1937 гг. — постройка	2 737	Автомобильное и пешеходное	Высокий мост	Сталь и бетон
Мост Миллениум, Гейтсхед, Англия	1999-2001 гг. — постройка	126	Пешеходное и велосипедное	Вантовый наклонный мост	Сталь
Струнный мост, Иерусалим, Израиль	2005-2008 гг. — постройка	360	Трамвайное и пешеходное	Вантовый мост	Сталь, бетон, стекло
Русский мост, Владивосток, Россия	2008-2012 гг. — постройка	1885	Автомобильное	Вантовый мост	Сталь и бетон

конструкции создают единую композицию с Кельнским собором, прекрасно дополняя его. Несмотря на то, что мост лишился некоторых элементов, он не потерял своей архитектурной выразительности [7].

В конце XIX – начале XX в. широкое распространение получает один из древнейших типов мостов – висячий. Благодаря использованию бетона и стали особенностью висячих мостов становятся большие пролеты (рис. 4). В 1880 г. в Нью-Йорке появляется Бруклинский мост, а в 1903 г. – Вильямсбургский мост. В 1937 г. в Сан-Франциско в США открывают один из наиболее длинных мостов мира – автомобильный мост Золотые Ворота. Он долгое время оставался самым большим висячим мостом в мире (табл. 1, п. 3). Каждый год мост Золотые Ворота посещают около десяти миллионов туристов благодаря живописным пейзажам окружающей местности, оригинальной архитектуре и яркому цвету [8].

К середине XX в. бетон окончательно приходит на смену стали и становится наиболее востребованным материалом в мостостроении (рис. 5). Огромное количество железобетонных мостов появляется по всему миру. Новой задачей мостостроения становится применение высоких технологий и инновационных решений. Примером одного из таких решений является пешеходно-велосипедный мост Милле-

ниум в г. Гейтсхед, Англия. В обычном положении арки моста не мешают проходить под ним небольшим судам, а для прохождения крупных судов мост может поворачиваться на 40 градусов. Миллениум состоит из двух параллельных падул для пешеходов и велосипедистов [9]. Открытый в 2001 г., мост имеет небольшую длину – всего 126 м (табл. 1, п. 4).

Мост перестает быть исключительно функциональным сооружением и становится объектом притяжения для горожан и туристов. Так, большую известность получил пешеходный и трамвайный Струнный мост в Иерусалиме, Израиль (арх. С. Калатрава). Он был открыт в 2008 г. Этот подвесной мост обладает особой архитектурной выразительностью благодаря использованию угловой консольной опоры, которая позволяет сократить длину и количество поддерживающих кабелей. Единственная опора высотой в 119 м уравнивает пролет длиной в 160 м (табл. 1, п. 5). Струнный мост помог решить транспортную проблему Иерусалима, подняв трамвайное движение над автомобильной дорогой [10].

В России также есть примеры использования передовых технологий строительства. В 2012 г. был открыт автомобильный Русский мост во Владивостоке. Уникальный мостовой переход через пролив Босфор Восточный соединяет остров Русский и мате-

## Качество автомобильных мостов г. Самары

Автомобильный мост	Фото	Год постройки, реконструкции	Длина моста, м	Дополнительное движение	Качество дорожного полотна	Качество бордюрного камня	Наличие отбойника
1. Старый мост (ул. Водников - ул. Главная) р. Самара		1954 г., 2012 г. (ремонт без замены мостовой плиты)	385	Троллейбусная сеть	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Есть
2. Южный мост (ул. Авроры - М32) р. Самара		1974 г., 2017 г. (реконструкция)	487	Нет	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Нет
3. Кировский мост (пр. Кирова) р. Самара		2014 г., 2017 г. (разрешение от Ростехнадзора)	571	Нет	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Есть
4. Сокский мост (Красноглинское шоссе) р. Сок		2016 г.	201	Нет	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Есть
5. Мост на Белорусской улице (ул. Белорусская) р. Татьяна		Нуждается в ремонте	71	Нет	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Нет
6. Мост на Стромилловском шоссе (Стромилловское шоссе) р. Подстепновка		Нуждается в ремонте	69	Нет	Неудовлетворительное	Удовлетворительное	Нет

риковую часть Владивостока. Длина моста составляет около 1900 м (табл. 1, п. 6). Русский мост является вторым по высоте в мире (324 м) и имеет уникальную длину пролета – 1104 м [11].

Анализ качества мостов Самары показал, что в настоящий момент на территории города находится 6 автомобильных и 2 железнодорожных моста, а также 10 автомобильных и 4 железнодорожные эстакады (рис. 6). К 2020 г. планируется закончить строительство автомобильного Фрунзенского моста через р. Самару.

Многие автомобильные мосты Самары нуждаются в реконструкции (табл. 2). Например, Старый мост (385 м, ул. Водников – ул. Главная) через р. Самару, открытый в 1954 г., по которому также организовано троллейбусное движение. Последний раз его ремонтировали в 2012 г., однако несмотря на неудовлетворительное состояние мостовой плиты работы по ее усилению провели без ее замены на металлическую основу. Другие мосты, такие как мост на ул. Белорусской (71 м) через р. Татьянку и мост на Стромилловском шоссе (69 м) через р. Подстепновку, находятся далеко от центра города, но также нуждаются в проведении ремонтных работ. Об этом свидетельствует плохое качество дорожного полотна и полуразрушенный бортовой камень. Стоит отметить и положительные примеры строительства новых автомобильных мостов в Самаре. Их отличает высокое качество проезжей части, бордюра и наличие укрепленного парапета и металлического отбойника. Одним из таких мостов является Кировский

мост (571 м, пр. Кирова) через р. Самару, открытый в 2014 г. и получивший разрешение от Ростехнадзора на эксплуатацию в декабре 2017 г. Стоит отметить Южный мост (487 м, ул. Авроры – М32) через р. Самару, построенный в 1974 г. и отремонтированный в 2017 г. К положительным примерам можно отнести Сокский мост (201 м, Красноглинское шоссе) через р. Сок, открытый в 2016 г. рядом со старым Сокским мостом, который вскоре был демонтирован.

Наряду с мостами в Самаре построено большое количество эстакад (табл. 3). В результате анализа автомобильных эстакад Самары выяснилось, что только 2 эстакады из 10 имеют металлические отбойники. Это эстакада по ул. Авроры над железной дорогой Самара – Тольятти и эстакада на Зубчаниновском шоссе над железной дорогой Самара – Тольятти. Половина самарских эстакад имеют неудовлетворительное качество дорожного полотна и бортового камня. Таким образом, самыми проблемными эстакадами Самары можно назвать эстакады на ул. Земеца над железной дорогой Самара – Тольятти и ул. Грозненской над железной дорогой Самара – Сызрань. Следует отметить, что по некоторым автомобильным эстакадам организовано трамвайное движение (эстакада на ул. Земеца над железной дорогой Самара – Тольятти и на ул. XXIII Партсъезда над железной дорогой Самара – Тольятти) и троллейбусное (эстакада на пр. Кирова над железной дорогой Самара – Тольятти и Казачий переезд над железной дорогой Самара – Сызрань).

Таблица 3

### Качество автомобильных эстакад г. Самары

Автомобильная эстакада	Фото	Дополнительное движение	Качество дорожного полотна	Качество бордюрного камня	Наличие металлического отбойника
1. Заводское шоссе / пр. Кирова, эстакада над пр. Кирова		Нет	Неудовлетворительное	Удовлетворительное	Нет
2. Проспект Кирова, эстакада над ж/д Самара-Тольятти		Троллейбусная сеть	Неудовлетворительное	Удовлетворительное	Нет
3. Улица Авроры, эстакада над ж/д Самара-Тольятти		Нет	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Есть
4. Зубчаниновское шоссе, эстакада над ж/д Самара-Тольятти		Нет	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Есть
5. Улица Земеца, эстакада над ж/д Самара-Тольятти		Трамвайная сеть	Неудовлетворительное	Неудовлетворительное	Нет
6. Улица Грозненская, эстакада над ж/д Самара-Сызрань		Нет	Неудовлетворительное	Неудовлетворительное	Нет
7. Аэропортовское шоссе / Смышляевское шоссе, эстакада над ж/д		Нет	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Нет
8. Улица XXII Партсъезда / ул. Рыльская, эстакада над ж/д Самара-Тольятти		Трамвайная сеть	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Нет
9. Ракитовское шоссе, эстакада над ж/д Самара-Тольятти		Нет	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Нет
10. Казачий переjazd (Шоссейная ул. - Кряжское шоссе, эстакада над ж/д Самара-Сызрань)		Троллейбусная сеть	Неудовлетворительное	Удовлетворительное	Нет

**Вывод.** В результате анализа мостов и эстакад г. Самары выяснилось, что состояние большинства самарских мостов является неудовлетворительным. Об этом свидетельствует низкое качество дорожного полотна, отсутствие архитектурной выразительности мостов и недостаточное внедрение современных технологий мирового мостостроения. Тем не менее зарубежный опыт и примеры новейших мостов России позволяют нам понять, к чему следует стремиться в дальнейшем развитии транспортной сети г. Самары в области модернизации старых и строительства новых мостов. Современный мост в системе городской застройки должен гармонировать с ней, дополнять и обогащая ее, содержать передовые технологии в своей конструкции, сочетать несколько функций помимо обязательного разделения транс-

портных потоков, а также разделения пешеходной и велосипедной зоны, стремиться к многофункциональности и архитектурной выразительности, быть украшением города, благотворно влияющим на формирование городской застройки [12-16].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Филанова Т.В., Хуснутдинова А.А., Зорина А.А. Исследование влияния внедрения новой транспортной системы на город и горожан // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн: сборник статей. Самара: СамГТУ, 2017. С. 176-180.
2. Мельникова В.М., Филанова Т.В., Мацкевич К.П., Корякина П.Ю., Никонов К.Е. Тольятти: перспективы развития. Результаты научно-исследовательской рабо-

ты «Социологические исследования»: монография. Самара, 2016. 68 с.

3. Пунин А. Л. Архитектура отечественных мостов. М., 1982. 152 с.

4. Покка Е. В. Полифункциональность пешеходных мостов в рекреационной системе города // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2009. № 1 (11). С. 17-24.

5. Плотникова Н. И. «Обитаемые» мосты. Роль и место в историческом формировании городского контекста [Электронный ресурс]: МАРХИ, 2006. Режим доступа : <http://www.marhi.ru/АМІТ/2009/2kvart09/Plotnikova/Article.php>, свободный (дата обращения: 16.10.2018).

6. Золотой мост Понте Веккьо во Флоренции [Электронный ресурс] 2013. Режим доступа : <http://udivitelno.com/doma/item/545-golden-bridge-ponte-vecchio>, свободный (дата обращения: 16.10.2018).

7. Жариков Д. Кельн. Мост Гогенцоллернов [Электронный ресурс] 2011. Режим доступа: <https://dmitryzharikov.livejournal.com/23721.html>, свободный (дата обращения: 16.10.2018).

8. Мост «Золотые Ворота» [Электронный ресурс] 2013. Режим доступа: [http://prousa.info/golden\\_gate](http://prousa.info/golden_gate), свободный (дата обращения: 16.10.2018).

9. Грандиозные сооружения человечества. Наклоняемый мост Миллениум (Гейтсхед) [Электронный ресурс] 2011. Режим доступа: <http://grandstroy.blogspot.ru/2011/07/blog-post.html>, свободный (дата обращения: 16.10.2018).

10. «Арфа Давида» в Иерусалиме [Электронный ресурс] 2011. Режим доступа: <http://lifeglobe.net/entry/1240>, свободный (дата обращения: 16.10.2018).

11. Строительство мостового перехода на остров Русский через пролив Босфор Восточный во Владивостоке. Описание проекта [Электронный ресурс] 2008. Режим доступа: <http://rusmost.ru/about/>, свободный (дата обращения: 16.10.2018).

Об авторах:

#### **КОСЕНКОВА Елизавета Владимировна**

студентка IV курса кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия

Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел.(846)333-38-44

E-mail: elizavetkos@mail.ru

#### **ЛИТВИНОВ Денис Владимирович**

кандидат архитектуры, профессор кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия

Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел.(846)333-38-44

E-mail: litvinov-dv@mail.ru

12. Ахмедова Е.А. Эстетика архитектуры и дизайна / СГАСУ. Самара, 2007. 436 с.

13. Каракова Т., Колесников С., Радурова Я. Дизайн-проектирование пешеходного моста в городской среде / LAP Lambert Academic Publishing. Saarbrücken, 2015.

14. Колесников С.А. Композиционно-планировочные признаки пешеходного моста как объекта пространственного преодоления // Градостроительство и архитектура. 2011. № 1. С. 21-23.

15. Каракова Т.В., Колесников С.А. Пешеходный мост в городской среде. Самара, 2009. 82 с.

16. Терягова А.Н. Безбарьерная городская среда. Основы архитектурно-градостроительного проектирования / СГАСУ. Самара, 2010. 154 с.

#### **KOSENKOVA Elizaveta V.**

Student of the 4th year of the Faculty of Architecture Samara State Technical University

Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,

Tel. (846) 333-38-44

E-mail: elizavetkos@mail.ru

#### **LITVINOV Denis V.**

PhD in Architecture, Professor of the Restoration and Reconstruction of the Architectural Heritage Chair

Samara State Technical University

Academy of Architecture and Civil Engineering

443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 333-38-44

E-mail: elizavetkos@mail.ru

Для цитирования: Косенкова Е.В., Литвинов Д.В. Архитектурно-планировочные принципы реконструкции городских мостов // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 85-92. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.17.

For citation: Kosenkova E.V., Litvinov D.V. Architectural planning principles of urban bridges reconstruction // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 85-92. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.17.

Н. А. КОСЕНКОВА  
А. А. СЕРОВА

## ВОЗДЕЙСТВИЕ АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА КУЛЬТОВЫЕ ОБЪЕКТЫ САМАРЫ

THE IMPACT OF ARCHITECTURAL AND HISTORICAL ENVIRONMENT ON RELIGIOUS OBJECTS  
OF SAMARA

*Целью статьи является выявление воздействия системы идентификаторов архитектурно-исторической среды на культовую архитектуру Самары по рассмотренным и выявленным историческим этапам развития города. Показано, что вследствие особо стремительно развивающихся городов современности, в том числе и исторических, историческое наследие первым попадает под угрозу полного или частичного исчезновения. Отсюда становится очевидным сохранение наследия городов и сохранение идентичности исторического города. В результате был определен типичный образ самарской культовой архитектуры на всем пути ее развития, установлены характерные типы, стили, воздействия внешнего и внутреннего этноса, а также определены производительные силы, являющиеся основой развития города Самары на каждом историческом периоде.*

**Ключевые слова:** городская идентичность, образ города, культовые объекты, многоконфессиональность, идентификаторы архитектурно-исторической среды

Города – это особые системы, стремительно развивающиеся. Ни один исторический город не сохранил полностью свой первоначальный облик. Подобно живому организму, город постоянно растет и формируется вслед за развитием общества.

Исторический город отражает ценности, которые общество стремится сохранить, поскольку они хранят коллективное сознание, «устанавливают связь времен и оберегают традиции» [1]. Сохранение архитектурно-исторической среды важно по ряду показателей: сохранение коллективной памяти городских жителей, охрана художественных и эстетических, архитектурных достоинств, охрана местных достопримечательностей и значимых мест. Кроме того, подобная «охрана памятников одновременно обращена как в прошлое, так и в будущее» [2].

Современная система охраны исторических памятников не всегда способна выполнить свою функцию в полной степени. Однако несвоевременное выполнение мер по защите и охране наследия нарушает целостность и может привести к утрате исторической, социальной, архитектурно-художественной ценности городов.

В Самаре, как и в любом другом городе России, на архитектурно-историческое наследие влияет

*The purpose of the article is to identify the impact of the system of identifiers of the architectural and historical environment on the religious architecture of Samara on the considered and identified historical stages of the development of the city. It is shown that due to the particularly rapidly developing cities of our time, including historical ones, the historical heritage is the first to be in danger of complete or partial extinction. From here it becomes apparent the preservation of the heritage of cities and the preservation of the identity of the historical city. As a result, a typical image of the Samara religious architecture was determined throughout its development, characteristic types, styles, influences of external and internal ethnoses were established, and productive forces were identified, which are the basis for the development of the city of Samara at each historical period.*

**Keywords:** urban identity, city image, religious objects, multi-confessional, identifiers of the architectural and historical environment

культурное разнообразие, а также существующая связь между природными и культурными особенностями. Самара может и должна повысить свой статус и роль исторического города как центра художественного и творческого совершенства.

Для выявления уникальных качеств городской среды было проведено исследование самарских культовых объектов. Факторы, повлиявшие на создание архитектурно-исторической среды города, можно отразить в системе следующих идентификаторов [3] (см. рисунок): архитектурно-историческом, этнографическом, ментальном.

**Архитектурно-исторический идентификатор.** Образ города формируют в первую очередь усадьбы и жилые дома как преобладающие в ряду застройки. Затем наиболее выразительными являются храмы и монастыри.

Архитектурно-исторический идентификатор определяется узнаваемостью и своеобразием застройки города. Рассмотрим некоторые из культовых зданий. Наиболее характерными храмами на каждом историческом этапе для Самары являются следующие объекты. *На первом периоде «Древняя Самара (1586-1705 гг.)* – это старейшая Спасо-Преоб-

раженская церковь (1685 г.), которая до настоящего времени не сохранилась, но известна по описаниям и архивным данным. Это была каменная однокупольная церковь с колокольней. Располагалась она на территории Спасо-Преображенского женского монастыря. В 1952-1953 гг., во время строительства завода клапанов, старейшая самарская церковь была утрачена. Рассматриваемый объект относится к архитектурно-историческому идентификатору [4].

**Во второй период исторического развития «Дерегулярная Самара» (1706-1780 гг.)** основным культовым объектом стал *Собор Казанской иконы Божией Матери* (1744 г.). Исследуемый Казанский собор представляет собой кирпичный храм типа восьмерик на четверике с северным Никольским приделом. В третьей четверти XIX в. его перестроили в духе позднего классицизма с чертами эклектики, а также соорудили колокольню (1859-1860 гг.) и южный Сретенский придел (1864-1867 гг.). В 1920-х гг. собор был закрыт, снова перестроен и окончательно снесен в 1950-х гг. На сегодняшний день на месте разрушенного собора находился завод клапанов. Собор Казанской иконы Божией Матери – главный культовый объект города XVII – первой половины XIX вв. Данный объект относится к архитектурно-историческому идентификатору [5].

**Третий период исторического развития «Уездная (регулярная) Самара» (1781-1850 гг.)**. К объектам архитектурно-исторического идентификатора данного этапа относится Церковь Троицы и Спасо-Вознесенский Собор. *Церковь Троицы* (1840-1844 гг.) – однокупольный храм с колокольней в классицистическом стиле [6, с. 121]. Изначально церковь располагалась на Татарской (Троицкой) улице, ныне современной улице Галактионовской. Но в 1930 г. Троицкая церковь была разрушена, и теперь на ее месте находится сквер Высоцкого [7].

*Спасо-Вознесенский Собор* (1841-1848 гг.) – кирпичный однокупольный четырехстолпный храм с колокольней в стиле позднего классицизма. Боковые приделы Алексия Митрополита (до революции – Михаила Архангела) и великомученика Пантелеймона и Павла Комельского. Адрес расположения собора – ул. Степана Разина, 78. В 1930 г. Спасо-Вознесенский Собор был закрыт, а его здание использовалось в складских целях. В 1993 г. здание культового назначения XIX в. было возвращено церкви и впоследствии отреставрировано [6, с. 50-56].

**Четвертый период исторического развития «Губернская (регулярная) Самара» (1851-1917 гг.)**. Данный этап «Губернской Самары» является особо ярким. К архитектурно-историческому идентификатору, как к самому образному и выразительному, относится *Иверский женский монастырь* (1850-1880 гг.).

Покровский собор (1861 г.) спроектирован Эрнестом Ивановичем Жибером, выполнен в стиле московского храмового зодчества XVII в. Он имеет традиционное русское пятиглавие с шатровой коло-

кольней над входом, и его вместимость составляет до 2000 человек. В архивных документах начала XX столетия указано, что храм был покрыт белой английской жемчужной краской, а его наружные стены украшала живописная роспись. Уникальный факт существования данного храма заключается в том, что Покровский собор – это единственный культовый объект из 55 самарских соборов, выполняющий свою функцию как в 20-30-е гг. XX в., так и в период с 1938 по 1946 гг. [8, 9].

*Церковь Мариинского детского приюта для девочек-сирот (Марфо-Мариинская обитель)*, архитектором которой является А.А. Щербачев, возводилась с 1896 по 1898 гг. и была освящена 15 ноября 1898 г. в честь великомучениц Веры, Надежды, Любви и матери их Софии, а также в честь Святого Николая Мирликийского. В советское время в 1929 г. приют был закрыт и претерпел изменения как во внешнем облике, так и в архитектурно-планировочной структуре. Купол и колокольня храма подверглись разрушению. Внутреннее пространство было разделено перекрытием. Впоследствии внутри этого объекта была размещена экспозиция музея Революции. Согласно постановлению Администрации Самарской области от 22 ноября 1991 г., здание церкви было вновь передано Самарской Епархии. В настоящее время здание церкви Мариинского приюта является памятником архитектуры регионального значения [10].

**Этнографический идентификатор** является отражением многонациональности городской застройки. Этнос – определяющий фактор в сознании человека и в его восприятии окружающего пространства и среды. Архитектурные объекты города несут в себе черты русской, малоросской, татарской, мордовской, чувашской, немецкой культур.

Подобным примером может служить церковь *Успения Богородицы* (1913 г.) архитектора А.А. Волошина, которая на данный этап времени не сохранилась [11, с. 22]. Это двухэтажная деревянная церковь с небольшой колокольней, на первом этаже которой размещалась богадельня. Четверик и притвор завершались бочками с небольшими луковичными главками с крестами. В 1929 г. церковь Успения Богородицы была закрыта, а в ее здании стали размещаться механические мастерские. В конце 1960-х гг. здание деревянной церкви было снесено. На сегодняшний день на ее месте на пересечении улиц Молодогвардейской и Маяковского возвышается многоэтажный жилой дом [12].

*Евангелическо-лютеранский храм Святого Георга* (1863 г.) – старейшая кирха в Поволжье, которая была построена на средства самарского купца первой гильдии Егора Никитича Аннаева, по своему исполнению являющегося католиком. После Октябрьской Революции 1917 г. кирха продолжала работать вплоть до 5 января 1930 г., когда по постановлению горисполкома храм закрыли, а некоторых прихожан арестовали. После этого здание использовали для собраний «Союза безбожников», а в дальнейшем

помещения кирхи эксплуатировались в складских целях. В 1991 г. Евангелическо-лютеранский храм Святого Георга снова возвращен верующим [13].

*Храм Пресвятого Сердца Иисуса* (1903 г.) – это уникальный культовый объект, спроектированный Ф.О. Богдановичем и выполненный в стиле неоготической архитектуры. Храм трехнефный, имеет форму креста, с поперечным трансептом. Фасад украшен пинаклями. Высота башен составляет 47 м. В первоначальном виде католический костел был богато украшен, а до 1913 г. внутри здания располагался орган.

Освящение храма состоялось 12 февраля 1906 г. Храм Пресвятого Сердца Иисуса действовал до 20-х гг. XX в. В 30-х гг. храм был закрыт и разграблен. В военное время в рассматриваемом объекте этнографического характера размещался Самарский краеведческий музей. И уже в 1991 г. храм снова возвращен верующим [14].

*Хоральная синагога* (1908 г.) построена и спроектирована архитектором Губернского Правления З.В. Клейнерманом в псевдомавританском стиле. Здание в плане имеет прямоугольник, имитирует ковчег и расчленено на три нефа – центральный выше боковых. На центральном нефе – купол и изображение шестиконечной звезды. На здании находилась памятная доска с именами тех, кто помог в строительстве синагоги: архитектор Зельман Клейнерман, его помощник студент института Путей Сообщения Р. Маргулис и те, кто профинансировал строительство. Финансовую поддержку оказали и русские купцы и ремесленники, что говорит о благоприятном национальном климате в городе во времена советской власти. В 1929 г. синагога была закрыта, сначала в ней размещался Дворец культуры, а затем – хлебозавод [15].

**Ментальный идентификатор** отражает купеческий менталитет города Самары, сформировавшийся в регионе к XIX в. Основу населения составляла купеческая гильдия, занятая в торговле.

К ментальному идентификатору четвертого исторического периода относится: *Церковь Святых апостолов Петра и Павла* (1865 г.), ныне существующая. Сначала была заложена в феврале 1863 г. однопредельная приходская церковь на окраине Самары. Купец Андрей Наумович Головачев являлся благотворителем. В 1866 г. при храме была открыта церковно-приходская школа на 60 мальчиков. Через 20 лет, в 1882-1884 гг., церковь была перестроена на средства купца Василия Андреевича Головачева, сына первого благотворителя храма – А.Н. Головачева. К храму достроили боковые приделы, которые располагались возле колокольни и трапезной симметрично друг другу.

В 30-х гг. XX в. во время кампании по ликвидации культовых построек несколько раз ставился вопрос о закрытии Петропавловской церкви. В 1939 г. церковь Петра и Павла все же была закрыта. Здание сначала использовали под военный склад, а затем под конюшни. Но уже в конце Великой Отечествен-

ной войны храм был возвращен верующим. Его капитально отремонтировали, заново расписали внутри и оборудовали той утварью, что уцелела от других разрушенных храмов.

В конце XIX в. Петропавловскую церковь перестроил архитектор А.А. Щербачев в неорусском стиле. Две шатровые главки увенчивали объем церкви и колокольни. Фасады церкви были оштукатурены и побелены. Первоначальные размеры составляли 9 x 17 м [16].

*Храм в честь Казанской иконы Божией Матери* (1899 г.) построен в честь Казанской иконы Божией Матери при богадельне им. Александра Третьего. В советское время храм был закрыт, и впоследствии в нем размещались разные объекты [17].

*Церковь Михаила Архангела* (1915 г.). Для строительства молеального дома в 1908 г. самарский купец В. М. Суорошников купил участок земли у главной площади поселка Шмидта (ранее поселок Новый Оренбург). 15 января 1909 г. состоялось открытие деревянного на каменном фундаменте молеального дома на 500 человек, который был освящен во имя Архангела Михаила. Эта маленькая деревянная церковь не могла вместить всех желающих. Поэтому местные жители решили построить каменный храм. Церковный староста обратился за помощью к Василию Федоровичу Пустошкину (благотелю и известному строителю храмов), и он пожертвовал на постройку храма 30 тыс. рублей. Для внутреннего убранства храма Екатерина Ивановна Иванова пожертвовала 40 тыс. рублей.

13 ноября 1915 г. храм был торжественно освящен во имя Рождества Пресвятой Богородицы. На это событие собралось множество народа. Освящение произвел Экзарх Грузии архиепископ Питирим, прибывший накануне в Самару, в сослужении с Михаилом, епископом Самарским и Ставропольским. Чуть позже торжественно освятили архиерейскими служениями предельные алтари храма: левый – во имя святого Василия Исповедника, правый – во имя Архистратига Божия Михаила. Эта церковь стала последней, построенной в Самаре и ее окрестностях до Октябрьской революции 1917 г. 17 сентября 1929 г. по решению Президиума Самарского Горсовета церковь Рождества Пресвятой Богородицы была закрыта и передана ГорОНО для эксплуатации школой. С этого периода вплоть до 1991 г. в храме Михаила Архангела функционировали разные организации: сначала клуб железнодорожников, во время Великой Отечественной войны эвакогоспиталь, в 1947 г. – эпидемиологическая больница дорсанотдела. Затем в здании находился спортивный зал, во времена перестройки – кооператив «Эврика» по изготовлению памятников. 7 марта 1991 г. было принято решение о передаче «в безвозмездное пользование здания бывшей церкви (ул. Новгородская, 1) религиозному обществу Русской православной церкви в поселке Шмидта города Самары...» [18].

**Пятый период исторического развития «Самара эпохи конструктивизма» (1917-1930 гг.) и ше-**

ИДЕНТИФИКАТОРЫ	АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ	ЭТНОГРАФИЧЕСКИЙ	МЕНТАЛЬНЫЙ
<p><b>«ДРЕВНЯЯ САМАРА»</b> (1586–1705 гг.)</p>	 <p>Церковь Знака Проворова, 1685 г.</p>		
<p><b>«ДОРЕГУЛЯРНАЯ САМАРА»</b> (1706–1780 гг.)</p>	 <p>Собор Казанской иконы Божией Матери, 1744 г.</p>		
<p><b>«УЕЗДНАЯ (РЕГУЛЯРНАЯ) САМАРА»</b> (1781–1850 гг.)</p>	 <p>Церковь Истинной Троицы, 1829 г.</p>  <p>Церковь Троицы, 1840–1844 гг.</p>  <p>Свято-Васильевский собор, 1841–1847 гг.</p>		
<p><b>«ГУБЕРНСКАЯ (РЕГУЛЯРНАЯ) САМАРА»</b> (1851–1917 гг.)</p>	 <p>Имперский женский монастырь, 1850–1880 гг.</p>  <p>Пороховский собор, 1861 г.</p>  <p>Церковь Марии Магдалены претита, 1896–1898 гг.</p>	 <p>Петровский храм Св. Георгия, 1860–1875 гг.</p>  <p>Храм Пресвятого Спирита Иисуса, 1903 г.</p>  <p>Храмовый собор, 1906 г.</p>	 <p>Церковь Св. апостолов Петра и Павла, 1905 г.</p>  <p>Церковь Казанской Божией Матери, 1909 г.</p>  <p>Церковь Меланги Архангела, 1915 г.</p>
<p><b>«САМАРА ЭПОХ КОНСТРУКТИВИЗМА»</b> (1917–1930 гг.)</p>	<p>Период повсеместной ликвидации культовых объектов и гонения церковнослужителей</p>		
<p><b>«САМАРА СТАЛИНСКОЙ ЭПОХИ»</b> (1930–1950 гг.)</p>	<p>Период повсеместной ликвидации культовых объектов и гонения церковнослужителей</p>		
<p><b>«СОВРЕМЕННАЯ САМАРА»</b> (с 1951 г. до настоящего времени)</p>	 <p>Собор Св. Кирилла и Илариона, 1994–2000 гг.</p>  <p>Храм Св. Георгия Победоносца, 1999 г.</p>  <p>Храм Рождества Пресв. Богородицы, 2003 г.</p>	 <p>Соборная мечеть, 1990–1995 гг.</p>  <p>Армянская церковь Св. Креста, 1998 г.</p>	 <p>Храм Св. Николая Чудотворца, 2004–2008 гг.</p>  <p>Храм в честь иконы «Державица», 2009 г.</p>  <p>Благовещенский собор, 2014 г.</p>

стой – «Самара сталинской эпохи» (1930–1950 гг.) находились под знаком повсеместного отказа советской власти от религиозного прошлого. Появился лозунг «Религия – опиум для народа». Происходит повсеместная ликвидация культовых объектов на территории города Самары и области (в то время города Куйбышева и Куйбышевской области). Именно в годы Великой Отечественной войны город получил высокое политическое и стратегическое значение. Поэтому новых храмов не было построено, старые же практически все были закрыты.

**Седьмой этап исторического развития** – «Современная Самара» (с 1951 г. до настоящего времени). Иллюстрацией архитектурно-исторического идентификатора данного периода служит *Собор Святых Кирилла и Мефодия* (1994 – 2004 гг.), спроектированный архитекторами В.А. Самогоровым, В.А. Пастушенко. Стиль здания можно назвать неоклассическим. Высота собора с крестом 57 м, колокольня высотой более 70 м. Вместимость храма до 3000 человек. Храм построен по типичной схеме – четырехстолпный пятикупольный с полукруглым алтарем, боковыми четырехколонными портиками и четырехъярусной колокольней с шатром [19].

*Храм Святого Георгия* (2002 г.). Архитектор Ю.И. Харитонов. Храм выполнен в неовизантийском стиле – симметричный, пятиглавый, высота колокольни 30 м [20]. *Храм Рождества Пресвятой Богородицы* (2002 г.), расположен по адресу: ул. Мичурина, 98-А. Архитектор Е.Ю. Астахов. Храм построен самарским заводом авиационных подшипников (директор В. К. Ершов). Представляет собой пятишатровый храм в русско-византийском стиле со звонницей [21]. Этнографический идентификатор седьмого исторического периода характеризуется *Соборной мечетью города Самары* (1999 г.), расположена на пересечении ул. Стара-Загора и 22-го Партсъезда. Архитектор Р. М. Вальшин. Мечеть представляет собой типичный объем – параллелепипед 21,6×57,60 м с минаретом высотой 67 м, диаметр купола 13,5 м. Площадь постройки 1200 кв. м. Общая площадь комплекса 4800 кв. м, мечеть рассчитана на 5000 человек [21].

Этнографический идентификатор представлен также армянской церковью – *Армянская Апостольская церковь* (2003 г.), архитектор В. Мкртчян. Расположена по адресу: ул. Ново-Садовая, 154Б. Средства на возведение храма были получены от администрации Самарской области, предпринимателя Артура Мартиросяна. Храм содержит символ армянской религии – каменные кресты-хачкары, символизирующие крест и древо жизни. Рядом установлен Памятник жертвам геноцида армян 1915 г. и землетрясения в Армении 1988 г. [22].

Ментальный идентификатор седьмого исторического периода представлен *храмом Святой мученицы Татианы* (2004 – 2010 гг.), расположен по адресу: ул. Академика Павлова, 1. Архитекторы А. И. Баран-

ников, Т.И. Рычкова. Применен неорусский стиль. На звоннице поставлены одиннадцать колоколов, отлитых на Самарском колоколотейном заводе. Высота храма – около 30 м [23].

*Церковь в честь иконы «Державная»* (2009 г.) расположена по адресу: ул. Фрунзе, 15. Проект выполнен архитектором Ю.Е. Астаховым. Это однопрестольный кирпичный храм, стиль русско-византийский, план имеет крестообразную форму [24].

К седьмому историческому периоду ментального идентификатора относится *Храм Благовещения Пресвятой Богородицы* (2012 – 2014 гг.). Проект выполнен архитекторами А.И. Баранниковым, В.В. Святкиным. Церковь расположена по адресу: Московское шоссе, 272. Представляет собой четырехстолпный пятикупольный объем; притвор со стороны запада, полукруглая апсида. Выполнен храм в неорусском стиле [25].

**Вывод.** Таким образом, можно на конкретных примерах рассмотреть формирование культовых сооружений города Самары в зависимости от воздействия типичных идентификаторов архитектурно-исторической среды. Выявленные исторические периоды развития Самары также являются необходимыми факторами, воздействующими на культовое зодчество города. Храмы, сложившиеся в результате взаимодействия идентификаторов и исторических периодов развития Самары, являются важнейшими определяющими символами города. Выявленные особенности культовых зданий могут быть полезны при новом проектировании зданий с религиозной функцией. Данные идентификаторы позволяют улучшить понимание и значение исторического наследия Самары. Для применения в научно-проектной деятельности также могут быть использованы идентификаторы архитектурно-исторического наследия.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бандарин Ф, Рон Ван Оерс. Исторический городской ландшафт: Управление наследием в эпоху урбанизма. Казань: Отечество, 2013. 256 с.
2. Вавилонская Т.В. Эволюция парадигмы международной охраны наследия // Материалы V Международной научно-практ. конф. «Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация». Казань: КГАСУ, 2017. С. 94–100.
3. Косенкова Н.А., Серова А.А. Теоретические аспекты городской идентичности // Материалы V Международной научно-практ. конф. «Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация». Казань: КГАСУ, 2017. С. 162–167.
4. Пять самарских церквей, которые мы никогда не увидим [Электронный ресурс] // СамКульт. Область культуры: сайт. URL: <http://samcult.ru/heritage/1580> (дата обращения: 07.03.2018).
5. Собор Иконы Божией Матери Казанская в Самаре [Электронный ресурс] // Храмы России: сайт. URL: <http://temples.ru/card.php?ID=13756> (дата обращения: 07.03.2018).

6. Зубова О.В., Мельникова Н.В., Радченко О.И., Бочков В.А., Подмарцин А.Г. Православные святые Самарского края: историко-церковная энциклопедия. Самара, 2001. 207 с.

7. Троицкая церковь в Самаре [Электронный ресурс] // История России в фотографиях: сайт. URL: <http://russiainphoto.ru> (дата обращения: 07.03.2018).

8. Описание Покровского собора в Самаре [Электронный ресурс] // Palomniki.su: сайт. URL: <http://palomniki.su/countries/ru/g19/samara/pokrovsky-sobor.htm> (дата обращения: 07.03.2018).

9. Кафедральный собор в честь Покрова Божией Матери [Электронный ресурс] // Официальный сайт Самарской Епархии: сайт. URL: <http://samepar.ru/hramy/khramy/khram-kafedralnyy-sobor-v-chest-pokrova-bozhiey-materi/> (дата обращения: 09.03.2018).

10. Самогоров В.А., Иванов М.О. Архитектура Александра и Петра Щербачевых в Самаре. Книга I. Архитектор Александр Щербачев. Т. 1: монография. Самара: СГАСУ, 2014. 400 с.

11. Половинкин П.В., Кожевникова М.В. Старообрядчество Самарского края. История и культура. Самара: Агни, 2007. 32 с.

12. Церковь Успения Пресвятой Богородицы в Самаре [Электронный ресурс] // Храмы России: сайт. URL: <http://temples.ru/card.php?ID=24116> (дата обращения: 09.03.2018).

13. Каркарьян В.Г. По улицам старой Самары. Куйбышев: Кн. изд-во, 1988. 80 с.

14. Самара губернская. 160 лет в зеркале архитектуры. Самара: Книга, 2011. 208 с.

15. Храм во имя апостолов Петра и Павла [Электронный ресурс] // Официальный сайт Самарской Епархии: Храмы России: сайт. URL: <http://samepar.ru/hramy/khramy/khram-vo-imya-apostolov-petra-i-pavla/> (дата обращения: 09.03.2018).

16. Храм в честь Казанской иконы Божией матери [Электронный ресурс] // Официальный сайт Самарской Епархии: Храмы России: сайт. URL: <http://samepar.ru/hramy/khramy/khram-v-chest-kazanskoj-ikony/> (дата обращения: 09.03.2018).

hramy/khramy/khram-v-chest-kazanskoj-ikony/ (дата обращения: 09.03.2018).

17. Храм в честь Архангела Михаила [Электронный ресурс] // Официальный сайт Самарской Епархии: Храмы России: сайт. URL: <http://samara-arhmihail.cerkov.ru/> (дата обращения: 09.03.2018).

18. Жоголев А. Е., Горбачева Т., Круглова О. Самарское Безьянское благочиние. Самара, 2010. 67 с.

19. Центральное духовное управление мусульман России [Электронный ресурс] // Соборная мечеть г. Самара. сайт. URL: <http://www.cdum.ru/rdum/mufti/d/3322/> (дата обращения: 09.03.2018).

20. Клуб «Мои путешествия» [Электронный ресурс] Армянская апостольская церковь Сурб Хач // сайт URL: <http://my-travels.club/places/rossiya/samarskaya-oblast/samara/armyanskaya-apostolskaya-tserkov-surb-hach.html/> (дата обращения: 09.03.2018).

21. Жоголев А. Е., Горбачева Т., Круглова О. Самарское Безьянское благочиние. Самара, 2010. 67 с.

22. Клуб «Мои путешествия» [Электронный ресурс] Храм в честь иконы Божьей Матери «Державная» // сайт URL: <https://www.rutraveller.ru/place/61772/> (дата обращения: 09.03.2018).

23. Храмы России [Электронный ресурс] Церковь Благовещения Пресвятой Богородицы // сайт URL: <http://temples.ru/card.php?ID=21386> (дата обращения: 09.03.2018).

24. Вавилонская Т.В., Косенкова Н. Городская идентичность архитектурно-исторической среды Самарского Поволжья // Материалы IV Международной научно-практ. конф. «Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация». Казань: КазГАСУ, 2016. С. 49–55.

25. Вавилонская Т.В. Стратегия обновления архитектурно-исторической среды: монография/ СГАСУ. Самара. 2008. 368 с.

Об авторах:

#### **КОСЕНКОВА Наталья Алексеевна**

кандидат архитектуры, доцент кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (927) 607-31-53  
E-mail: kosenkovana@mail.ru

#### **СЕРОВА Алина Алексеевна**

магистрант кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (909) 344-72-59  
E-mail: alina\_a.s@mail.ru

#### **KOSENKOVA Natalya A.**

PhD in Architecture, Associate Professor of the Restoration and Reconstruction of Architectural Heritage Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (927) 607-31-53  
E-mail: kosenkovana@mail.ru

#### **SEROVA Alina A.**

Master's Degree Student of the Faculty of Architecture Samara State Technical University Academy of Architecture and civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (909) 344-72-59  
E-mail: alina\_a.s@mail.ru

Для цитирования: Косенкова Н.А., Серова А.А. Воздействие архитектурно-исторической среды на культовые объекты Самары // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 93-98. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.18.

For citation: Kosenkova N.A., Serova A.A. The impact of architectural and historical environment on religious objects of Samara // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, №3. Pp. 93-98. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.18.

**Н. А. ОРЛОВА  
Д. Н. ОРЛОВ  
В. В. МОЛЧАНОВА**

## **СРЕДОВОЙ ТУРИЗМ. ФРАГМЕНТЫ ЦЕЛОСТНОЙ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ КАК ОБЪЕКТ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ**

**ENVIRONMENTAL TOURISM. FRAGMENTS OF THE WHOLE HISTORICAL DEVELOPMENT AS AN OBJECT OF TOURIST ATTRACTION**

*В работе определены следующие задачи: сформулировано определение «средовой туризм»; показаны возможности и перспективы развития средового туризма; выявлены территории ценной застройки; показаны участки, наиболее отчетливо формирующие образ города; определены туристические маршруты; разработаны принципы и приемы культурно-развлекательной организации зон. Цель данного исследования – фиксация сохранившихся до нашего времени участков городской ткани с устойчивым морфотипом застройки. Дано краткое обосновывающее описание этого морфотипа и показан общий подход к средовому туризму как к комплексному мероприятию. Предложенный подход потенциально может повысить туристическую привлекательность города для иногородних и иностранных туристов, а также способствовать сохранению исторического наследия в его наиболее уязвимой составляющей – ценной фоновой застройки. Такая активность способна стимулировать развитие бизнеса и инвестиционной привлекательности исторического города.*

**Ключевые слова:** *средовой туризм, достопримечательности, морфотип, каменно-деревянная застройка, массовая застройка, туристические маршруты*

На основании опыта, приобретенного в период проведения чемпионата мира по футболу 2018 г., в российском обществе отчетливо сформировалось понимание важности привлечения туристов – как внутренних, так и зарубежных. Развернулась активная и плодотворная дискуссия о том, что может в нашей стране привлечь туристов. Один из таких вариантов предлагается в данной работе. То, что для местных жителей кажется заурядным и обыденным, для человека постороннего может стать потрясающей экзотикой. В современном постиндустриальном обществе все более важное значение приобретает индустрия досуга, растет интерес к истории и культуре, к изучению региональных особенностей. В таких условиях необходимо максимально консолидировать все элементы

*In the course of this work, the following tasks were identified: 1) the formulation of the definition of “environmental tourism”; 2) identification of opportunities and prospects for the development of environmental tourism with the help of additional efforts (saturation of infrastructure, scenery, changing architectural and landscape organization, entertainment programs, etc.); 3) identification of areas of valuable development; 4) identification of areas that most clearly form the image of the city; 5) identification of tourist routes; 6) development of principles and techniques of cultural and entertainment organization of zones. In this work, we set as our goal the fixation of sections of urban fabric that have survived to our time with a stable morphotype of building up. We give a brief justifying description of this morphotype and show the general approach to environmental tourism as a complex event. Issues of detailed routing, economic calculations and legal justification are beyond the scope of this work. The proposed approach can potentially both increase the tourist attractiveness of the city for nonresident and foreign tourists, and will contribute to the preservation of the historical heritage in its most vulnerable component - a valuable background building. Such activity can stimulate the development of business and investment attractiveness of the historic city.*

**Keywords:** *Environmental tourism, attractions, morphotype, stone and wood buildings, mass construction, tourist routes*

и феномены, способные привлечь туристическое внимание, в каждом регионе. Городская среда, понимаемая как целостный культурный феномен, обусловленный единством времени и места возникновения, при условии его сохранности может стать важным новым ресурсом туристической привлекательности.

В традиционной практике формирования туристических маршрутов до сих пор доминирует объектный подход. Выразительность, способная максимально погрузить зрителя в атмосферу исторического города определенной эпохи, интерес познания живой воплощенной истории до сих пор не учитываются в достаточной степени. Потенциал и капитал исторического города-текста все еще не востребованы в должной мере.

В ходе данной работы были определены следующие задачи: 1) формулирование определения «средовой туризм»; 2) выявление возможности и перспективы развития средового туризма с помощью дополнительных усилий (насыщение инфраструктуры, декорации, изменение архитектурно-ландшафтной организации, развлекательные программы и др.); 3) выявление ценной застройки; 4) выявление участков для формирования туристических зон, слагающих образ города; 5) определение туристических маршрутов; 6) разработка принципов и приемов культурно-развлекательной организации зон.

В данной работе мы хотим изменить взгляд на обычное понимание туризма в нашем городе. Ведь изначально туризм представляют как экскурсию по отдельно стоящим памятникам. Мы предлагаем рассмотреть на примере города Самары – как дополнительными усилиями можно сформировать туристическую зону и маршрут, сохранив историю города, архитектуру разных времен, сделать на ней акцент. А также мы предлагаем ввести понятие «средовой туризм» и дать ему определение.

**Средовой туризм** – это подход к формированию туристических маршрутов, когда источником туристической привлекательности становятся комплексные характеристики сложившейся среды, такие как: высокая сохранность аутентичной исторической среды; высокое качество реконструированных мероприятий, сохраняющих и развивающих сложившийся морфотип; специально проводимое мероприятие по дополнительному повышению выразительности среды.

Самарский регион обладает большим потенциалом, но согласно статистике о заполняемости крупных гостиниц и санаториев посещаемость города иногородними и иностранными жителями невелика. Что говорит о невостребованности туризма в Самаре [1].

Ценность сохранившихся исторических фрагментов города пока не осознается в качестве капитала, который можно монетизировать. На фоне того, что в других городах занимаются сохранением целостной исторической среды, в Самаре проявляют заботу лишь об отдельных памятниках, небольших фрагментах застройки, отдельных достопримечательностях. Формирование маршрутов с целостной средой является условием для полноценного использования потенциала городского центра. Туризм – это не только доходный бизнес, но и источник социальных контактов, драйвер развития, действенный метод провинциальности.

Можно выявить в исторической застройке Самары шесть морфотипов, обладающих достаточной степенью сохранности и пространственной связностью. **Морфотипом** в данном случае будем называть совокупность характеристик и качеств исторической застройки, определяющих устойчивое единство застроенной территории с точки зрения времени

создания характерных объемно-планировочных решений, архитектурной пластики и эстетики. Для возможности формирования площадки средового туризма необходимо, чтобы морфотип застройки можно было устойчиво связать с комплексом исторических текстов, фотографий, городских легенд, т. е. с неархитектурным, нарративным материалом. Проще говоря, место должно обладать легендой. Перечислим эти морфотипы: 1) деревянная застройка Самары XIX–начала XX столетия в районах проживания мелкого мещанства – усадебная застройка в один-два этажа в окраинных районах на периферии старой Самары; 2) каменно-деревянная застройка центра старой Самары, характерная для купеческого и дворянского населения, а также доходные дома; 3) ансамблевая застройка сталинского ампира; 4) массовая эконом-застройка послевоенного периода; 5) модернизм 60-х гг. XX в. и районы массовой жилой 5-этажной застройки («хрущевки»); 6) районы с комплексной застройкой, относящейся к позднему советскому функционализму 1970-1980 гг.

Первый морфотип – «Деревянная Самара». Пример выявленного участка – в границах улиц: Пушкина, Ярмарочной, Ленинской, Маяковской или Чапаевской, Пионерской, Комсомольской, Затонной (рис. 1). Преимущественно деревянная застройка усадебного типа в один-два этажа с хозяйственными постройками во дворе. Тип зданий традиционный, изба-пятистенки в три окна, как правило без мезонина, часто на каменном цокольном этаже. Наличники, карнизы и фронтоны украшены прорезной резьбой [2]. Исчезающий тип застройки. Это связано с невысоким качеством строительства и высокой степенью износа. «Скорость разрушения старого города приводит в ужас всех, кто видел его раньше. Важнейшие культурные достопримечательности намеренно поджигаются, сносятся или просто разваливаются без должного ухода» [3, с. 28]. Оснащение инженерными коммуникациями недостаточно, иногда просто отсутствует. Характерна низкая ремонтпригодность и отсутствие охранных статусов, поэтому реставрационные восстановительные работы за счет бюджета невозможны. Туристическая ценность могла бы стать обоснованием затрат на восстановительные работы. При отсутствии охранных статусов возможен более свободный и клиенто-ориентированный подход к реконструкции, с более высокой степенью инженерного и общестроительного обновления, при учете сохранения привлекающих туристов формальных параметров подлинной исторической среды. Возможно формирование качественных туристических объектов с комфортным сервисом.

**Второй морфотип** – собственно центр исторической Самары (рис. 2). Застройка представлена в основном каменными зданиями, построенными с середины XIX по первую четверть XX в. «На сегодняшний день деревянная застройка Самары сохранилась



Рис. 1. Первый морфотип – «Деревянная Самара»



Рис. 2. Второй морфотип – центр исторической Самары

в следующих видах: целыми кварталами; отдельными территориями в границах кварталов; сохранившимися дворовладениями в границах кварталов, полностью застроенных новыми зданиями; отдельными постройками» [2, с. 71]. Много объектов, охраняемых как памятники истории культуры, архитектуры. «В застройке Самары второй половины XIX–начала XX в. констатируется присутствие стилей: византийского, готики, итальянского ренессанса, немецкого ренессанса, мавританского, скандинавского, русского, русско-московского, модернизированного ренессанса, модерна и т. д. Однако все это разнообразие составляет в совокупности удивительно цельный ансамбль городского центра – единого по масштабу, типу организации уличных пространств, прихотливости архитектурного декора» [4, с. 511]. Степень износа разная. Часть зданий в аварийном состоянии, часть зданий вполне сохранившихся. Высота до шести этажей. Много территорий в центральной части города с высокой степенью сохранности аутентичной среды, причем как по фронту улиц, так и во дворах. На таких участках достаточно хорошо развит уличный ритейл. Можно сказать, что эти участки не требуют значительных вложений для повышения их туристической привлекательности.

**Третий морфотип** – ансамблевая застройка сталинского ампира. Пример выявленного участка – «Безымянка», Кировский район от Кировского проспекта до улицы Гагарина, улица Победы (рис. 3), проспект Металлургов.

По времени сооружения дома разделяют на до- и послевоенные. Период – с начала 30-х по 1956 г. (постановление о борьбе с архитектурными излишествами). Застройка представлена «элитным» высококлассным жильем (массовое жилье того периода будет представлено в другом морфотипе) и крупными общественными зданиями. Градостроительный под-

ход того времени характеризуется формированием архитектурных ансамблей, объединенных единым решением пластики фасадов, богатой детализировкой и градостроительной композицией. «Архитектура периода массового строительства в СССР – важная и неотъемлемая часть современной архитектуры XX века. Соразмерного аналога этому явлению в мировой архитектуре практически нет» [5, с. 8]. Примеров таких ансамблей сохранилось не так уж много, и они представляют большую эстетическую и историческую ценность, несмотря на то, что являются продуктом тоталитарной системы.

Технически, рассматриваемые участки находятся достаточно в хорошем состоянии. Необходима разработка единого дизайн-кода для сохранения аутентичности этой застройки. В данный момент никакой стилиевой дисциплины в рекламных информационных плакатах, билбордах, табличках никто не придерживается. При выполнении этого условия можно сказать, что рассматриваемые участки обладают высокой степенью сохранности, целостности, исторической аутентичности и не требуют больших вложений на реставрацию.

**Четвертый морфотип** – массовая эконом-застройка послевоенного периода. Пример выявленного участка – ул. Вольская, ул. Юрия Павлова (рис. 4). Данный морфотип ранее не рассматривался в качестве туристически привлекательного. Эта застройка либо смешивалась со всей застройкой сталинского периода, либо рассматривалась как не имеющая ценности и временная. Ее появление в больших количествах в городе Куйбышеве связано с резким ростом населения и площадью города во время войны при эвакуации производств с западных территорий СССР. Массовое экономное строительство необходимо было для быстрого расселения рабочих, занятых на новых производствах. Эта застройка в значитель-



Рис. 3. Третий морфотип – ансамблевая застройка сталинского ампира



Рис. 4. Четвертый морфотип – массовая эконом-застройка послевоенного периода

ной степени отличалась от обычных для всей страны «сталинок» и предвосхищала рекорды массового строительства в хрущевские времена. Жилые массивы такого типа сформированы из типовых малогабаритных секций с очень высокой степенью повторяемости, применением самых дешевых материалов и отсутствием привычного сталинского лепного декора. Эти дома строили пленные, захваченные в период Великой Отечественной войны. Жилые секции двух-трехэтажные, с деревянным перекрытием, скатными крышами, холодными чердаками и штукатуркой по дранке. Квартиры малометражные с маленькими кухнями и санузлами. Особенностью этой застройки стала ее невысокая плотность. Малоэтажные дома расставлены на больших территориях достаточно свободно с формированием больших озелененных дворов. Такой планировочный тип застройки – малоэтажный, разреженный, с высокой степенью типизации не повторялся ни до, ни после этого периода. Жилая среда, сформированная такой застройкой, уникальна и при правильной подаче может быть редким и выразительным источником впечатлений для туристов. Безусловно, для сохранения пригодности такой застройки для проживания

и использования необходима реконструкция инженерного оснащения и капитальный ремонт всего жилищного фонда. В настоящее время эта застройка никоим образом не охраняется, не считается ценной и является ресурсом для недорогого сноса и последующей застройки. Привлекательность как объект среднего туризма – возможно единственный и последний шанс для сохранения и ревитализации этого феномена градостроительной деятельности.

**Пятый морфотип** – модернизм 60-х гг. XX в. и районы массовой жилой 5-этажной застройки («хрущевки»). Пример выявленного участка – ул. Мориса Тореза (рис. 5). Массово возводившиеся постройки времен СССР периода правления страной Никитой Сергеевичем Хрущевым получили в народе имя в его честь. Возведение «хрущевок» шло с 1959 по 1985 гг. За это время в России было возведено примерно 300 млн м<sup>2</sup> общей жилой площади. Такая цифра составляет около 10 % от всего жилого фонда страны. Для страны возведение таких построек стало очень серьезным толчком к урбанизации. Застройка характеризуется высокой степенью сохранности и аутентичности, требуется только ремонт инженерного оснащения территории и благоустройство. Истори-



Рис. 5. Пятый морфотип – модернизм 60-х гг. XX в. и районы массовой жилой 5-этажной застройки («хрущевки»)

ческая ценность и туристическая привлекательность данной застройки будет расти параллельно с повсеместным сносом и потерей идентичности подобных территорий. В настоящее время такая застройка сама по себе не привлечет туристов, но в общем контексте движения туристического маршрута по временному вектору такой объект будет необходимым и содержательным. В Самаре достаточное количество образцов этой среды с высокой степенью сохранности и аутентичной атмосферой.

**Шестой морфотип** – районы с комплексной застройкой, относящейся к позднему советскому функционализму 1970-1980 гг. Пример выявленного участка – Приволжский микрорайон, ул. Ташкентская и др. (рис. 6). С этим типом застройки дело обстоит примерно так же, как и с «хрущевками». Такой застройки много. Она еще в хорошем состоянии и практически не подвергалась перестройке, кроме, разве что, был проведен ремонт фасадов к чемпионату мира по футболу 2018 г. Такая застройка также вряд ли привлечет туристов, но общая логика экскурсии поставит ее в исторический контекст и, надеемся, заставит взглянуть на нее по-новому – как на феномен исторического времени, особо потерянный ныне тип отношения к пространству и быту. В этом смысле привычность такой среды, поданная с неожиданной стороны, может стать кульминацией всего мероприятия.

Туристические экскурсии могут проводиться как внутри каждого морфотипа, при условии их достаточной насыщенности не архитектурными мероприятиями и достаточной оснащенности этой среды визуальными аттракционами, так и обзорно через все морфотипы. При устройстве таких улиц может использоваться игровое централизованное начало, позволяющее усилить эффект «путешествия во времени». Например, в «деревянной Самаре» можно проводить костюмированные представления в русско-народном стиле, привлекать актеров, с которыми можно сфотографироваться. Может быть ярмарка, на которой будут продаваться помимо хлебобулочных изделий сувениры, можно поставить пивные

бочки, ведь Самара славится своим пивом. Это будет объединять людей, такие зоны станут центром знакомств. Люди смогут выразить себя, ведь будут набираться волонтеры, привлекаться актеры.

Дома времен СССР можно украсить плакатами, вывесками. Можно продавать открытки тех времен. Установить граммофоны с музыкой того времени. В каждой среде мы предлагаем установить столовые или кафетерии в стиле тех времен. «Среди формальных признаков игры первоочередное место занимало пространственное отторжение игровой деятельности от «обыденной» жизни. Некое замкнутое пространство, будь то материальное либо умозрительное, отделяется, обособляется, ограничивается от повседневного окружения. Там, внутри этого пространства, совершается игра, там, внутри, действуют ее правила... Это требование изоляции, обособления в культе, включая магию и правовую практику, содержит в себе далеко не только лишь пространственный и временной смысл. Почти все виды ритуала посвящения и освящения предусматривают создание искусственных ситуаций исключения и обособления для исполнителей или посвящаемых» [6, с. 31–32].

Спорным будет вопрос о сосуществовании этих мероприятий, привлекающих туристов, и комфорта жильцов рассматриваемого района. Необходимо достижение компромисса. Известны примеры в мировой практике, когда с жильцами исторических районов заключается договор и они в определенные, оговоренные дни становятся участниками этих мероприятий. Например, поддерживают исторические формы быта на приусадебных участках или даже в квартирах, позволяют экскурсантам посещать их квартиры, получая за это дополнительный доход. Безусловно, часть жителей откажется. Это потребует точной программы и сценария проведения экскурсии с учетом интересов и требований всех проживающих в рассматриваемом районе. Возможно этот вопрос стоит решать на этапе подготовительных работ и реконструкции. Знакомство с подобными планами может как побудить людей покинуть этот район,



Рис. 6. Шестой морфотип – районы с комплексной застройкой, относящейся к позднему советскому функционализму 1970-1980 гг.

так и напротив привлечь туда новых более активных жителей. В данном случае смена населения – это не желательный, но приемлемый шаг, в случае если это происходит на свободной основе, без потери уровня и качества жизни. Рассматриваемые районы не предполагается подвергать джентрификации. Уровень арендной платы и другие затраты для жильцов повышаться не будут. Их жизненный уклад подвергнется только одному изменению – большее количество посторонних глаз. В данной ситуации речь идет о психологическом комфорте, а не о социальном давлении. В любом случае всегда есть возможность выстраивать экскурсионную программу без того, чтобы беспокоить всех жителей района. Степень проникновения туристов в жизнь участка будет точечной и периодичной. Компромисс вполне возможен.

Расширение туристической зоны с центральных районов, полных достопримечательностями, на новые периферийные районы, при этом не требующие больших расходов для повышения туристической привлекательности – существенный элемент нашего предложения. Специфика развития Самары [7–9] состоит в том, что новые районы созданы практически не разрушая предыдущие. Смена градостроительной концепции и производственного уклада Самары / Куйбышева, требующая нового пространства, проходила с переносом фокуса активности на новую территорию без разрушения предыдущих центров, поэтому в Самаре до начала постсоветского периода сохранялись практически без изменений крупные фрагменты всех исторических морфотипов. И только в последние два десятилетия наблюдается разрушение и диффузия архитектурной среды.

При недостаточном количестве объектов-достопримечательностей Самара обладает большими территориями с ценной исторической застройкой фонового характера и целыми районами аутентичной своему времени городской среды. Именно эти комплексные территории могут стать привлекательными для туристов. «Городская среда как экономический капитал обладает мощным ресурсом обновления и регенерации» [10, с. 62].

**Вывод.** Предложенная авторами идея рассматривать в качестве туристической достопримечательности не только достопримечательности, памятники истории и архитектуры, культуры, но и массивы сохранившейся целостной исторической застройки решает две основные задачи. Во-первых, это увеличение «капитализации» туристической ценности города, а также количества и качества точек посещения для туристов. Это еще и валоризация уже устоявшихся памятников и достопримечательностей, которые будут восприниматься на фоне аутентичной среды, позволяя жителям Самары глубже и точнее воспринимать историю своего края в ее максимальной полноте. А для гостей города это станет возможностью в более живой зрелищно-игровой форме получать новые впечатления и знания о нашем регионе. Во-вторых, синергия взаимовлияния признанных достопримечательностей и фоновой застройки дает толчок для развития указанных территорий. В отличие от охраняемых достопримечательностей на участках фоновой застройки возможно гораздо более свободное привлечение различных форм бизнеса, больше возможностей для инвестиционных проектов.

Превращение девиантных по сути территорий, ожидающих сноса или реконструкции, в территории с высокой степенью публичности и признания культурно-исторической ценности такой застройки, таким образом, выполняет задачу регенерации исторической среды и способствует гармоничному и планомерному эволюционному развитию города.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт Федеральной службы государственной статистики URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 25.03.2017).
2. Самогоров В.А., Сысоева Е.А., Черная Ю.Д. Деревянная и каменно-деревянная архитектуры Самары конца XIX – начала XX веков. Самара: ООО «Книга», 2011. 400 с.
3. Уилкинсон А., Стадников В. Вниз по течению. Самара: Наследие под угрозой. Самара: ООО «Издательский дом «Агни», 2009. 176 с.

4. История русской архитектуры / В.И. Пилявский, Т.А. Славина, А.А. Тиц, Б.С. Ушаков, Г.В. Заушкевич, Ю.Р. Савельев. 2-е изд., перераб. и доп. С.-Петербург: Стройиздат, 1994. 600 с.: ил.

5. Самогоров В., Пастушенко В., Федоров О. Космический Куйбышев. Екатеринбург: TATLIN, 2015. 208 с.

6. Хейзинга Й. Homo Ludens. В тени завтрашнего дня: пер. с нидерл. М.: Прогресс-Академия, 1992. 464 с.

7. Филанова Т.В. Локальные центры в структуре крупнейшего города, специфика их формирования и особенности функционирования (на примере г. Самара) // Градостроительство и архитектура. 2012. № 1(5). С. 41–48.

8. Вавилонская Т.В. Региональная ментальность и идентичность архитектурно-исторической среды самарского Поволжья // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре [Электронный ресурс]: материалы 73-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2015. С. 181–185 (дата обращения: 16.03.2017).

9. Орлова Н.А., Орлов Д.Н., Грумеза О.Д. Феномен индивидуального жилья // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре [Электронный ресурс]: материалы 74-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2016. С. 253–257 (дата обращения: 16.03.2017).

10. Новиков А. На-стройка вместо стройки. Свобода выбора вместо «Проекта свободы» // Горожанин. Что мы знаем о жителе большого города? М.: Stelka Press, 2017. 216 с.

Об авторах:

**ОРЛОВ Дмитрий Николаевич**

старший преподаватель кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. 8(927)261-39-15  
E-mail: pochto@yandex.ru

**ORLOV Dmitry N.**

Senior lecturer of the chair of Restoration and Reconstruction of Architectural Heritage Chair Samara State Technical University, Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (927)2613915  
E-mail: pochto@yandex.ru

**ОРЛОВА Наталья Александровна**

старший преподаватель кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. 8(927)261-39-15  
E-mail: pochto@yandex.ru

**ORLOVA Natalia A.**

Senior lecturer of the chair of Restoration and Reconstruction of Architectural Heritage Chair Samara State Technical University, Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (927)2613915  
E-mail: pochto@yandex.ru

**МОЛЧАНОВА Валерия Витальевна**

студентка 5 курса архитектурного факультета Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. 8(927)700-19-96  
E-mail: lera.chelovek96@mail.ru

**MOLCHANOVA Valery V.**

Student of the Faculty of Architecture Samara State Technical University, Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: lera.chelovek96@mail.ru

Для цитирования: Орлова Н.А., Орлов Д.Н., Молчанова В.В. Средовой туризм. Фрагменты целостной исторической застройки как объект туристической привлекательности // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 99-105. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.19.

For citation: Orlov D.N., Orlova N.A., Molchanova V.V. Environmental Tourism. Fragments of the Whole Historical Development as an Object of Tourist Attraction // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 99-105. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.19.

# АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



УДК 721.72.01/.05.72.02

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.20

Т. Г. АРТЕМЬЕВА

## ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ТИПОЛОГИЯ И АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ КОНЦЕПЦИИ ЖИЛОГО ИНТЕРЬЕРА

FUNCTIONAL-SPATIAL TYPOLOGY AND ALGORITHM FOR THE FORMATION  
OF THE SPACE-PLANNING CONCEPT OF A RESIDENTIAL INTERIOR

*Раскрываются основы функционально-пространственной типологии в контексте проектирования жилых интерьеров. Подробно описывается структура функционально-пространственных отношений, оказывающих влияние на формирование проектной концепции жилого интерьера. Приводится классификация и определение типов внутреннего пространства. Разработаны основные требования к выбору с учетом качественных и количественных типов функций жилого интерьера. Даются определения номинальных и витальных типов функций, а также массовых, групповых и индивидуальных типов функций применительно к жилому интерьеру. Приводится классификация основных пространственных схем и их модификаций. Показаны методы анализа опорных пространств для определения композиционной стратегии и выбора объемно-планировочной концепции. Даются определения проектных целей и задач и алгоритмы их решения.*

**Ключевые слова:** *зальные/ячеистые/линейные типы внутреннего пространства, функционально-пространственные отношения, номинальные и витальные типы функций, массовые/групповые/индивидуальные типы функций, прямые и косвенные структурные связи, пространственные схемы, композиционные задачи и цели, пространственный потенциал, морфоструктура, композиционная стратегия*

«Считайте постройку курятника такой же хорошей для себя работой, как постройку собора. Величина проекта мало значит в искусстве, если отвлечься от финансовых вопросов. В действительности в расчет принимается выразительность. Выразительность может быть большой в малом или малой в большом» [1] (Фрэнк Ллойд Райт).

Это высказывание в полной мере относится к проектированию жилого интерьера, чья вырази-

*The basics of functional-spatial typology in the context of the design of residential interiors are viewed. The structure of functional-spatial relations that influence the formation of the design concept of a residential interior is described in detail. The classification and definition of types of internal space are given. The basic requirements for the selection, taking into account the qualitative and quantitative types of functions of the residential interior are developed. Definitions of nominal and vital types of functions are given as well as mass, group and individual types of functions in relation to residential interior. The classification of the main spatial schemes and their modifications is given. The methods for analyzing the reference spaces for determining the compositional strategy and choosing the space-planning concept are shown. The definition of project goals and objectives and algorithms for their solution are given.*

**Keywords:** *hall / cellular / linear types of internal space, functional-spatial relations, nominal and vital types of functions, mass / group / individual types of functions, direct and indirect structural relationships, spatial schemes, compositional tasks and goals, spatial potential, morphostructure, compositional strategy*

тельность в конечном итоге зависит от оптимального выбора объемно-планировочной концепции, особенностью которой заключается в специфике отношений пространство – функция.

Вопрос приоритета исходного, либо формируемого пространства над функцией определяется качественными и количественными характеристиками пространства. В свою очередь, тип функции определяет выбор соответствующего ей типа пространства.

Классификационные признаки внутренних пространств в рамках настоящего исследования определяются габаритами, конструктивными схемами и пропорциями параметров, т. е. сугубо материальными свойствами без учета характера воздействия типа пространства на восприятие индивида [2–5].

Разделяют: зальные, как правило, доминирующие по габаритам пространства, преимущественно имеющие большепролетную либо каркасную конструктивную схему и правильные пропорции; ячеистые (или ячеиковые) – структурно однородные небольшие пространства, образующие типологическую группу; линейные – с превалирующим линейным габаритом.

Количественные параметры ограниченных пространств – габариты и межгабаритные отношения определяют основные качественные категории: протяженность – компактность, гигантизм – камерность, просторность – затесненность, горизонтальность – вертикальность, по которым различают основные типы пространств: линейные, ячеистые, зальные и их модификации. Категория формы поглощается категорией типа. Линейные пространства могут иметь различную форму прямолинейного, криволинейного, замкнутого или извилистого характера, форма играет второстепенную роль по отношению к главному определяющему качеству – протяженности. Так и зальные пространства, главным отличительным качеством которых являются значительные размеры, гигантские, по отношению к ячеекам, могут иметь самую разнообразную форму – правильных геометрических объемов или параметрически сложную. Определяющим качеством зального типа являются именно значительные размеры. Причем линейные и зальные типы пространства не являются антиподами. Залы могут иметь, в том числе, протяженный вид, но ячейки – преимущественно компактный. Не существует абсолютных габаритных отношений, позволяющих безапелляционно относить пространство к тому или иному типу.

Для установления функционально-пространственных отношений функции группируются по сходным качественным и количественным характеристикам и образуют типологические сообщества. К качественным характеристикам функций следует отнести их номинальность (качества, определяющие функциональную типологию, обеспечивающие жизнедеятельность) либо витальность (качества, поддерживающие жизнедеятельность номинальных функций, но не определяющие функциональную типологию). По количественным признакам функции подразделяются на массовые, групповые и индивидуальные. Комбинация качественно-количественных признаков формирует требования к типу обеспечивающего функцию пространства.

К номинальным функциям, необходимым и достаточным для обеспечения жизнедеятельности, можно отнести общие (общественные зоны) и жилые комнаты (приватные зоны).

Массовые функции в современном жилом интерьере, как правило, не представлены. Однако в исторических интерьерах функционирование массовых функций обеспечивали зальные пространства.

Групповой характер использования присущ для общих комнат и входных зон. Помещения для группового использования часто имеют ядерный характер расположения в жилом интерьере.

Размеры общих помещений зависят от типологии жизненных ситуаций: социальной принадлежности, демографического и количественного состава семьи, индивидуальных требований частного характера, особенностей использования, частоты и характера пребывания [6, 7].

К общим в жилом интерьере можно отнести помещения, в которых протекают процессы дневно-общественного характера – прихожие, холлы, вестибюли, гостиные, столовые. Общие, как правило, значительно превышают по размерам и габаритам остальные помещения, им могут соответствовать пространства зального типа.

Индивидуальный характер использования присущ всем остальным помещениям, составляющим жилое пространство: спальни, кабинеты и будуары, гостиные, детские. Тип пространства, который им соответствует, как правило, ячеиковый. Набор типовых по функции и размерам ячеек объединяется в группу вокруг ядра либо вдоль осевого пространства (трафика).

Витальные функции, обеспечивающие и поддерживающие деятельность номинальных, представлены в жилом интерьере санитарно-техническими, хозяйственного назначения (помещения для приготовления пищи), хранения (кладовые, гардеробные), коммуникационно-соединительными (входные зоны, тамбуры, холлы, коридоры, лестничные узлы).

Витальные функции носят утилитарный характер и, как правило, примыкают к номинальным по принципу прямых связей (рис. 1): санитарные узлы в частных зонах, в зонах приготовления пищи, банных комплексах; гардеробные – в прихожих, в частных зонах, в банных комплексах; или выделяются в отдельные группы и размещаются на смысловой периферии, соответствующей номинальной функции. По характеру требований, предъявляемых к пространственной схеме, помещениям витальных функций соответствуют ячеиковые и линейно-осевые типы пространства.

Между номинальными и витальными функциями устанавливаются структурные связи. Они могут носить прямой или косвенный характер. Это накладывает отпечаток на взаимоотношения и расположение помещений в жилом интерьере (см. рис. 1). На рис. 2 показан пример трансформации косвенной связи между номинальной функцией (гостиная) и витальной (кухня) в функцию, по смыслу сходную с коммуникативной (столовая) – промежуточную зону между гостиной и кухней. Помещения группо-

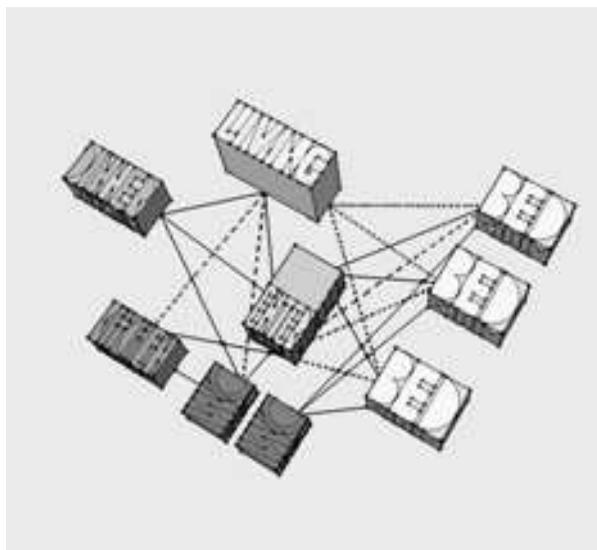


Рис. 1. Пример граф функционально-структурных связей. Прямые и косвенные связи между функциями

вых типов функций принято размещать в передней, передне-центральной зоне жилого пространства, помещения частного характера размещаются глубинно, глубинно-периферийно. Витальные примыкают (паразитируют) к обеспечиваемым зонам. Между определенными группами функций связи могут вообще отсутствовать. Выявление основных прямых и косвенных структурных связей, приведение их в логичный и оптимальный вид, устранение лишних и косвенных пространственных трафиков и пересечений дает в результате картину инфраструктурных связей — минимально необходимое количество инженерных коммуникаций и соединительных пространств, что позволяет определить оптимальную планировочную структуру интерьера.

Принципы и композиционные приемы организации пространства формируются на базе основных пространственных схем, которые можно условно разделить на осевые, компактные и блокированные.

К осевым типам пространства относятся: анфилада, линейно-коридорное, линейно-галерейное, криволинейное.

Функциональные особенности и области использования типов осевых пространств определяются их параметрами. Осевые пространства, не имеющие достаточной ширины, как правило, играют роль коммуникативных зон и зон хранения (количественно неопределяемых, т. е. витальных, продольно-осевых) – функций, к которым можно отнести (по возрастанию значимости) соединительные коридоры и галереи в отдельных зонах (квартир); продольные, совмещенные с коммуникацией зоны хранения: гардеробные, библиотеки, а также зоны хранения коллекций любого типа; вестибюли, холлы. (Узкие длинные коридоры съедают много жилого пространства, сложно декорируются).

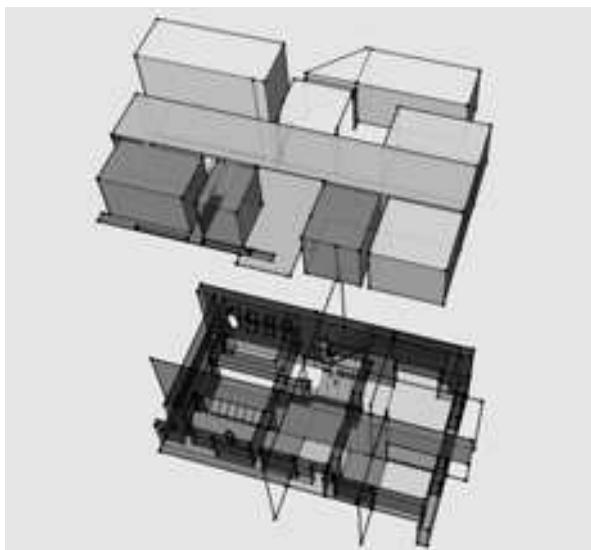


Рис. 2. Пример композиционного анализа опорного пространства

Перечисленные пространства различаются:

- местоположением: периферийным/центральным, продольным/поперечным относительно зоны входа и общей композиции жилого (общественного) пространства;

- габаритами: длина/ширина/высота;

- типами освещения – естественным односторонним боковым/торцевым; искусственным верхним/боковым, точечным/ смешанным, смешанным.

Отдельно рассматривается анфиладный тип пространства. Возможно использование исключительно в значительных по размерам жилых особняках, дворцах и т. д. Больше характерен для организации некоторых типов общественных функций: выставочных, представительских. Анфилады представляют собой модификацию открытого пространства общественного назначения с чередой перегородок, проемы в которых располагаются на одной, как правило, центральной, оси.

Композиционные задачи и цели:

1. Выявление/маркирование/маскирование линейного характера пространства, его габаритов с помощью использования различных средств: цвета, света, пластики, эффектов отражения и применения композиционных приемов. Композиционные задачи, цели и приемы определяются общей концепцией, включающей стилистическую программу.

2. Закрепление с помощью композиционных приемов главной/второстепенной роли осевого пространства в конкретном интерьере.

К компактным пространственным схемам относятся ядерные (организованные вокруг ядра); «лабиринты»; нерасчлененные пространства: одноуровневые, двухуровневые, многоуровневые.

Типы ядерных пространственных схем: входные, центрально-зальные, линейно-ядерные и простран-

ственно-ядерные (атриумные). Ядерное пространство носит объединяющий, центральный характер и часто является главным помещением с групповой общественной функцией. Кроме того, часто ядерным пространством, объединяющим все остальные помещения, может являться входная зона, при условии отсутствия распределительных осевых пространств, типа коридора.

«Лабиринты» – пространственные схемы с неясной организацией, где осевые пространства имеют сложно-организованную, часто запутанную, но компактную конфигурацию. В пространствах лабиринтного типа часто отсутствует иерархия помещений – отношения типа доминанта/фон.

Нерасчлененные конструктивными границами пространства называются «open space». Разновидностью открытых пространственных схем также являются перетекающие. К их отличительной особенностью можно отнести одновременно как полуоткрытый, так и, в большинстве случаев, лабиринтный характер зонирования.

К компактным пространственным схемам можно отнести как одноуровневые, так и двухуровневые и многоуровневые пространства. В случае с вертикально развитым ядром, объединяющим все помещения, мы имеем дело с таким типом организующего пространства, как атриум.

Композиционные задачи и цели зависят от характера и функции центрального пространства, габаритов, взаиморасположения, количества и назначения прилегающих помещений:

1. Гармонизация и зонирование пространства с выявлением иерархии зон, с учетом имеющихся проемов и основных трафиков.

2. Усиление центрального характера ядра и композиционное подчинение периферийных помещений.

3. Установление, при помощи планировочных и композиционных приемов, ясной пространственной ориентации.

4. Сохранение единства композиционно-пространственной структуры посредством минимизации приемов и художественных средств. Определение необходимого минимума и характера композиционных приемов (стилистических, колористических, светотехнических) для решения поставленных задач и целей.

К блокированным пространствам относятся иерархически сгруппированные функциональные единицы, объединенные и соподчиненные по номинально-вitalным признакам в единую структуру. Определяющим элементом блокированного пространства, как правило, является непрерывная коммуникационная структура.

Композиционные задачи и цели: определение и выявление иерархии зон; минимизация инфраструктурных связей.

Особое влияние на выбор планировочной организации оказывает специфика функционально-пространственных взаимосвязей, определяющих характер открытости/изолированности элементов планировочной структуры.

Функции, имеющие групповой характер, допускают открытую форму пространственного размещения, т. е. без физических границ. Исключением являются зоны, процессы жизнедеятельности в которых протекают с выделением запахов (кухни-столовые), шума (телезоны, домашние кинотеатры), с особыми температурно-влажностными режимами (банные комплексы, бассейны), с особыми требованиями к качеству звука (аудиосистемы в составе домашних кинотеатров).

В условиях неограниченного бюджета эти «препятствия», кроме подавления звука, устраняются техническими средствами с помощью приборов климатического контроля, устройства принудительной вентиляции, осушения/увлажнения и кондиционирования воздуха.

«Перетекающие» пространства, открытые – данный тип пространственных схем требует особой организации, где, кроме архитектурно-декоративных приемов разграничения функциональных зон, для этих же целей необходимо активное участие предметной среды в виде мебельных групп. Функции индивидуального характера, тем не менее, как правило, требуют условий изоляции.

Композиционная, функциональная и смысловая связи изолированных ячеек между собой и со всем пространством в целом имеют различные формы.

В функциональном отношении спальни, детские и гостевые комнаты имеют, с небольшими различиями, одинаковую функцию – релаксация. Однако по смыслу эти помещения зачастую требуются размещать отдельными, разнесенными в плане или, если позволяют условия объекта, – в пространстве группами. Композиционно однотипные ячейки образуют группы со сходными планировочными и декоративными признаками и выделяются в блоки с общим объединяющим осевым (коридор, галерея) либо ядерным (холл, тамбур) коммуникационным пространством. По отношению к центральным общественным пространствам блоки частных помещений занимают периферийное положение. Причем не особенно принципиально, на каком плане определяется периферия – на переднем или заднем, либо имеет фланкирующие положения, либо вынесена на иной уровень по отношению к ядру. Важное значение имеет лишь уровень изолированности.

**Вывод.** Все перечисленные пространственные схемы могут иметь самостоятельный характер или определять основу для выработки композиционной стратегии для реализации не только функциональной, но и стилистической программ.

Для выбора оптимального варианта концепции, параллельно с построением графа функционально-структурных связей, необходимо выявить объемно-планировочный потенциал и органические свойства опорного пространства. Для этого путем композиционного анализа следует определить доминирующие оси, морфоструктуру плана и объема в целом и местоположение композиционного центра (см. рис. 2). Следующим этапом следует выявить пространственные «дефекты» для выработки тактики их «исправления».

Понимание закономерностей организации внутренней структуры жилого пространства позволяет принимать детерминированные оптимальные решения в условиях многовариантного проектирования.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фрэнк Ллойд Райт. Будущее архитектуры. М.: Госиздат литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. М., 1960. 215 с.
2. Взгляд изнутри. Проектирование архитектурного пространства: интерьер / М.А. Соколова и др. М.: БуксМАрт, 2016. 176 с.: ил.
3. Ойеда Оскар Риера, Джеймс Маккауэн. Архитектура в деталях: пространство. Ростов н/Д.: Феникс, 2006. 192 с.
4. Артемьева Т.Г. К вопросу о границах допустимого в проектировании частного интерьера // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн: сб. статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, Е.А. Ахмедовой; СамГАСУ. Самара, 2016. С. 236–238.
5. Архитектурно-дизайнерское проектирование жилой среды (городская застройка) /авт. колл.: М.Ф. Уткин, В.Т. Шимко, Г.Е. Пяль, Е.В. Никитина, А.В. Гаврюшкин. М.: Архитектура-С, 2010. 204 с.: ил.

Об авторе:

**АРТЕМЬЕВА Татьяна Геннадьевна**  
доцент кафедры архитектуры  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: tatart2@gmail.com

6. Нойферт П., Нефф Л. Проектирование и строительство. Дом. Квартира. Сад / пер. с нем. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Архитектура-С, 2009. 264 с.: ил.

7. Бархин Б.Г. Методика архитектурного проектирования 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1993. 438 с.: ил.

**ARTEMYEVA Tatyana G.**  
Associate Professor of the Architecture Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: tatart2@gmail.com

Для цитирования: Артемьева Т.Г. Функционально-пространственная типология и алгоритм формирования объемно-планировочной концепции жилого интерьера // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 106-110. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.20.

For citation: Artemyeva T.G. Functional-spatial Typology and Algorithm for the Formation of the Space-planning Concept of a Residential Interior // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 106-110. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.20.

Н. Ю. МЕДВЕДЕВА  
Д. В. ДЕНИСОВ  
А. Н. ПАРШИН

## АТРИУМНЫЕ ПРОСТРАНСТВА: РЕАЛИЗАЦИЯ ФРАКТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ЛОКАЛЬНЫХ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР

ATRIUM SPACES: REALIZATION OF FRACTAL MODELS OF LOCAL AND URBAN STRUCTURES

В статье дается интерпретация атриумных пространств в контексте фрактально-кластерной модели формирования среды. Представлены теоретические и концептуальные разработки формирования пространства как многослойной структуры, в основе которой заложены узловыи элементы (кластеры). Анализируется функциональное назначение атриума в архитектуре и градостроительстве. Исследуются пространственные элементы, формирующиеся посредством атриумов с учетом фрактальных концепций. Изложена гипотеза устойчивого развития городских пространств посредством внедрения атриумов как транзитных и объединяющих элементов среды.

**Ключевые слова:** атриум, атриумное пространство, фрактальность, кластер, полицентризм, городская структура, устойчивое развитие

The paper refers to the functional purpose of the atrium in architecture and town planning. The authors interpret atrium spaces in the context of a fractal-cluster model of environment formation. The study includes theoretical and conceptual development of the formation of space as a multilayer structure, based on key elements (clusters). The authors investigate the elements of space that are formed by means of atria taking into account fractal concepts. The hypothesis of sustainable development of urban spaces is stated by introducing atriums as transit and unifying elements of the urban environment.

**Key words:** atrium, atrium space, fractality, cluster, polycentrism, urban structure, sustainable development

Народы древнего мира стремились жить в гармонии с природой, не нарушая ее целостности. Идея создания гармоничного жизненного пространства волновала ученых и философов с древнейших времен. Большое значение уделялось форме и ориентации здания по сторонам света. Основополагающими принципами здесь были биоклиматические условия, традиции и религиозные аспекты, философские концепции. В африканских странах и странах Востока внутренние дворы (атриумы) жилых зданий формировали городскую ткань. В объемно-планировочных решениях локальных объектов и городской ткани фрактальные модели формировались неосознанно (рис. 1).

В Древнем Риме и в эпоху Возрождения объемно-пространственная комбинаторика внутреннего

дворика и примыкающих помещений развивалась от простых композиций к сложным структурам, где планировка определялась статусом обитателей дома и развитием общественных функций (проведение светских мероприятий и прием гостей). Формировались доминанты и дополнительные композиционные центры (узлы) в сетке города.

В настоящее время городская структура является многоуровневой сложной системой информационных и коммуникационных потоков, социально-экономических, культурных, экологических элементов, в которой атриумные пространства на локальном и градостроительном уровнях объединяют объекты разного назначения, способствуя активизации их функций и формированию новых связей. Атриумы выполняют конструктивную функцию и

а



б

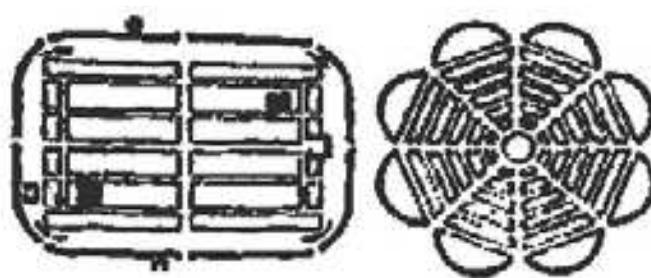


Рис. 1. Сооружения инков: а – поселение инков [1]; б – древнеиндийские поселения. Схематические планы [2]



Рис. 2. Вилла Адриадна в Тиборе (совр. Тиволи). Макет [3]

усиливают эстетический эффект от восприятия объемно-планировочной концепции. Ввиду активного применения атриумов в архитектуре и городской структуре актуальными становятся для дальнейшего исследования уточнение значения термина «атриум» и анализ типологии атриумных пространств в сравнении с фрактальными структурами городской агломерации.

В нормативных документах представлены различные варианты определения термина «атриум». В «Обобщенном перечне технических решений, согласованных Главным государственным инспектором Российской Федерации по пожарному надзору», термин «атриум» определяется в пределах здания, а именно в межэтажных перекрытиях объекта: «Атриум (частный случай многосветного пространства, лат. «закрытый внутренний двор в центре здания, куда выходят остальные помещения») – здание (часть здания) с проемами в междуэтажных перекрытиях, имеющее в покрытии над этими проемами световые фонари» [4].

Согласно строительным нормам и правилам, атриум является частью здания, к которому не относятся крытые внутренние дворы, моллы, аркады, спортивные комплексы [1].

Нормативные документы МГСН 4.04-94 «Многofункциональные здания и комплексы» и СНиП 31-01-2003 «Здания жилые многоквартирные. Пра-

вила проектирования» дают характеристику атриума как многосветного пространства с естественным верхним (также в сочетании с боковым) освещением, развитого по вертикали на несколько этажей. Согласно МГСН 4.04-94 и СНиП 31-01-2003, к атриумам относится пассаж, а именно развитый по горизонтали многосветный проход.

В современной архитектуре термин «атриум» трактуется как многосветное пространство здания (или группы зданий), защищенное светопрозрачным покрытием [5]. В настоящей статье термин «атриум» используется в обобщающем смысле и применяется к любому из многосветных пространств, защищенных светопрозрачным покрытием.

В качестве примеров в статье представлены объекты, разные по функциональному составу и градостроительному назначению (рис. 2–5).

Высокоурбанизированные современные города являются полицентрическими структурами, в которых выделяются доминирующие элементы и окружающие их периферийные пространства. Анализируемые в современной науке типы атриумов соотносятся с ограниченной вариативностью форм городских пространств. Форма атриумов меняется относительно территориального размещения атриумных зданий или группы зданий, объединенных светопрозрачным перекрытием. Актуальным становится вопрос о введении атриумного пространства как термина, охватывающего не только локальные архитектурные объекты (здания), но и градостроительные образования. Схемы, разработанные А. В. Вахниченко, иллюстрируют функциональное и пространственное взаимодействие атриумных пространств с городской средой [8].

Появление новых технологических средств визуализирования, расчетов, строительных материалов и конструкторских разработок привело к интеграции фрактальной геометрии в архитектуру и градостроительство. Фрактальные принципы организации пространства проявляются в локальных архитектурных объектах, их объемно-планировочных, конструктивных элементах, элементах дизайна. В концептуальном проектировании наблюдается тенденция построения сложных топологических форм и



Рис. 3. Площадь Федерации, архитекторы Дональд Бейтс, Питер Девидсон, Мельбурн, Австралия, 2002: а – общий вид; б – фрактальность в отдельных объемах комплекса [6]



Рис. 4. Harbin Opera House, MAD Architects (Harbin, Heilongjiang, China, 2015) [7]

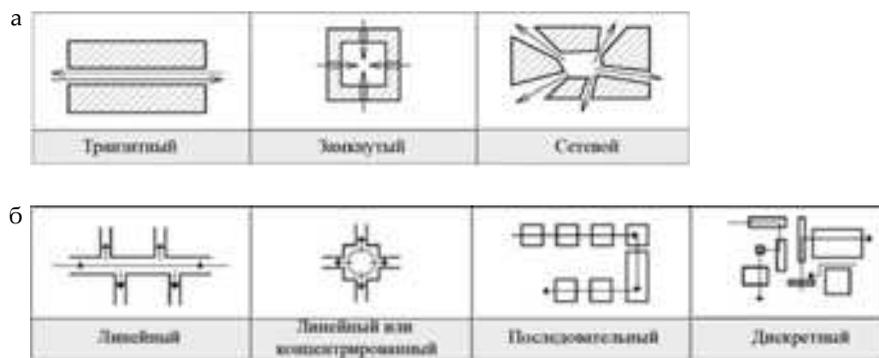


Рис. 5. Взаимодействие атриумных пространств в городской среде:  
 а – тип размещения атриумного пространства в городской среде;  
 б – вид организации атриумного пространства в городской среде [8]

фрактальных структур архитектурных сооружений посредством компьютерных технологий.

Город – фрактальная система как на функциональном, так и социальном, культурном уровне. В аспекте фрактальных принципов организации среды авторами данной статьи рассматривается атриум как средство усиления визуального и эстетического воздействия пространства и, следовательно, интенсификации использования архитектурного объекта. Фрактальные модели на градостроительном уровне посредством атриумов объединяют объекты разного функционального назначения и стимулируют коммуникационные процессы.

Математическая концепция фрактальных структур была введена франко-американским математиком Бенуа Мандельбротом в 1970–1980-е гг. и применялась в описании нерегулярных геометрических и природных объектов. Центральной идеей концепции фрактальных структур являются бесконечно самоподобные множества элементов, повторяющихся и обладающих свойствами саморазвития и инвариантности, принадлежащих одновременно к четкой системе и произвольному порядку.

Поскольку в процессе создания городского пространства рассматриваются различные компоненты, составляющие сценарий ее последующего существования и развития, современные архитекторы определяют архитектурное пространство как многослойное или многоуровневое.

«Многослойность архитектурного пространства всегда связывается с чувственным (эмоциональным, эстетическим) и интеллектуальным (философским, духовным) восприятием. Полноценное восприятие городской среды (пространственный, физический и психологический комфорт, возможность духовно ощущать среду) определяется наличием и гармоничным сочетанием различных слоев, отражающих многофункциональный комплекс составляющих городской инфраструктуры. Отсутствие (полное или частичное) любого из этих слоев порождает негативные эмоции людей, снижает ценность (субъективную оценку) города» [9].

Каждый из уровней городской структуры обладает концентрацией или пропорциональным рассеиванием его качеств (функций) в соответствующих зонах. Процесс развития такого пространства аналогичен динамическому хаосу, где формообразование составных частей характеризуется дробной размерностью (дисперсией). Данные компоненты являются компонентами фрактальных систем. Архитекторами Т. В. Филатовой, С. А. Колесниковым, С. А. Агеевым, А. Е. Гашенко исследованы модели организации городского пространства посредством узловых структур, что соответствует тенденциям развития и формирования городской среды [9, 10]. Посредством организации отдельных градостроительных образований (узлов) формируются кластеры, имеющие определенные границы и многофункциональные центры притяжения потребителей. Модель кластерного раз-

вития городской среды связана с интенсивной экономической и социальной активностью в крупных городах. Л. В. Гайкова в статье «Полицентризм как парадигма развития российских городов» дает определение термина: «Кластер – это интеграционный механизм, обеспечивающий интенсивное развитие и социальное партнерство образующих его элементов» [11]. Для создания концепции эффективного функционирования и гармоничного восприятия городской среды необходимо использование новых принципов ее организации. Обращаясь к истории развития фрактальной теории, М. П. Кравченко упоминает фрактальный принцип в формообразовании городской ткани как структурирующий компонент в ряде аспектов: элементах естественной среды, постройках, транспортной системе, распределении функций, эмоциональном восприятии и др. [12].

В теории архитектуры фрактальный принцип рассмотрен Н. Ю. Медведевой в коллективе соавторов [13] как модель организации пространства, соотносимая с фрактальной структурой квадрата Серпинского. Фрактальность в городской агломерации авторами понимается как результат естественного освоения архитектурного ансамбля, складывающийся на протяжении десятилетий и столетий; как принцип организации архитектурного ансамбля, который не осознается проектировщиками. Модель применима к уже существующим локальным или градостроительным объектам и синтезирует их функциональную, эстетическую, культурную составляющие.

Академиком М. Б. Игнатьевым, профессором Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (создателем и директором Международного института кибернетики и артоники, 2002 г.), разработан универсальный метод лингво-комбинаторного моделирования, позволяющий моделировать слабоформализованные системы. «Модель состоит из трех групп переменных: характеристик основных понятий, изменения этих характеристик и структурированной неопределенности в эквивалентных уравнениях, которая может быть использована для адаптации и управления. В качестве примеров рассматриваются

модели атомов, города, организма и атмосферы» [14, с. 71]. Метод лингво-комбинаторного моделирования относительно градостроительства предполагает систематизацию и адаптацию современных научных знаний организации пространства, выявляющих новые технологии создания устойчивой среды. Модель устойчивой полицентрической структуры города исследуется М. Б. Игнатьевым на примере Санкт-Петербурга. В пространстве города рассматриваются центры, требующие выявления функциональных доминант, распределения коммуникационных связей, средств координации и взаимодействия всех функциональных компонентов [15].

Одним из основоположников структурирования городской ткани посредством кластеров (фрактальных элементов) в 70-е гг. XX в. стал американский архитектор Кристофер Александер, представивший в книге «Язык шаблонов» новую концепцию проектирования шаблонов К. Александера заключаются в «максимизации связей внутри компонентов». В книге «Язык шаблонов» К. Александер говорит о «минимизации связей между компонентами» (микрорайоны, районы, кварталы, единичные объекты), которые предполагают расширение границ посредством взаимодействия с другими пространственными структурами. Взаимодействие происходит за счет создания общественных и многофункциональных образований на периферии пространственных структур.

Целостность и самостоятельность системы и подсистемы у К. Александера предполагают:

- соразмерность с человеком;
- открытость системы (целое с открытыми границами);
- самоорганизацию системы;
- зависимость системы от среды;
- каждый элемент системы также имеет свою систему.

Качества соразмерности, целостности, самоорганизации системы, самоподобия и взаимозависимости частного и целого характерны для фрактальных структур.

На градостроительном уровне деление города на районы фрактально, системы самоподобны.

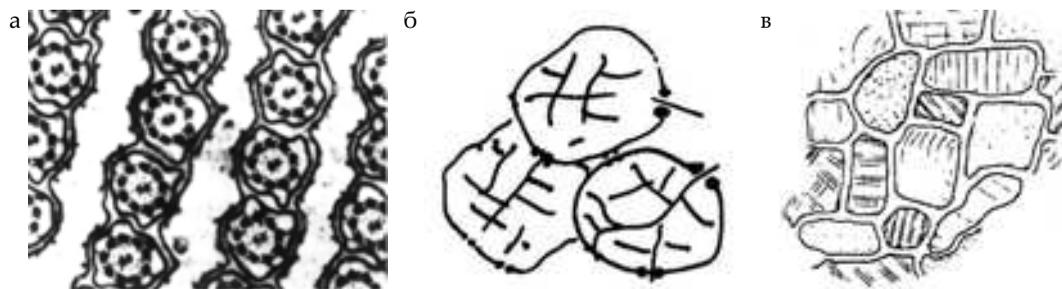


Рис. 6. Изображения клеточных структур и градостроительных образований:

- а – клетка с клеточной оболочкой [16, с. 126];  
 б – схематичное деление района города на микрорайоны [16, с. 125];  
 в – границы субкультур в районе [16, с. 91]

Принципы организации городской среды К. Александра базируются на биологических структурах (рис. 6, а). Фрактальное развитие природной формы предполагает нелинейность и вариации в развитии самоподобных структур, что создает уникальность каждого объекта. Интеграция в городскую среду зеленых зон [16, с. 170], культовых мест [16, с. 350] и маленьких городских площадей [16, с. 332], как неотъемлемого элемента структуры, формирует социально-культурную составляющую общества. В процессе создания архитектурных и градостроительных объектов учитывается не только функциональный и коммуникационный аспекты освоения пространства, но и визуальный, контекстуальный.

Модель организации пространства К. Александра и разработка паттернов (шаблонов) атриумных пространств, соотносимых с градостроительной ситуацией, видится авторами перспективной для дальнейшего исследования.

**Выводы.** В ходе проведенного исследования были учтены современные концепции устойчивого полицентрического развития города и тенденции внедрения атриумных структур в городскую ткань. Качества среды, формируемые в процессе реорганизации пространств, были представлены авторами статьи в контексте фрактального структурирования на локальном и градостроительном уровнях. Посредством включения атриумных пространств в архитектурное сооружение активизируются следующие аспекты функционирования и развития высокоурбанизированного города:

- акцентируется доминирующий элемент в структуре здания, комплекса зданий, узла (кластера);
- посредством перекрытых светопрозрачными конструкциями коридоров, переходов, пассажей концентрируются и направляются потоки людей – усиливается коммуникационная функция атриумных пространств;
- исключается однородность или агрессивность городской среды с фрактальной (дисперсной, динамичной) структурой при визуальном восприятии рекреационных, деловых, торговых и других общественных пространств.

Таким образом, архитектурный объект с атриумом, включенный в фрактальную сетку объемно-планировочных, функциональных или иных систем города, усиливает свою культурную, социальную, экономическую значимость для прилегающих территорий, создает предпосылки для трансформации, мобильности, развития композиционной структуры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев Э.П., Кузнецова Г.Н. Визуальная экология: взгляд на структурное формообразование в соединении позиции «Глубокой экологии» и эстетики // Вестник МГОУ. Серия «Лингвистика». 2011. № 1. С. 184-194.
2. Всеобщая история архитектуры. Т. 1 / гл. ред. Н.В. Баранов. М.: Стройиздат, 1970. 514 с.
3. Scavi di Villa Adriana. Via Lago di Lesina. Tivoli, RM, Italia [Электронный ресурс]. URL: <http://www.azgay.it/taxonomy/term/930> (дата обращения: 20.02.2017).
4. Обобщенный перечень технических решений, согласованных Главным государственным инспектором Российской Федерации по пожарному надзору (или одним из его заместителей) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mchs.gov.ru/document/4861915> (дата обращения: 18.08.2017).
5. Алексеев С. Экоустойчивая архитектура: большепрозрачные светопрозрачные здания и сооружения // «Деловой Петербург» [Электронный ресурс]. URL: <http://blog.dp.ru/post/4699/> (дата обращения: 24.01.2018).
6. Площадь Федерации (Мельбурн) [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 07.01.2017).
7. Harbin Opera House, MAD Architects 2015 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.archdaily.com/778933/harbin-opera-house-mad-architects> (дата обращения: 27.01.2018).
8. Вахниченко А.В. Атриумное пространство в городской среде // Коммунальное хозяйство городов. 2016. № 128. [Электронный ресурс]. URL: <http://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/4761> (дата обращения: 22.01.2017).
9. Бабич В.Н. О фрактальных моделях в архитектуре // Архитектон: известия вузов. 2010. № 30. [Электронный ресурс]. URL: [http://archvuz.ru/2010\\_2/2](http://archvuz.ru/2010_2/2) (дата обращения: 26.12.2017).
10. Колесников С.А. Архитектурная типология высокоурбанизированных многофункциональных узлов городской структуры крупнейшего города: дис. ... канд. арх.: 18.00.2002. Самара, 2006. 180 с.
11. Гайкова Л.В. Полицентризм как парадигма развития российских городов // Архитектон: известия вузов. 2015. № 50. [Электронный ресурс]. URL: [http://archvuz.ru/2015\\_2/6](http://archvuz.ru/2015_2/6) (дата обращения: 20.06.2016).
12. Кравченко М. П. Развитие фрактальной теории в архитектуре. 2010 [Электронный ресурс]. URL: [http://taby27.ru/studentam\\_aspirantam/aspirant/filosofiyanauki-arxitekture-dizajnu-dpi/fraktal-arch.html](http://taby27.ru/studentam_aspirantam/aspirant/filosofiyanauki-arxitekture-dizajnu-dpi/fraktal-arch.html) (дата обращения: 03.08.2016).
13. Медведева Н.Ю., Денисов Д.В., Журавлев М.Ю. [и др.] Первоначала как фактор организации и освоения пространства: генезис, число, топология, вероятность, классификация: монография / под общ. ред. Д.В. Денисова. Самара: Изд-во СамГУПС, 2016. 352 с.
14. Игнатъев М. Б. Кибернетическая картина мира. Сложные киберфизические системы / предисл. акад. РАН С. В. Емельянова. СПб.: ГУАП, 2014. 472 с.
15. Игнатъев М.Б. Просто кибернетика. СПб.: Старта, 2016. 248 с.
16. Александр К., Исикава С., Силверстайн М. Язык шаблонов. Города. Здания. Строительство / [пер. с англ. И. Сыровой]. М.: Изд-во Студии Артемия Лебедева, 2014. 1097 с.

Об авторах:

**МЕДВЕДЕВА Наталия Юрьевна**

ассистент кафедры архитектурно-строительной графики и изобразительного искусства  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. 8(909) 344-54-26  
E-mail: g\_n\_y@bk.ru

**ДЕНИСОВ Денис Викторович**

кандидат культурологии, доцент кафедры лингвистики  
Самарский государственный университет путей  
сообщения  
443066, Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2 В,  
тел. 8(917)151-29-01  
E-mail: denisansk@gmail.com

**ПАРШИН Алексей Николаевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
архитектурно-строительной графики и изобразительного  
искусства  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
тел. 8(960)823-83-76

**MEDVEDEVA Natalia Y.**

Assistant of the Architecture-Building Graphics and Fine Art  
Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (909) 344 54 26  
E-mail: g\_n\_y@bk.ru

**DENISOV Denis V.**

PhD in Cultural Science, Associate Professor of the Linguistics  
Chair  
Samara State Transport University  
443066, Russia, Samara, Svobody str., 2 V,  
tel. (917) 151 29 01  
E-mail: denisansk@gmail.com

**PARSHIN Alexey N.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Archi-  
tecture-Building Graphics and Fine Art Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (960) 823 83 76

Для цитирования: *Медведева Н.Ю., Денисов Д.В., Паршин А.Н.* Атриумные пространства: реализация фрактальных моделей локальных и градостроительных структур // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 111-116. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.21.

For citation: *Medvedeva N.Y., Denisov D.V., Parshin A.N.* Atrium Spaces: Realization of Fractal Models of Local and Urban Structures // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 111-116. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.21.

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ



УДК 711.4-625

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.22

И. Д. ШАРОВА

## АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРОДСКОЙ ВЕЛОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

DESIGN ALGORITHM OF URBAN BICYCLE INFRASTRUCTURE

*Представлен алгоритм проектирования городской велотранспортной инфраструктуры с использованием социологических, натуральных и психологических исследований, пространственной многокритериальной оценки сегментов улично-дорожной сети. В теле алгоритма выделяются следующие блоки: сбор входных данных, социологические и психологические исследования, определение существующего и планируемого количества пользователей, пространственная многокритериальная оценка сегментов улично-дорожной сети, типология планировочных решений, этапность развития велотранспортной инфраструктуры. В ходе применения алгоритма в проектировании была выявлена высокая степень корреляции результатов с экспертными предложениями, что позволяет рекомендовать его к применению при проектировании и расширении велотранспортной инфраструктуры в городах.*

**Ключевые слова:** велотранспортная инфраструктура, городская среда, геоинформационная система, транспортная система, мегаполис

*An algorithm for designing urban cycling infrastructure using sociological, natural and psychological research, spatial multi-criteria evaluation of segments of the road network is presented. The following blocks are distinguished in the body of the algorithm: collection of input data, sociological and psychological research, determination of the existing and planned number of users, spatial multi-criteria assessment of the road network segments, typology of planning decisions, the phased development of the bicycle transport infrastructure. During the application of the algorithm in the design, a high degree of correlation of the results with expert proposals was revealed, which makes it possible to recommend it for use in the design and expansion of the cycle transport infrastructure in cities.*

**Keywords:** cycling transport infrastructure, urban environment, geoinformation system, transport system, metropolis

На сегодняшний день крупные города мира стремятся уменьшить долю передвижений на личном автотранспорте, поддерживают совершенствование системы общественного транспорта, пешеходной и велотранспортной инфраструктуры (далее – ВТИ) [1–6]. Существуют различные подходы к проектированию и реализации ВТИ, в литературе сформулированы ее основные принципы и приемы [1–3, 7–10]. В большинстве случаев процесс проектирования основывается на социологических исследованиях [9, 11] и выводах экспертов, часто вооруженных обширными теоретической базой, но не всегда имеющими исчерпывающие знания о конкретной территории проектирования. В таких ситуациях возникает конфликт между местными проектировщиками или представителями

велообщества и экспертными решениями. Разработаны теоретические методики проектирования, позволяющие при помощи геоинформационных систем принять решение о наиболее эффективном расположении линейных объектов ВТИ на основе общих характеристик города и улично-дорожной сети (далее – УДС) [12,13]. Однако авторы отмечают, что в алгоритме не учитываются локальные особенности: проблема проектирования в условиях неопределенности и недостатка данных актуальна по всему миру [14]. Для разработки проектных решений, удовлетворяющих всем требованиям, предлагается использование авторского алгоритма проектирования велотранспортной инфраструктуры с привлечением местных специалистов различных областей.

Алгоритм представляет собой методику проектирования, систему последовательных задач для получения наиболее эффективной модели ВТИ.

Отдельно необходимо отметить, что выполнение алгоритма рекомендуется вести в геоинформационных системах. В рамках данной работы использовалась программа ArcGIS [15]. Использование компьютерных технологий как инструмента проектирования освобождает исследователя города от технической работы [16]. На небольших территориях проектирования может быть применено и ручное выполнение задач, однако они могут занять значительное время. Геоинформационные системы являются удобным и современным инструментом для решения ряда градостроительных и транспортных задач [12, 13, 17–19], и при наличии достаточных ресурсов для выполнения алгоритма может быть разработано собственное программное обеспечение.

Алгоритм построен таким образом, что каждый его блок может рассматриваться как законченное исследование, а может являться входными данными для следующего блока при необходимости более детальной разработки. Выделяются следующие блоки: сбор входных данных, социологические и психологические исследования, определение существующего и планируемого количества пользователей ВТИ, пространственная многокритериальная оценка сегментов УДС, типология планировочных решений, этапность развития. Общая схема взаимодействия блоков алгоритма отображена на рис. 1.

**Блок 1, сбор входных данных.** Входные данные, необходимые для выполнения алгоритма, по форме можно разделить на четыре группы: пространственные данные, сведения о существующем использовании, данные о населении. Социологические и психологические исследования (выделены в блок 2). По этапности применения выделены входные данные 1-го и 2-го уровня.

В первую очередь необходимы пространственные данные в виде карты улично-дорожной сети, а также сведения о существующих объектах ВТИ (например, для работы в геоинформационной системе ArcGIS необходим файл с разрешением «shape»). Алгоритм предполагает деление улично-дорожной сети на сегменты, каждому из которых на последующих этапах будут присвоены определенные характеристики при помощи натурных исследований местными экспертами.

Данные о населении могут быть получены на основании официальных источников местной статистики субъекта РФ: общая численность населения города, население старшего школьного возраста (15–17 лет), студенческого возраста (18–25 лет), население в возрасте 26–50 лет, а также численность локального велосообщества.

Выходные данные 2-го уровня включают в себя следующие пространственные данные: карта существующей улично-дорожной сети, карта оценки территориальных ресурсов, расположение существующих точек притяжения, ТПУ, достопримечательностей, карта gps-данных о передвижении велосипедистов. В качестве сведений о существующем использовании необходимо подготовить перечень основных пунктов назначения при передвижении на велосипеде (на основании социологических исследований). Необходимо также указать планируемые ресурсы для реализации ВТИ для определения километража, планируемое количество точечных объектов ВТИ.

**Блок 2, социологические и психологические исследования.** Результаты социологических исследований также являются входными данными 1-го уровня. Необходимо провести два независимых социологических исследования: среди смешанной аудитории и среди активных велосипедистов. Первое исследование можно назвать классическим для определения существующего уровня велосипедиза-

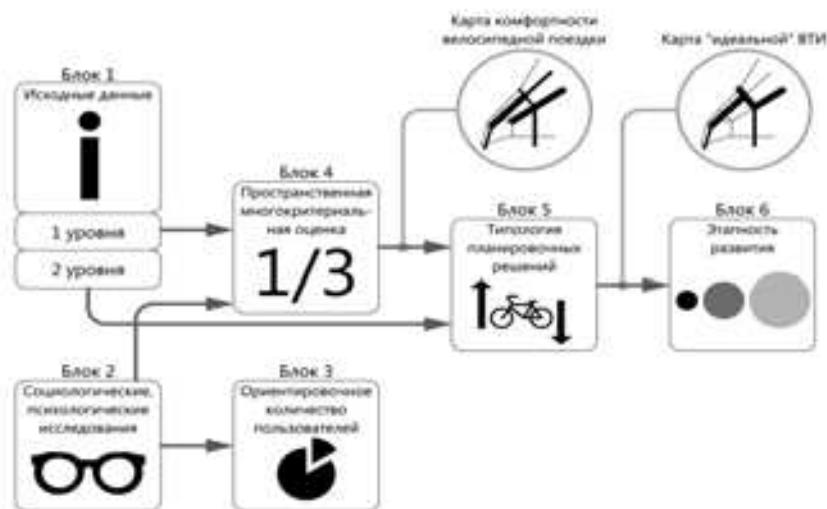


Рис. 1. Схема взаимодействия блоков алгоритма проектирования ВТИ

ции города. Выявляется процент велосипедистов относительно всего населения, основные направления движения, причины неиспользования велосипеда, расположение якорных точек, маршрутов движения [20], приоритетное расположение точечных объектов ВТИ и др., присутствует вопрос о намерении использовать велосипед в качестве транспортного средства при условии создания ВТИ. Анкетирование должно быть именно сплошным, т. е. заполнять анкету необходимо всем участникам выборки вне зависимости от их отношения к велосипедному движению. Для получения более точных результатов автором предлагается дифференциация респондентов по возрасту (старший школьный возраст – 15–17 лет, студенты – 18–25 лет, взрослые – 26–50 лет). Как показывает практика, последний вопрос о намерении использования ВТИ имеет психологический аспект, в свете чего на первом уровне входных данных рекомендуется привлечение профессиональных психологов с целью проведения дополнительного исследования, основной задачей которого ставится определение реального процента потенциальных пользователей ВТИ.

Второе социологическое исследование проводится среди активных велосипедистов, его цель заключается в определении значимости выявленных автором параметров городской среды для велосипедиста. Результатом исследования должен стать коэффициент значимости для каждого критерия: безопасность, прямолинейность, благоустройство, функциональная насыщенность, связность, корреляция с транспортной системой, корреляция с природным каркасом. Респондентам предлагается оценить значимость каждого критерия по шкале от 1 до 5, где 1 – данный параметр не важен, 5 – очень важен и является определяющим при выборе маршрута.

**Блок 3, определение существующего и планируемого количества пользователей ВТИ.** Для определения существующего количества велосипедистов используются данные социологических исследований с дифференциацией по возрасту. Выявляется процент старших школьников (15–17 лет), которые используют велосипед в теплое время года несколько раз в месяц и чаще, результат экстраполируется на общее население города старшего школьного возраста. Та же операция проводится со студентами и остальным населением в возрасте 26–50 лет. Определение планируемого количества велосипедистов ведется по тому же принципу. На основании социологических исследований выделяется процент респондентов каждой возрастной группы, которые планируют использовать ВТИ, и экстраполируется на общую численность населения рассматриваемого возраста. Для получения более точного количества необходимо учесть психологический коэффициент реальных потенциальных пользователей. Необходимо также отметить, что данный показатель в

значительной степени зависит не только от планировочных изменений в городе и реального создания объектов ВТИ, но и от продвижения, рекламы и мероприятий.

**Блок 4, пространственная многокритериальная оценка сегментов УДС.** На основании натуральных исследований выделяются сегменты улично-дорожной сети как участки с одинаковыми показателями по всем рассматриваемым критериям, причем сегмент не обязательно совпадает с расстоянием от перекрестка до перекрестка.

Каждый сегмент оценивается по критерию безопасности (в контексте совмещения потоков велосипедного, автомобильного и пешеходного движения), прямолинейности, благоустройства, функциональной насыщенности, связности (при наличии существующей ВТИ), корреляции с транспортной системой и корреляции с природным каркасом (в случае с анализом сегментов УДС – на основании рельефа). Каждому сегменту присваивается 7 переменных: безопасность  $1 < BEZ < 3$ , прямолинейность  $1 < PR < 3$ , благоустройство  $1 < BLAGO < 3$ , функциональная насыщенность  $1 < FN < 3$ , связность  $1 < SV < 3$ , корреляция с транспортной системой  $1 < TRS < 3$ , корреляция с природным каркасом на основании данных о рельефе  $1 < PRIR < 3$ . Дополнительно присваиваются критерии трафика  $0 < TF < 3$  существующей активности велосипедного движения  $1 < A < 3$ , а также переменная наличия или отсутствия территориальных ресурсов  $0 < T < 3$ .

Следующим шагом является объединение данного блока с блоком социологических исследований. Каждая оценка умножается на соответствующий коэффициент значимости, в результате чего для каждого сегмента УДС вычисляется комплексный коэффициент комфортности велосипедной поездки. Формируется карта дифференциации сегментов УДС по коэффициенту комфортности велосипедной поездки.

$$K_{\text{комф}} = K_{\text{без}} \cdot R_{\text{без}} + K_{\text{ф}} \cdot R_{\text{ф}} + K_{\text{н}} \cdot R_{\text{н}} + K_{\text{блз}} \cdot R_{\text{блз}} + K_{\text{прир}} \cdot R_{\text{прир}} + K_{\text{тр}} \cdot R_{\text{тр}}$$

где  $K_{\text{комф}}$  – коэффициент комфортности велосипедной поездки;

$R_{\text{без}}$  – оценка безопасности сегмента УДС с позиции велосипедного движения;

$K_{\text{без}}$  – коэффициент значимости критерия безопасности по результатам социологического исследования;

$R_{\text{ф}}$  – оценка функциональной насыщенности сегмента УДС;

$K_{\text{ф}}$  – коэффициент значимости критерия функциональной насыщенности по результатам социологического исследования;

$R_{\text{н}}$  – оценка прямолинейности сегмента УДС;

$K_{\text{н}}$  – коэффициент значимости критерия прямолинейности по результатам социологического исследования;

$R_{\text{блз}}$  – оценка благоустройства сегмента УДС;

$K_{\text{олз}}$  – коэффициент значимости критерия благоустройства по результатам социологического исследования;

$R_{\text{трп}}$  – оценка корреляции сегмента УДС с транспортной системой;

$K_{\text{прп}}$  – коэффициент значимости критерия корреляции с транспортной системой по результатам социологического исследования;

$R_{\text{тр}}$  – оценка корреляции сегмента УДС с природным каркасом;

$K_{\text{пр}}$  – коэффициент значимости критерия корреляции с природным каркасом по результатам социологического исследования.

Результаты выполнения блока 4 могут быть представлены в виде карты комфортности велосипедной поездки. В качестве примера на рис. 2 отображены результаты для Самары. Выявлена высокая степень корреляции комплексного коэффициента комфортности поездки с существующей активностью велосипедного движения.

#### **Блок 5, типология планировочных решений.**

Для определения необходимых приемов формирования линейных объектов ВТИ в сложившейся городской застройке сегменты улично-дорожной сети дифференцированы на шесть типов, для каждого из которых предлагаются приемы и способы реализации ВТИ, типология сегментов улично-дорожной сети на основании коэффициента комфортности велосипедной поездки, территориальных ресурсов и ряда других параметров.

Тип 1 сегментов УДС представляет собой существующую сеть объектов ВТИ и на предпроектном этапе не требует изменений.

К *типу 2* отнесены улицы и дороги с низким трафиком и скоростью движения автомобильного потока до 40 км/ч, где создание обособленных или выделенных линейных объектов ВТИ не обязательно, так как перемещение на велосипеде на момент исследования является безопасным и комфортным. Рекомендуется совмещение потоков (пешеходное / велосипедное движение, автомобильное / велосипедное движение) с установкой соответствующих дорожных знаков и минимальной разметкой.

Тип 3. Сегменты УДС с высоким значением коэффициента комфортности поездки ( $K_k > 2$ ) при высоком трафике ( $TF > 2$ ), требующем разделения потоков. К ним часто относятся улицы районного значения, участки магистралей. На выделенных сегментах предлагается создание линейных объектов ВТИ, смежных с пешеходным движением. Применяются приемы разделения потоков, безбарьерной среды, организации безопасных перекрестков, повышения связности сети линейных объектов ВТИ.

Тип 4. Сегменты УДС с низким и средним трафиком, низким значением коэффициента комфортности поездки ( $K_k < 2$ ) с небольшим территориальным ресурсом. К данному типу относится большинство улиц и дорог со средней интенсивностью движения. Рекомендуется разделение потоков с созданием выделенных линейных объектов ВТИ, смежных с автомобильным движением. Применяются приемы разделения потоков, безбарьерной среды, организации безопасных перекрестков, повышения связности сети линейных объектов ВТИ.



Рис. 2. Карта дифференциации сегментов УДС по итоговому коэффициенту комфортности велосипедной поездки

*Тип 5.* Сегменты УДС с высокой концентрацией ОКН, высокой функциональной насыщенностью, высоким трафиком. К данному типу относятся наиболее активные улицы в исторической части города, где целесообразно расположение туристических велосипедных маршрутов. Рекомендуется создание обособленных линейных объектов, примыкающих к проезжей части или тротуару. Применяются приемы разделения потоков, привязки к функциональным объектам, повышения качества благоустройства.

*Тип 6.* Наиболее прямолинейные сегменты улично-дорожной сети с высоким трафиком и значительными территориальными ресурсами. К данному типу в большинстве случаев можно отнести магистральные улицы, а также велосипедные маршруты в парках. Рекомендуется создание полностью изолированных линейных объектов ВТИ. Применяются приемы разделения потоков, расположения объектов на наиболее прямых улицах, повышения качества благоустройства.

Данная типология применима только к городской улично-дорожной сети и не учитывает возможные рекреационные маршруты на озелененных территориях. Учитывая значительное количество вариантов решения ВТИ в городской среде, типология не может предложить конкретных планировочных решений. Привязка к конкретному сегменту должна проводиться на следующем этапе проектирования с учетом рекомендаций, полученных в ходе данного исследования.

В результате выполнения данного блока получена карта «идеальной» велотранспортной инфра-

структуры города, включающая в себя все этапы (рис. 3). Для определения наиболее значимых участков, требующих реализации на первой стадии, необходимо выявление зон высокого, среднего и низкого потенциала развития ВТИ (блок 6).

**Блок 6, этапность развития.** Данный блок объединяется с блоком 2 «Социологические и психологические исследования». На основании результатов второго блока выделяются главные направления движения велосипедистов, точки притяжения. На основании карты расположения основных точек притяжения и понятия велосипедной доступности выстраиваются зоны велосипедной доступности до каждого источника, при этом последние классифицируются по функциональному назначению: деловые (вузы и офисные центры), рекреационные (парки, площади, набережные), утилитарные (торговые центры). Дополнительно выделяются зоны велосипедности туристических объектов.

Те области, где наблюдается пересечение зон велосипедной доступности точек притяжения, являются наиболее востребованными для создания объектов ВТИ (как линейных, так и точечных). В качестве результата выполнения блока формируется карта пересечений зон велосипедности, формируются три зоны развития ВТИ: зона высокого, среднего и низкого потенциала развития.

Зона высокого потенциала развития ВТИ определяется на пересечении зон велосипедности объектов всех четырех функциональных назначений:



Рис. 3. Карта типологии сегментов УДС с рекомендациями по созданию ВТИ

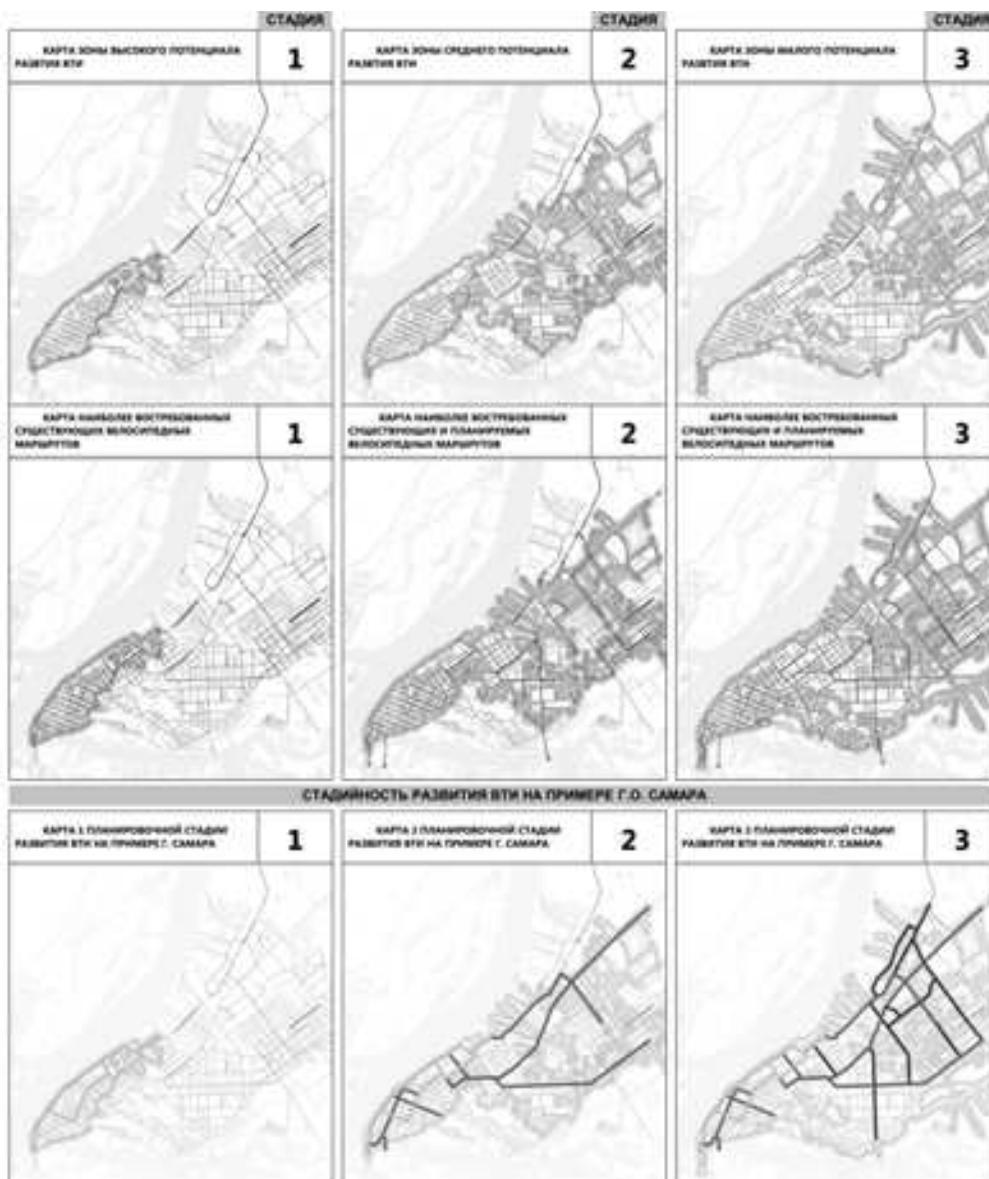


Рис. 4. Наложение зон велосодоступности, стадийность развития ВТИ для Самары

рекреационного, делового, утилитарного и туристического использования. Это зона среднего потенциала развития ВТИ, а также отдельные пересечения рекреационного и делового назначений.

В качестве примера на рис. 4 представлены карты наложения зон велосодоступности для Самары, а также следующие из этого этапы развития ВТИ.

**Выводы.** 1. Предложенный алгоритм проектирования представляет собой теоретическую «канву» для тщательного предпроектного анализа с последующим формированием поэтапного развития городской велотранспортной инфраструктуры (ВТИ). Так как проектирование ВТИ является междисциплинарной задачей, необходимо отметить, что с целью повышения достоверности результата каждый отдельный

блок алгоритма может быть представлен как отдельная задача для специалиста данной области. Результаты выполнения могут быть также внедрены в алгоритм и использованы для дальнейшей работы.

2. Стоит отметить вариативность полученной градостроительно-информационной системы: она может быть дополнена новыми данными о городе (строительством новой дороги, новой городской достопримечательности или изменением параметров какой-либо из переменных).

3. Представленная методика позволяет определить принципиальную схему формирования объектов ВТИ с теоретическим обоснованием, используя и мировой опыт проектирования, и знания местных проектировщиков и велосипедистов.

4. В ходе применения алгоритма в проектировании была выявлена высокая степень корреляции результатов с экспертными предложениями, что позволяет рекомендовать его к применению при проектировании и расширении велотранспортной инфраструктуры в городах.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дюфур Д. Велотранспортная инфраструктура: принципы и практика проектирования : пер. с англ. М.: ИНФРА-М, 2016. 269 с.
2. Вучик В.Р. Транспорт в городах, удобных для жизни / пер. с англ. А.Калинина; под научн. ред. М. Бликина. М. : Издательский дом «Территории будущего», 2011. 576 с.
3. Города для людей / Ян Гейл; пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2012. 276 с.
4. Литвинов Д.В. Принципы функциональной организации прибрежной территории крупных городов Поволжья // Градостроительство и архитектура. 2011. № 4. С. 21-23. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.04.4.
5. Вавилонская Т.В., Демурина Ю.Л. Реновация архитектурно-исторической среды с интеграцией пешеходных пространств // Научное обозрение. 2015. №9. С. 248-350.
6. Павлова И.Д. Велотранспортная инфраструктура как оптимальный способ восприятия города // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство: сборник статей / под ред. М. И. Балзанникова, К. С. Галицкова, Е. А. Ахмедовой; СГАСУ. Самара, 2017. С. 249-254.
7. Аудит велосипедной политики (Bicycle Policy Audit) ВУРАД [Электронный ресурс] : графические и текстовые материалы. Режим доступа : <http://www.byrad.org> (дата обращения: 12.04.2018).
8. Bicycle planning, best practices and count methodology [Электронный ресурс] / Puget Sound Regional Council. – 2011. – Режим доступа: [https://www.psrc.org/sites/default/files/udp\\_bicycle\\_studio\\_final\\_20110111.pdf](https://www.psrc.org/sites/default/files/udp_bicycle_studio_final_20110111.pdf)
9. Разработка концепции и программы мероприятий по развитию велосипедного движения в Санкт-Петербурге, в том числе по созданию и обустройству велодорожек: отчет о НИР / В.В. Донченко [и др.] М.: ОАО «НИИАТ», 2011. 196 с.
10. Collection of Cycle Concepts [Электронный ресурс] / Cycling Embassy of Denmark. 2012 г. — Режим доступа: <http://www.cycling-embassy.dk/wp-content/uploads/2013/12/Collection-of-Cycle-Concepts-2012.pdf> (дата обращения: 12.04.2018).
11. Боровик Е.А. Исследование спроса на велосипедную инфраструктуру [Электронный ресурс] : доклад I Международном велоконгрессе. М., 2016. Режим доступа: <http://micc2016.ru/presentations/proectirovanie-borovik.pdf> (дата обращения: 12.04.2018).
12. Brussel M. Bicycle planning and network design / University of Twente, Faculty of geo-information science and Earth observation. — Режим доступа: [http://staging.unep.org/transport/sharetheroad/PDF/courseware\\_nmt/Lecture6\\_Bicycle\\_planning\\_networkdesign\\_Brussel.pdf](http://staging.unep.org/transport/sharetheroad/PDF/courseware_nmt/Lecture6_Bicycle_planning_networkdesign_Brussel.pdf) (дата обращения: 12.04.2018).
13. Roford N., Chiaradia A. Gil J. Пространственный синтаксис: Роль планировки города при выборе велосипедных маршрутов в Центральном Лондоне [Электронный ресурс] // University of California. 2007. Режим доступа: <http://escholarship.org/uc/item/8qz8m4fz> (дата обращения: 12.04.2018).
14. Мусеев Ю.М. Дееспособность системы градостроительного планирования в условиях неопределенности // Архитектура и строительство России. 2013. № 4. С. 2.
15. Esri/Products. – URL: <http://www.esri.com/products/index.html>
16. Шубенков М.В. Проблемы архитектурной деятельности в условиях развития компьютерных технологий // Архитектон: известия вузов. 2006. № 15. С. 14.
17. Котиков Ю. Г. Концепции транспортной геоинформационной системы мегаполиса // Сб. докладов 9-й междунар. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах». СПб.: СПбГАСУ, 2010. С. 47-62.
18. Михайлов А. Ю. Научные основы проектирования улично-дорожных сетей : дис. ... д-ра тех. наук: 18.00.04. Иркутск, 2004. 378 с.
19. Есаулов Г.В. «Умный город» как модель урбанизации XXI века // Градостроительство. 2013. №4(26). С. 27-31.
20. Крашенинников А.В. Сценарное проектирование пешеходных пространств // Наука, образование и экспериментальное проектирование: тр. МАРХИ: материалы международной научно-практической конференции. М., 2015. С. 211-213.

Об авторах:

#### ШАРОВА (ПАВЛОВА) Ирина Дмитриевна

аспирант кафедры реставрации и реконструкции архитектурного наследия  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: 9905181@mail.ru

#### SHAROVA (PAVLOVA) Irina D.

Postgraduate Student of the Restoration and Reconstruction of Architectural Heritage Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: 9905181@mail.ru

Для цитирования: Шарова И.Д. Алгоритм проектирования городской велотранспортной инфраструктуры // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 117-123. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.22.  
For citation: Sharova I.D. Design Algorithm of Urban Bicycle Infrastructure// Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 117-123. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.22.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ



УДК 621.311

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.23

И. И. АРТЮХОВ  
С. Ф. СТЕПАНОВ  
А. И. ЗЕМЦОВ  
Г. Н. ТУЛЕПОВА

### ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МИКРОСЕТИ НА ОСНОВЕ ГРУППЫ АВТОНОМНО РАБОТАЮЩИХ СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

TRANSIENT PROCESSES IN THE MICROGRID BASED ON A GROUP OF AUTONOMOUS  
OPERATING SYNCHRONOUS GENERATORS

Современный уровень развития силовой электроники позволяет создавать микросети на основе синхронных генераторов, работающих с различными скоростями вращения вала. Управление потоками энергии в таких сетях и обеспечение заданных параметров вырабатываемой электроэнергии осуществляется с помощью преобразовательных устройств. В статье приводятся результаты исследования переходных процессов в микросети, в которой потоки энергии суммируются на шине постоянного тока. Имитационное моделирование микросети производится с помощью программного комплекса MATLAB с пакетом расширения Simulink. Показано, что для обеспечения устойчивости системы необходимо осуществлять оперативную коррекцию параметров автоматического регулятора.

**Ключевые слова:** микросеть, синхронный генератор, преобразование энергии, переходные процессы, имитационное моделирование

Для современного этапа развития электроэнергетики характерным является интенсивный процесс создания и развития микросетей. Этот процесс обусловлен тем, что микросети имеют ряд преимуществ по сравнению с классическими способами генерирования, передачи и распределения энергии. В микросети выработанная энергия в основном используется местными потребителями, что обеспечивает снижение потерь, связанных с передачей и распределением энергии по электрическим сетям. Надежность снабжения электроэнергией в рамках микросети обеспечить существенно легче, чем в крупных энергетических системах. Потребители энергии в микросети мо-

The current level of development of power electronics allows the creation of microgrids based on synchronous generators operating at different speeds of rotation of the shaft. The management of energy flows in such networks and the provision of the specified parameters of the generated electricity is carried out using converter devices. The article presents the results of the study of transient processes in the microgrid, in which the energy flows are summed on the DC bus. Simulation of the microgrid is performed using the MATLAB software package with the Simulink expansion pack. It is shown that to ensure the stability of the system, it is necessary to carry out an operational correction of the parameters of the automatic controller.

**Keywords:** microgrid, synchronous generator, power conversion, transient processes, simulation modeling

гут участвовать в процессе балансирования мощности путем регулирования своих нагрузок, генерируя, накапливая и отдавая электроэнергию в микросеть [1, 2].

Микросети могут быть построены на базе широко распространенных источников энергии, таких как дизель-генераторы, газотурбинные генераторы и т. п. В настоящее время перспективы создания микросетей рассматривают также в связи с возможностью интеграции возобновляемых источников энергии, таких как солнечная и ветровая [3].

Существуют различные варианты микросетей. Они могут работать автономно или быть соединены с электросетью энергосистемы. Объединение

отдельных локальных сетей в микросеть может осуществляться как по шинам переменного, так и постоянного тока. При этом микросети постоянного напряжения имеют ряд преимуществ.

На рис. 1 показана схема микросети, которая образована путем объединения по шине постоянного тока N автономно функционирующих модулей [4]. Источником энергии в каждом модуле является синхронный генератор СГ с приводным двигателем ПД. Вал генератора k-го модуля вращается с частотой  $n_k$ , напряжение и частота имеют значения  $U_k, f_k$ .

С помощью выпрямителя AC/DC, регулятора DC/DC и сглаживающего LC-фильтра осуществляется преобразование электрической энергии переменного тока на выходе СГ в электрическую энергию постоянного тока с требуемыми параметрами. В составе модулей имеются электроприемники как постоянно, так и переменного тока промышленной частоты.

Последние получают энергию от шины постоянного тока через инвертор DC/AC, который оснащается синус-фильтром для обеспечения требуемой формы напряжения. К шине постоянного тока могут быть подключены также внешние электроприемники.

Микросеть на рис. 1 характеризуется сложной динамикой. При изменении нагрузки и структуры микросети возникают переходные процессы, исследование которых может быть проведено с помощью современных программных продуктов, таких как MATLAB с пакетом расширения Simulink [5].

Схема имитационной модели для исследования переходных процессов в микросети с двумя модулями показана на рис. 2. Силовая часть микросистемы представлена блоками Subsystem (рис. 3), каждый из которых моделирует СГ с преобразователями AC/DC и DC/DC в виде двухполюсника, имеющего ЭДС

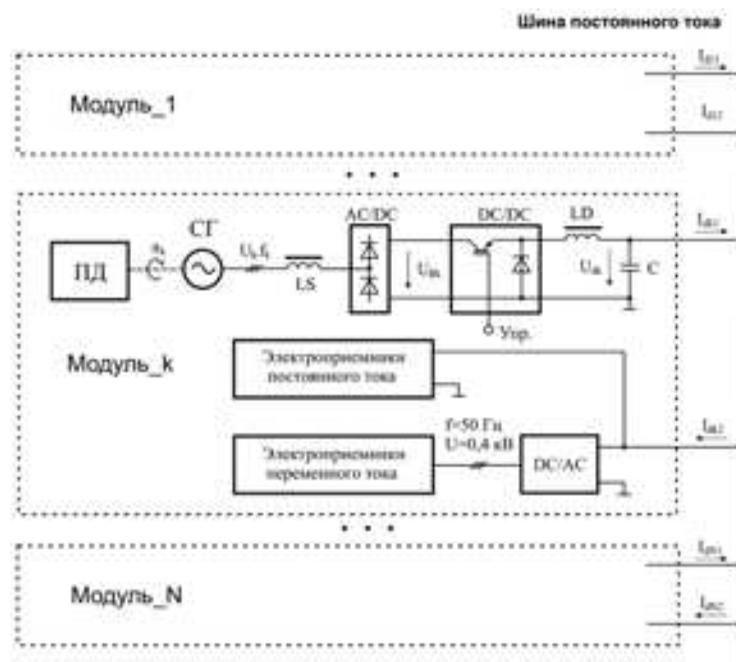


Рис. 1. Схема микросети на основе группы синхронных генераторов

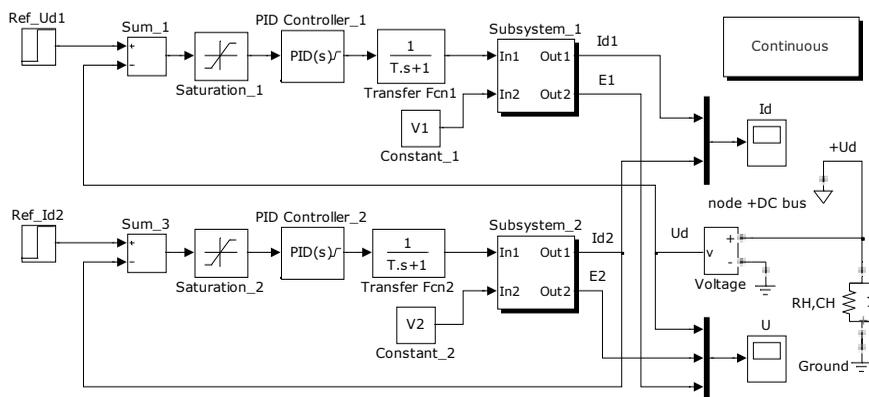


Рис. 2. Схема имитационной модели

$E_{dk}$  и внутреннее сопротивление  $R_{sk}$ . Правомерность такого подхода обоснована в [6–8] и других работах. Кроме того, принято допущение о представлении преобразователя DC/DC аperiodическим звеном первого порядка в предположении о том, что управление силовым ключом преобразователя осуществляется с достаточно высокой частотой [9].

Основу блока Subsystem составляет управляемый источник напряжения (блок Controlled Voltage Source), который включен последовательно с резистором RS и диодом (Diode), обеспечивающим однопольный характер выходного тока модуля. Резистор RS моделирует внутреннее сопротивление источника энергии, которое при углах коммутации, не превышающих  $\pi/3$ , рассчитывается по формуле

$$R_{sk} = \frac{3}{\pi} \omega L_{ok} + 2 \cdot R_{ok}, \quad (1)$$

где  $\omega L_{ok}$ ,  $R_{ok}$  – соответственно индуктивное и активное сопротивление на входе выпрямителя.

Величина напряжения блока Controlled Voltage Source задается сигналом, который формируется путем перемножения сигналов на информационных входах блока Subsystem. На один вход через блок Transfer Fcn поступает управляющий сигнал от регулятора (блок PID Controller), на другой – константа, численно равная напряжению на выходе преобразователя AC/DC в режиме холостого хода. В результате на выходе блока Controlled Voltage Source формируется напряжение, соответствующее ЭДС двухполюсника:

$$E_{dk} = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} \cdot \gamma \cdot C_E \cdot \Phi_k \cdot n_k, \quad (2)$$

где  $C_E$  – постоянная для каждой электрической машины величина;  $\Phi_k$  – основной магнитный поток;  $n_k$  – частота вращения вала СГ;  $\gamma$  – коэффициент заполнения широтно-импульсной модуляции (ШИМ) преобразователя DC/DC.

К блоку Controlled Voltage Source через сглаживающий дроссель, имеющий индуктивность LD и активное сопротивление RD, подключена нагрузка модуля в виде параллельно соединенных резистора R и конденсатора C.

Силовые выходы блоков Subsystem подключены к контактам +DC bus и Ground, образующим шину постоянного тока. К этим контактам присоединена также внешняя нагрузка микросистемы, которая моделируется параллельно соединенными резистором RH и конденсатором CH.

Первый модуль является ведущим и работает в режиме стабилизации напряжения на шине постоянного тока. Для этого сигнал с измерителя напряжения (блок Voltage) подается на инверсный вход элемента сравнения, на прямой вход которого поступает сигнал от задатчика напряжения (блок Ref\_UD1). Разница сигналов обрабатывается регулятором (блок PID Controller) до тех пор, пока напряжение на шине постоянного тока не достигнет заданного значения.

Второй модуль (ведомый) спустя некоторое время после включения первого модуля должен

входить в режим стабилизации выходного тока. Для этого образован контур обратной связи с задатчиком в виде блока Ref\_ID2.

На рис. 4 показаны результаты моделирования микросети со следующими параметрами:

- внутреннее сопротивление источников – 0,1 Ом;
- эквивалентное сопротивление нагрузки – 3 Ом;
- суммарная емкость конденсаторов – 6600 мкФ;
- индуктивности и активные сопротивления сглаживающих дросселей – 1 мГн и 0,01 Ом соответственно.

Постоянные времени блоков Transfer Fcn составили 0,1 с.

Настройки регуляторов показаны в таблице.

Наименование регулятора	Коэффициенты регуляторов		
	пропорц. KP	интегр. KI	дифф. KD
PID Controller_1	0,002	0,014	0
PID Controller_2	0	0,05	0

Сценарий развития событий предполагался следующий. Приводные двигатели СГ вращают их валы с такой скоростью, что напряжения на выходах выпрямителей равны 500 В. Вначале запускается первый модуль и выходит в режим стабилизации напряжения на шине постоянного тока на уровне 300 В. Через 2 секунды запускается второй модуль и должен выйти в режим стабилизации тока на уровне 40 А.

Из графиков на рис. 4 видно, что первая стадия переходного процесса развивается успешно. Коэффициенты регулятора первого модуля подобраны так, что напряжение на шине постоянного тока выходит на заданный уровень без перерегулирования. Однако после того как поступает команда на запуск второго модуля и через некоторое время ЭДС  $E_{d2}$  этого модуля сравнивается с ЭДС  $E_{d1}$  первого модуля, возникают автоколебания, сопровождающиеся поочередным включением и отключением модулей.

Для устранения этого явления предложено уменьшать коэффициент передачи второго регулятора в тех режимах, когда разность ЭДС модулей становится меньше заданной величины. Схема имитационной модели микросети с корректором коэффициента передачи в контуре стабилизации тока показана на рис. 5. В схему модели введены блоки Summator\_3, Divide, Math Fuction, Gain\_3, которые реализуют функцию

$$A = K_3 \cdot \left( \frac{E_{d1} - E_{d2}}{E_{d1}} \right)^2, \quad (3)$$

где  $K_3$  – коэффициент, задаваемый в настройках блока Gain\_3.

Параметр A, который управляет коэффициентом передачи в контуре стабилизации тока, с помощью блока Saturation\_3 ограничивается диапазоном  $A_{min} \dots 1$ .

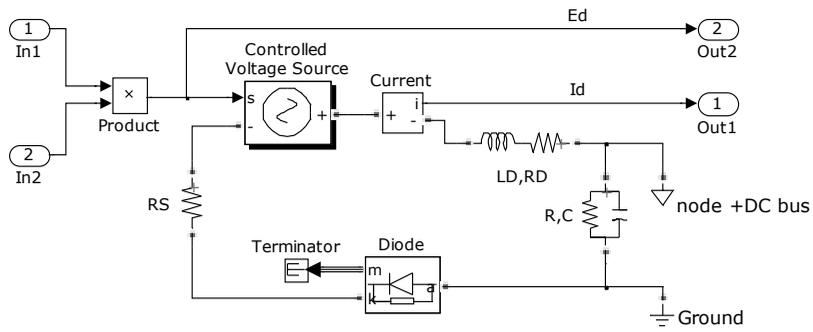


Рис. 3. Схема subsystem

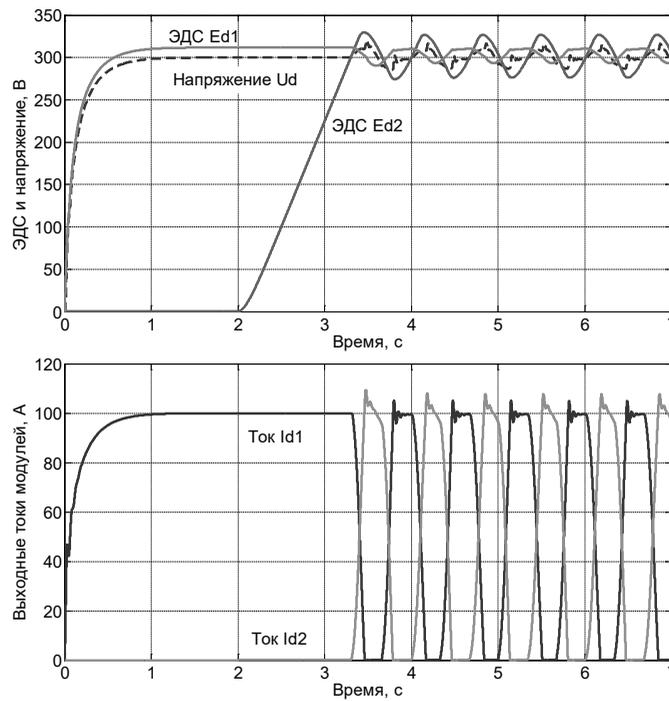


Рис. 4. Результаты моделирования переходных процессов в микросети (неустойчивый режим)

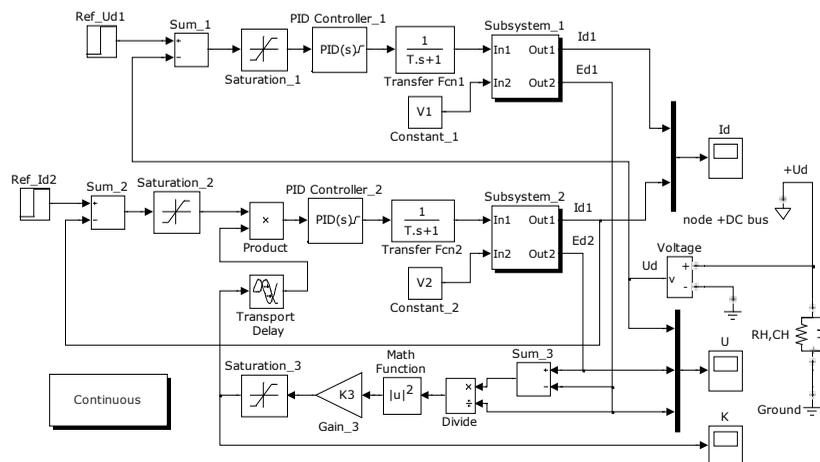


Рис. 5. Схема модели с корректором коэффициента передачи в контуре стабилизации тока

Результаты моделирования переходных процессов в микросети при коррекции коэффициента передачи в контуре стабилизации тока представлены на рис. 6. Минимальное значение параметра  $A_{\min} = 0,05$ ; коэффициент  $K_3 = 20$ . При таком значении  $K_3$  параметр  $A$  остается равным 1 до тех пор, пока модуль относительной разницы ЭДС не станет меньше

0,22. Из графиков на рис. 6 видно, что после 3-й секунды переходного процесса за счет уменьшения параметра  $A$  скорость изменения ЭДС  $E_{a2}$  уменьшается, что приводит к устойчивости системы. Происходит заданное перераспределение нагрузки модулей: ток 1-го модуля снижается до 60 А, а ток 2-го модуля возрастает до 40 А.

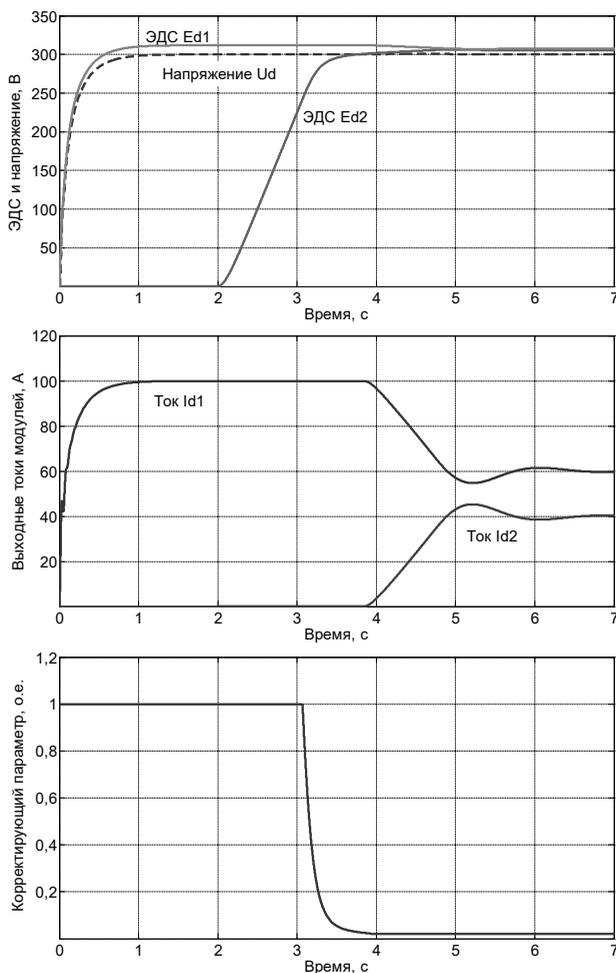


Рис. 6. Результаты моделирования переходных процессов в микросети с корректором коэффициента передачи

**Выводы.** 1. В настоящее время происходит интенсивный процесс создания и развития микросетей, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с классическими способами генерирования, передачи и распределения энергии. При этом современный уровень развития силовой электроники позволяет создавать микросети на основе генераторов, приводные валы которых вращаются с различными скоростями.

2. Микросеть на основе группы автономно работающих СГ характеризуется сложной динамикой. При изменении режима работы СГ, параметров нагрузки и структуры микросети возникают переходные процессы, для исследования которых необходимо применять современные программные продукты.

3. Исследование динамических режимов в микросети из двух модулей с автономно работающими СГ, проведенное с помощью программного комплекса MATLAB с пакетом расширения Simulink, показало возможность возникновения автоколебаний, которые сопровождаются поочередным включением и отключением модулей.

4. Предложено и подтверждено численными экспериментами на имитационной модели микросети, что для обеспечения устойчивой работы системы необходимо осуществлять оперативную коррекцию параметров автоматического регулятора модуля, работающего в режиме стабилизации тока.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Адомавичюс В.Б., Харченко В.В.* Особенности и проблемы построения микросетей // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Тр. междунар. науч.-техн. конф. М: ГНУ ВИЭСХ, 2012. Т. 5. С. 50–56.
2. *Лапшин С.А., Харченко В.В.* Система электроснабжения потребителей в сетях низкого напряжения с использованием различных источников энергии и управлением генерацией электроэнергии // Вестник аграрной науки Дона. 2015. № 4(32). С. 51–57.
3. *Dragicevic T., Lu X., Vasquez J.C., Guerrero J.M.* DC Microgrids – Part II: A Review of Power Architectures, Applications, and Standardization Issue // IEEE Transactions on Power Electronics. 2016. Vol. 31, № 5. Pp. 3528 – 3549.
4. *Артюхов И.И., Степанов С.Ф., Бочкарев Д.А., Тулепова Г.Н., Земцов А.И.* Микросеть на основе группы автономно работающих синхронных генераторов // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №4. С. 127-131. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.22.
5. *Черных И.В.* Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб: Питер, 2008. 288 с.
6. *Jatskevich J., Pekarek S.D., Davoudi A.* Parametric Average-Value Model of Synchronous Machine-Rectifier Systems // IEEE Transactions on Energy Conversion. 2006. Vol. 21. Issue 1. Pp. 9 – 18. DOI: 10.1109/TEC.2005.847974.
7. *Gonzalez-Longatt F.M., Wall P., Terzija V.* / A Simplified Model for Dynamic Behavior of Permanent Magnet Synchronous Generator for Direct Drive Wind Turbines // 2011 IEEE Trondheim PowerTech. DOI: 10.1109/PTC.2011.6019425.
8. *Соловьев В. А.* Моделирование тягового генератора и стенда для его испытания // Наука и образование. 2013. № 3. DOI: 10.7463/0313.0542271.
9. *Мелешин В.И., Овчинников Д.А.* Управление транзисторными преобразователями электроэнергии. М.: Техносфера, 2011. 576 с.

Об авторах:

### АРТЮХОВ Иван Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения и электротехнологии Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.  
Институт энергетики и транспортных систем  
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77  
E-mail: ivart1954@gmail.com

### СТЕПАНОВ Сергей Фёдорович

доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения и электротехнологии Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.  
Институт энергетики и транспортных систем  
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77  
E-mail: stepanov460915@yandex.ru

### ЗЕМЦОВ Артём Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий Филиал Самарского государственного технического университета в г. Сызрани  
446001, Россия, г. Сызрань, ул. Советская, 45  
E-mail: artex283@mail.ru

### ТУЛЕПОВА Гульсим Нуржановна

аспирант кафедры электроснабжения и электротехнологии Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.  
Институт энергетики и транспортных систем  
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77  
E-mail: gulsim\_tulepova@list.ru

### ARTYUKHOV Ivan I.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Energy Supply and Electrical Technology Chair  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov  
School of Energy and Transportation  
410054, Russia, Saratov, Polytechnicheskaya str., 77  
E-mail: ivart1954@gmail.com

### STEPANOV Sergey F.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Energy Supply and Electrical Technology Chair  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov  
School of Energy and Transportation  
410054, Russia, Saratov, Polytechnicheskaya str., 77  
E-mail: stepanov460915@yandex.ru

### ZEMTSOV Artem I.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Energy Supply of Industrial Enterprises Chair  
Syzran Branch of Samara State Technical University  
446001, Russia, Syzran, Sovetskaya str., 45  
E-mail: artex283@mail.ru

### TULEPOVA Gulsim N.

Postgraduate Student of the Energy Supply and Electrical Technology Chair  
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov  
School of Energy and Transportation  
410054, Russia, Saratov, Polytechnicheskaya str., 77  
E-mail: gulsim\_tulepova@list.ru

Для цитирования: *Артюхов И.И., Степанов С.Ф., Земцов А.И., Тулепова Г.Н.* Переходные процессы в микросети на основе группы автономно работающих синхронных генераторов // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 124-129. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.23.

For citation: *Artyukhov I.I., Stepanov S.F., Zemtsov A.I., Tulepova G.N.* Transient Processes in the Microgrid Based on a Group of Autonomous Operating Synchronous Generators // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, №3. Pp. 124-129. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.23.

В. В. ВАХНИНА  
В. Н. КУЗНЕЦОВ  
В. А. ШАПОВАЛОВ  
И. В. ГОРОХОВ  
А. Н. ЧЕРНЕНКО

## УЧЕТ КОНСТРУКЦИИ БАКА ОДНОФАЗНОГО СИЛОВОГО АВТОТРАНСФОРМАТОРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ РАСЧЕТЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЕГО ПОВЕРХНОСТЕЙ

DESIGN OF A SINGLE-PHASE POWER AUTOTRANSFORMER TANK OF ELECTRIC POWER SYSTEMS AND CALCULATION OF ITS SURFACES TEMPERATURE

*Разработана математическая модель, адекватно описывающая сложный профиль бака силового однофазного автотрансформатора большой мощности свыше 100 МВА. Определены тангенциальные составляющие напряженности магнитного поля рассеяния на поверхностях бака и дополнительные потери активной мощности от вихревых токов в стенках бака при насыщении магнитной системы автотрансформатора постоянным током, протекающим по заземленным обмоткам. Найдено множество наиболее нагретых точек бака автотрансформатора. Установлена зависимость максимальных значений скорости изменения температуры наиболее нагретых точек поверхности бака автотрансформатора АОД-ЦТН-267000/500/220 от величины постоянного тока.*

**Ключевые слова:** тепловая мощность, силовой автотрансформатор, моделирование бака, подмагничивание постоянным током, наиболее нагретые точки стенок бака

*A mathematical model has been developed that adequately describes the complex profile of a high-power single-phase autotransformer tank over 100 MVA. The tangential components of the magnetic field of dispersion on the surfaces of the tank and additional losses of active power from eddy currents in the walls of the tank are determined when the magnetic system of the autotransformer is saturated with direct current flowing through grounded windings. Many of the hottest points of the tank autotransformer are found. The dependence of the maximum values of the rate of change in the temperature of the most heated points on the surface of the tank of the autotransformer AODTSTN-267000/500/220 on the magnitude of the direct current was established.*

**Keywords:** thermal power, power autotransformer, tank modeling, direct current biasing, the most heated points of the tank walls

**Введение.** Во время работы силового однофазного автотрансформатора (АТ) в его активных материалах (металле обмоток, стали магнитной системы и в массивных конструктивных элементах из конструкционной стали) возникают потери энергии, выделяющиеся в виде тепла. Часть тепла идет на их нагревание, а другая часть отводится в окружающую среду. По мере роста температуры накопление тепла постепенно уменьшается, а теплоотдача увеличивается. В конечном итоге при длительном сохранении режима нагрузки повышение температуры прекращается и все выделяющееся тепло отдается в окружающую среду [1].

Чувствительность силовых трансформаторов и автотрансформаторов к нагрузкам выше номинальной зависит от их мощности. С увеличением мощности увеличивается плотность потока рассеяния и, как следствие, роль добавочных потерь от вихревых токов в баке.

При эксплуатации силовых однофазных автотрансформаторов возможно насыщение их магнитных систем от различных факторов [2–4]. При насыщении магнитной системы увеличиваются потоки

рассеяния и токи намагничивания. В баке автотрансформатора возникают дополнительные добавочные потери активной мощности от вихревых токов, которые дополнительно нагревают его. Нормы нагрева конструктивных элементов силовых трансформаторов и автотрансформаторов устанавливаются исходя из допустимых температур изоляционных материалов, соприкасающихся с их металлическими частями. При этом учитывается явление старения изоляции, определяющее срок службы трансформатора и его нагрузочную способность.

Главным риском является снижение электрической прочности вследствие образования пузырьков газа в области высокой напряженности электрического поля. Газовые пузырьки также могут образовываться на поверхности неизолированных металлических деталей, когда их температура вследствие увеличения индукции потока рассеяния повысится более 180 °С, что приведет к разложению масла [5]. Кроме того, температура масла в верхних слоях может превысить предельно допустимое значение 115 °С, регламентированное нормативными документами [6, 7].

**Математическая модель бака однофазного силового автотрансформатора.** Однофазные силовые автотрансформаторы большой мощности свыше 100 МВА на напряжение 500 кВ и выше имеют сложную форму бака. При определении поля рассеяния на поверхности бака замена сложной формы бака на соответствующую модель бака овальной формы даст ошибку при расчетах более 10 % [8]. Поэтому была разработана математическая модель бака однофазного силового автотрансформатора, полностью учитывающая его профиль. На рис. 1 представлен профиль бака однофазного силового автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 в плоскости  $z = 0$ .

Направляющая боковой поверхности бака была представлена в виде совокупности 5 кривых, обозначенных на рис. 1 римскими цифрами: I – дуга окружности; II – отрезок прямой; III – дуга окружности; IV – отрезок прямой; V – дуга окружности. Соответствующие кривые, образующие направляющую боковой поверхности бака, изображены на рис. 2. Начало системы координат совпадает с центром окружности III.

Кривые, изображенные на рис. 2, математически описываются следующими функциями:

$$y_1(x) = \sqrt{r_1^2 - (x - x_{c1})^2}, \quad (1)$$

$$y_2(x) = y_1(x_1) + \text{tg}\alpha_3 \cdot (x - x_1), \quad (2)$$

$$y_3(x) = \sqrt{r_2^2 - (x - 0)^2}, \quad (3)$$

$$y_4(x) = r_1, \quad (4)$$

$$y_5(x) = \sqrt{r_1^2 - (x - x_4)^2}, \quad (5)$$

где  $r_1, r_2$  – радиусы окружностей I, III, V;  $x_{c1}$  – координата центра окружности I;  $\alpha_3$  – угол наклона прямой II к оси  $x$ ;  $x_1, x_4$  – координаты конца участков I и IV.

Начало системы координат совпадает с центром окружности III.

Функции (1) – (5) описывают профиль бака в явном виде. Для получения развертки боковой стенки бака кривую, представленную на рис. 1, следует задать в параметрическом виде, где параметром выступает длина кривой  $l$ .

Зависимости длины кривой от координаты  $x$  при условии, что эта координата отсчитывается от начала кривой, для кривых I–V описываются следующими выражениями:

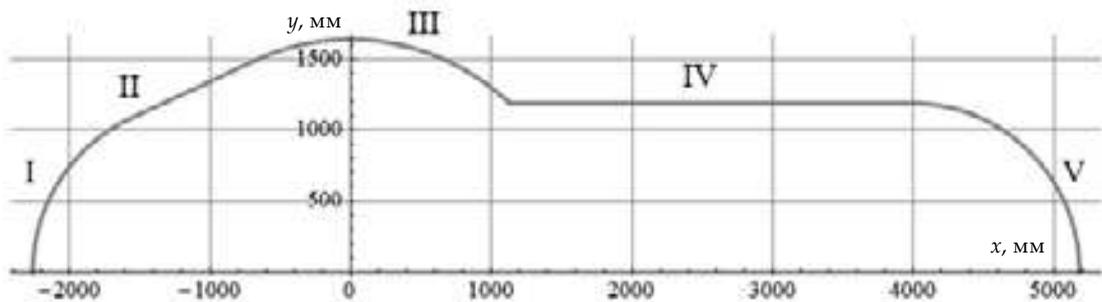


Рис. 1. Профиль бака силового однофазного автотрансформатора большой мощности АОДЦТН-267000/500/220

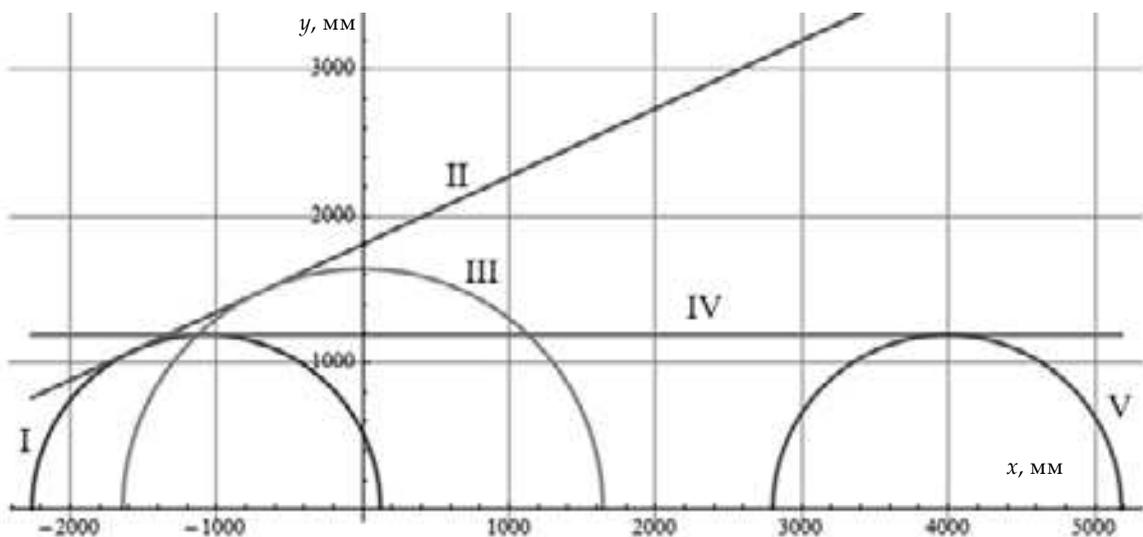


Рис. 2. Кривые, образующие направляющую боковой поверхности бака однофазного силового автотрансформатора

$$L_{x1}(x) = r_1 \cdot \arccos\left(1 - \frac{x}{r_1}\right), \quad (6)$$

$$L_{x2}(x) = \frac{x}{\cos(\arctg(\operatorname{tg}\alpha_2))}, \quad (7)$$

$$L_{x3}(x) = r_2 \cdot \left( \arccos\left(\cos\alpha_1 - \frac{x}{r_1}\right) - \alpha_2 \right), \quad (8)$$

$$L_{x4}(x) = x, \quad (9)$$

$$L_{x5}(x) = r_1 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \arccos\frac{x}{r_1} \right), \quad (10)$$

где  $\alpha_2$  – угловой размер дуги окружности III.

Обратные зависимости координаты  $x_L$  от длины  $l$  кривой при условии, что эта длина отсчитывается от начала кривой, для кривых I–V представлены выражениями:

$$x_{L1}(l) = r_1 - r_1 \cdot \cos\left(\frac{l}{r_1}\right), \quad (11)$$

$$x_{L2}(l) = l \cdot \cos(\arctg(\operatorname{tg}\alpha_3)), \quad (12)$$

$$x_{L3}(l) = r_2 \cdot \cos\alpha_1 - r_2 \cdot \cos\left(\alpha_1 + \frac{l}{r_2}\right), \quad (13)$$

$$x_{L4}(l) = l, \quad (14)$$

$$x_{L5}(l) = r_1 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{l}{r_1}\right). \quad (15)$$

где  $\alpha_2$  – угловой размер дуги окружности III.

Зависимость координаты  $y_L$  от длины  $l$  кривой профиля бака, отсчитываемой от начала профиля, определяется выражением

$$y_L(l) = y(x_L(l)), \quad (16)$$

где функция  $y(x)$  задана формулами (1) – (5).

Совокупность функций (11) – (16) задает профиль бака в требуемом параметрическом виде  $\{x(l), y(l)\}$ , где параметром выступает длина кривой  $l$ . Кривая, построенная с использованием параметрического задания кривой в виде  $\{x(l), y(l)\}$ , полностью совпадает с кривой, построенной на основе функции  $y(x)$ , заданной в явном виде.

Для нахождения тангенциальных компонент напряженности магнитного поля на боковой поверхности бака АТ необходимо построение единичного вектора касательной к кривой профиля. Такой вектор можно охарактеризовать углом наклона касательной  $\alpha_L$  к оси  $x$ . Зависимости угла наклона касательной  $\alpha_L$  от длины  $l$  кривой профиля боковой поверхности бака при условии, что эта длина отсчитывается от начала кривой, для кривых I–V определяются формулами:

$$\alpha_{L1}(l) = \frac{\pi}{2} - \frac{l}{r_1}, \quad (17)$$

$$\alpha_{L2}(l) = \arctg(\operatorname{tg}\alpha_2), \quad (18)$$

$$\alpha_{L3}(l) = \frac{\pi}{2} - \left( \alpha_1 + \frac{l}{r_1} \right), \quad (19)$$

$$\alpha_{L4}(l) = 0, \quad (20)$$

$$\alpha_{L5}(l) = -\frac{l}{r_1}. \quad (21)$$

Зависимость угла наклона касательной  $\alpha_L$  от координаты  $x$  задается формулой

$$\alpha_L(x) = \alpha_L(L_x(x)), \quad (22)$$

где функция  $L_x(x)$  задана формулами (6) – (10).

Полученные формулы и зависимости составляют адекватную математическую модель бака силового однофазного АТ, которая позволяет определить тангенциальные составляющие напряженности магнитного поля рассеяния на поверхностях бака АТ и вычислить потери в стенках бака.

*Расчет тангенциальных составляющих магнитного поля на поверхностях бака однофазного силового автотрансформатора.* Расчет магнитного поля рассеяния силового однофазного АТ в области бака ведется методом, изложенным в [9]. При этом общую обмотку и последовательную обмотку АТ заменяем одной бесконечно тонкой обмоткой, по которой течет ток намагничивания, приведенный к общей обмотке.

Расчет магнитного поля рассеяния на стенках бака АТ проведен в прямоугольной  $(x, y, z)$  и цилиндрической  $(r, \varphi, z)$  системах координат. Переход от одной системы координат к другой осуществляется по стандартным формулам.

Расчет магнитного поля рассеяния на стенках бака проведен на примере силового однофазного автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 с учетом полученной математической модели бака для однофазного АТ при насыщении его магнитной системы постоянным током, протекающим по его заземленным обмоткам.

Любая точка на боковой поверхности бака АТ задается координатами  $(l, z)$ ; переход к координатам  $(x, y, z)$  осуществляется по формулам (11) – (16):

$$\begin{cases} x = x_L(l), \\ y = y(x_L(l)), \\ z = z. \end{cases} \quad (23)$$

Тангенциальная составляющая напряженности магнитного поля  $H_{\tau}$  на боковой поверхности АТ рассчитана по формуле

$$H_{\tau}(l, z) = \sqrt{\left( H_x(l, z) \cdot \cos\alpha_L(l, z) + H_y(l, z) \cdot \sin\alpha_L(l, z) \right)^2 + \left( H_z(l, z) \right)^2}, \quad (24)$$

где  $\alpha_l(l, z)$  – угол наклона касательной к профилю в точке с координатами  $(l, z)$ . Угол  $\alpha_l(l, z)$  вычисляется по формулам (17)–(21).

Тангенциальная составляющая напряженности магнитного поля  $H_t$  на верхней поверхности бака АТ определена по формуле

$$H_t(x, y) = \sqrt{(H_x(x, y))^2 + (H_y(x, y))^2}. \quad (25)$$

На рис. 3 представлен трехмерный график тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_t$  на боковой поверхности бака АТ.

Из рис. 3 видно, как меняется величина тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля рассеяния  $H_t$  на сложной боковой поверхности бака силового однофазного автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 в зависимости от длины  $l$  кривой профиля боковой поверхности бака и координаты  $z$ . Наибольшее значение лежит в плоскости  $z = 0$  при изменении  $l$  от 1,5 до 3,5 м.

Полученные значения тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля рассеяния использованы для вычисления дополнительных потерь активной мощности от вихревых токов в баке силового однофазного автотрансформатора.

**Расчет дополнительных потерь мощности в баке силового, АТ.** Расчет дополнительных потерь активной мощности в баке силового однофазного АТ от вихревых токов при насыщении его магнитной системы постоянным током, протекающим по заземленным обмоткам, решается с применением теории плоских волн и линеаризации свойств стали [9]. На основании найденного распределения тангенциальных составляющих напряженности магнитного поля рассеяния у поверхности бака силового однофазного АТ определены удельные потери активной мощности в баке для каждой  $n$ -й гармонической составля-

ющей тока намагничивания. Удельные потери затем проинтегрированы по поверхностям бака.

Удельные потери в баке пропорциональны квадрату тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_t$  на поверхности бака АТ и определяются формулой

$$P_n = \frac{1}{2} k_\phi r_{n(1)} \sqrt{n} \cdot k_H^2 \cdot H_t^2 = k \sqrt{n} \cdot H_t^2, \quad (26)$$

где  $H_t$  – амплитудное значение тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля в данной точке на поверхности бака;  $k_\phi$  – коэффициент, равный 1,1–1,2 для конструкционной стали [10] (при расчетах полагали  $k_\phi = 1,15$ );  $r_{n(1)}$  – поверхностное сопротивление на частоте  $f = 50$  Гц, для глубины проникновения  $\delta = 0,7$  мм составляет  $r_{n(1)} = 2,06 \cdot 10^{-4}$  Ом;  $n$  – номер гармоники;  $k_H = 2$  – коэффициент, учитывающий влияние бака на поле обмоток. Для глубины проникновения  $\delta = 0,7$  мм коэффициент  $k$  составляет  $k = 4,735 \cdot 10^{-4}$  Ом [10].

Исследование на максимум функций двух переменных  $H_t(l, z)$ ,  $H_t(x, y)$ , описывающих тангенциальные составляющие напряженности магнитного поля  $H_t$  на боковой и верхней поверхностях бака АТ, показало, что максимальное значение  $H_t$  в обоих случаях достигается не в одной точке, а представлено множеством точек.

На боковой поверхности бака однофазного АТ геометрическое множество наиболее нагретых точек с максимальным значением тангенциальных составляющих напряженности магнитного поля рассеяния  $H_t$  находится на кривой III профиля бака (см. рис. 1) в виде дуги окружности радиуса  $r_2 = 1,64$  м, расположенной в плоскости  $z = 0$ .

На верхней поверхности бака однофазного АТ геометрическое множество наиболее нагретых точек с максимальным значением  $H_t$  представляет собой окружность радиуса  $r_{HHT} = 1,069$  м.

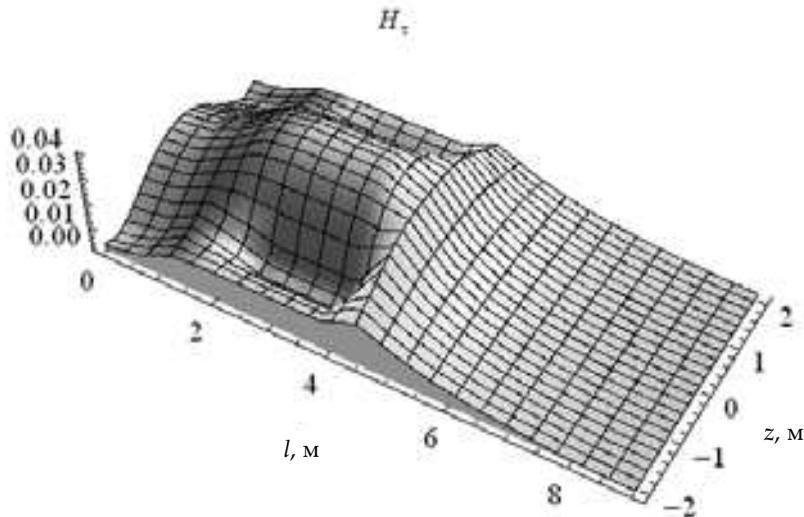


Рис. 3. Тангенциальная составляющая напряженности магнитного поля  $H_t$  на боковой поверхности бака АТ

Определим линии уровня удельных потерь активной мощности на боковой и верхней поверхностях бака силового однофазного АТ АОДЦТН-267000/500/220 при насыщении его магнитной системы постоянным током  $I = 65$  А, протекающим по заземленным обмоткам АТ. На рис. 4 приведены топографические изображения удельных потерь активной мощности на боковой (рис. 4, а) и верхней (рис. 4, б) поверхностях бака АТ с линиями уровня

при воздействии постоянного тока. Большие значения удельных потерь обозначены белым цветом, меньшие – черным.

Определены суммарные потери активной мощности на боковой и верхней поверхностях бака АТ и в целом в баке АТ при насыщении его магнитной системы постоянным током, протекающими по заземленным обмоткам. В таблице представлены удельные и суммарные потери на поверхностях бака АТ при  $I = 65$  А.

Удельные и суммарные потери на поверхностях бака однофазного силового автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 при  $I = 65$  А

Поверхность	Боковая	Верхняя	Всего бака
Максимальные удельные потери, кВт/м <sup>2</sup>	9,20	4,79	9,20
Средние удельные потери, кВт/м <sup>2</sup>	1,78	2,19	1,91
Суммарные потери, кВт	66,58	39,37	211,90

В результате выполненных расчетов получено, что суммарные потери активной мощности в баке автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 составили 211,9 кВт.

В результате проведенных исследований установлена зависимость суммарных потерь в баке силового однофазного автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 от величины постоянного тока, протекающего по его заземленным обмоткам (рис. 5).

Из рис. 5 видно, что потери активной мощности от вихревых токов в баке АТ АОДЦТН-267000/500/220 при насыщении его магнитной системы постоянным током, протекающим по заземленным обмоткам, нелинейно возрастают с увеличением тока. Однако суммарные потери активной мощности в баке не дают представления о распределении потерь в наиболее нагретой точке (ННТ) боковой поверхности бака, где наблюдаются максимальные удельные потери, а следовательно, и о локальном повышении температуры

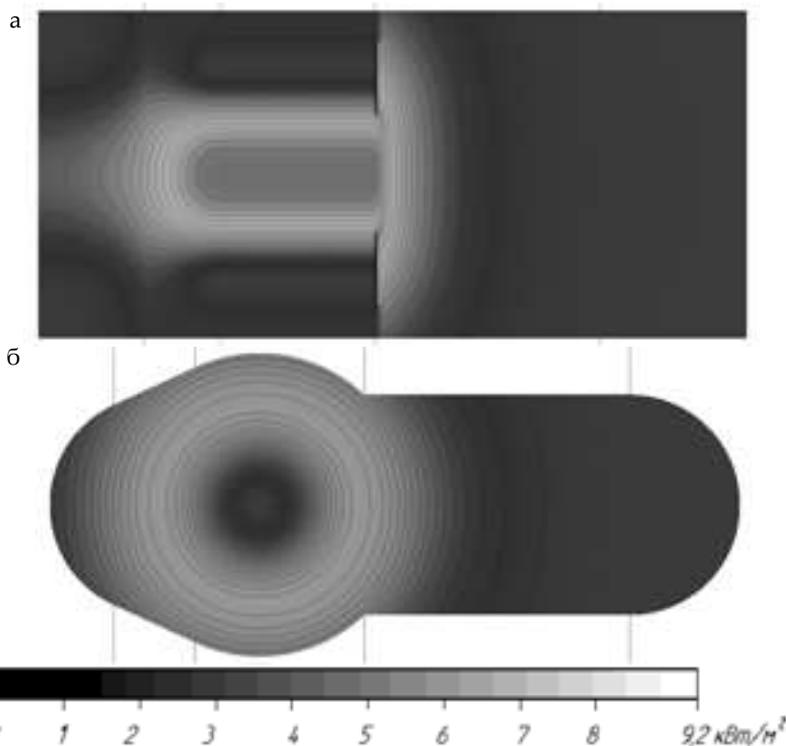


Рис. 4. Топографическое изображение удельных потерь активной мощности на боковой (а) и верхней (б) поверхностях бака силового однофазного автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 с линиями уровня при воздействии постоянного тока,  $I = 65$  А

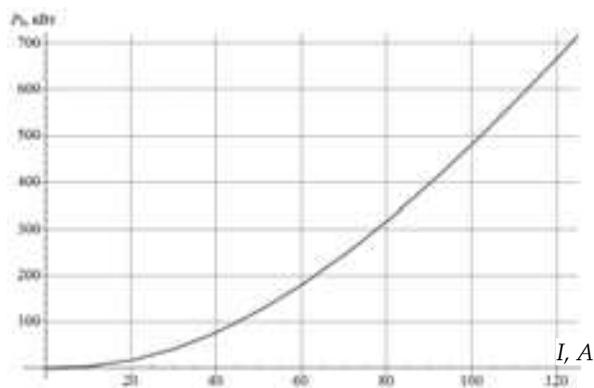


Рис. 5. Зависимость суммарных потерь в баке АТ АОДЦТН-267000/500/220 от постоянного тока

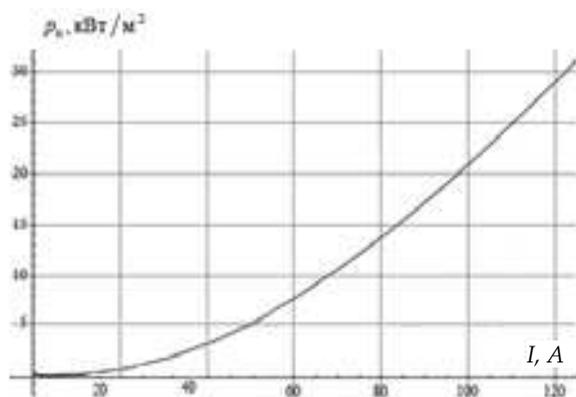


Рис. 6. Зависимость удельных потерь в ННТ на боковой поверхности бака автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 от постоянного тока

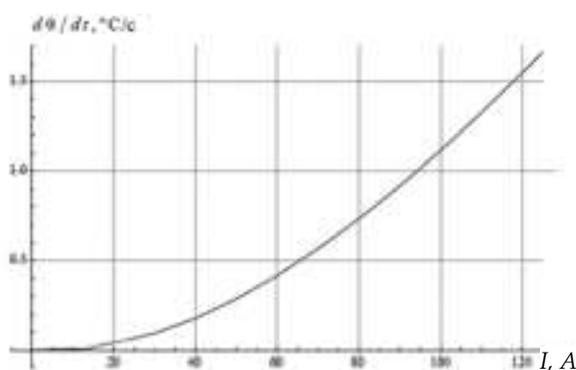


Рис. 7. Зависимость максимальных значений скорости изменения температуры в ННТ на боковой поверхности бака АТ от величины постоянного тока

в этих точках. Поэтому была определена зависимость удельных потерь в ННТ боковой поверхности бака автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 от постоянного тока (рис. 6).

Расчеты показали, что удельные дополнительные потери активной мощности от вихревых токов в наиболее нагретой точке бака силового однофаз-

ного автотрансформатора АОДЦТН-267000/500/220 нелинейно зависят от величины квазипостоянного тока, протекающего по его заземленным обмоткам. При отсутствии процессов теплообмена и теплопроводности тепловая мощность, выделяющаяся в слое бака толщиной  $\delta = 0,7$  мм, будет расходоваться на увеличение температуры геометрического множества наиболее нагретых точек этого слоя.

Скорость изменения температуры ННТ бака не остается постоянной во время действия постоянного тока на автотрансформатор. В начальный момент времени она принимает максимально возможные значения. При увеличении температуры ННТ бака скорость изменения температуры снижается.

Полученная расчетным путем зависимость максимальных значений скорости изменения температуры геометрического множества ННТ на боковой поверхности бака АТ АОДЦТН-267000/500/220 от величины постоянного тока приведена на рис. 7.

При времени насыщения  $t = 3600$  с и более магнитной системы силового однофазного автотрансформатора постоянным током, за счет процессов теплопроводности и теплообмена тепловая мощность, выделяющаяся в слое бака толщиной  $\delta = 0,7$  мм из-за увеличения магнитного поля рассеяния, будет нагревать дополнительно бак и, как следствие, трансформаторное масло. При этом температура масла в верхних слоях может превышать допустимое значение в  $115$  °С.

**Выводы.** 1. Разработана математическая модель, которая адекватно описывает сложный профиль бака силового однофазного автотрансформатора большой мощности свыше 100 МВА на напряжение 500 кВ и выше.

2. Разработанная математическая модель бака силового однофазного автотрансформатора позволяет определить тангенциальные составляющие напряженности магнитного поля рассеяния на поверхностях бака и вычислить дополнительные потери активной мощности от вихревых токов в стенках бака.

3. Установлено, что максимальное значение удельных потерь  $p_n$  на боковой поверхности бака достигается не в одной наиболее нагретой точке, а представлено множеством наиболее нагретых точек, которые находятся (см. рис. 1) на кривой III профиля бака в виде дуги окружности радиуса  $r_2 = 1,64$  м, расположенной в плоскости  $z=0$ .

4. Установлена зависимость максимальных значений скорости изменения температуры геометрического множества наиболее нагретых точек на боковой поверхности бака АТ АОДЦТН-267000/500/220 от величины постоянного тока.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. М.: Ленанд, 2014. 528 с.
2. Васильев А.Б., Лурье А.И. Расчет магнитного поля и электродинамической стойкости трансформаторов

при бросках намагниченного тока // Электричество. 1992. №1.С. 21-26

3. *Takasu N.* An experimental analysis of DC excitation of transformers by geomagnetically induced currents / N. Takasu, T. Oshi, F. Miyawaki, S. Saito, Ya. Fujiwara // IEEE Transactions on power Delivery. Vol. 9, No.2. Pp. 1173-1179.

4. *Walling R.A., Khan A.H.* Characteristics of transformer exciting current during geomagnetic disturbances // IEEE Trans on Power Delivery. 1991. Vol. 6, №4, Pp. 1707-1714.

5. Силовые трансформаторы: справочная книга / под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. М.: Энергоиздат, 2004. 616 с.

6. ГОСТ 14209-97. Руководство по нагрузке силовых трансформаторов. Межгосударственный стандарт. – Введ. 2002-01.01. Минск: Изд-во стандартов, 2001.

Об авторах:

**ВАХНИНА Вера Васильевна**

доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой электроснабжения и электротехники Тольяттинский государственный университет 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел. (927)214-17-00  
E-mail: VVVahnina@yandex.ru

**КУЗНЕЦОВ Владимир Николаевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники Тольяттинский государственный университет 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел. (848)253-92-82  
E-mail: V.Kuznetsov@tltsu.ru

**ШАПОВАЛОВ Владимир Андреевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники Тольяттинский государственный университет 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел. (927)216-81-02  
E-mail: V.Shapovalov@tltsu.ru

**ГОРОХОВ Илья Васильевич**

ассистент кафедры электроснабжения и электротехники Тольяттинский государственный университет 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел. (960)847-32-14  
E-mail: alf19888@gmail.com

**ЧЕРНЕНКО Алексей Николаевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники Тольяттинский государственный университет 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел. (917)134-24-22  
E-mail: A.Chernenko@tltsu.ru

7. МЭК 354-91. Loading guide for oil – immersed power transformers. Межгосударственный стандарт. – Введ. 2002-01.01. Минск: Изд-во стандартов, 2001.

8. *Appanasewicz S., Miksa G., Przybylak D.* Ocena wpływu krzywizny rdzenia, uzwojeń i ściany kadzi transformatora n. rozkład pola elektromagnetycznego // Rozpr. Elektrot. 22, nr. 1. 1976. S. 27–40.

9. *Туровский Я.* Электромагнитные расчеты элементов электрических машин: пер. с польск. М.: Энергоатомиздат, 1986. 200 с.

10. *Лейтес Л.В.* Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов. М.: Энергия, 1981. 392 с.

**VAKHNINA Vera V.**

Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Energy Supply and Electrical Engineering Chair Togliatti State University 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14, tel. (927)214-17-00  
E-mail: VVVahnina@yandex.ru

**KUZNETSOV Vladimir N.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Energy Supply and Electrical Engineering Chair Togliatti State University 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14, tel. (848)253-92-82  
E-mail: V.Kuznetsov@tltsu.ru

**SHAPOVALOV Vladimir A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Energy Supply and Electrical Engineering Chair Togliatti State University 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14, tel. (927)216-81-02  
E-mail: V.Shapovalov@tltsu.ru

**GOROKHOV Ilya V.**

Assistant of the Energy Supply and Electrical Engineering Chair Togliatti State University 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14, tel. (960)847-32-14  
E-mail: alf19888@gmail.com

**CHERNENKO Alexey N.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Energy Supply and Electrical Engineering Chair Togliatti State University 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14, tel. (917)134-24-22  
E-mail: A.Chernenko@tltsu.ru

Для цитирования: Вахнина В.В., Кузнецов В.Н., Шаповалов В.А., Горохов И.В., Черненко А.Н. Учет конструкции бака однофазного силового автотрансформатора электроэнергетических систем при расчете температуры его поверхностей // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 130-136. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.24.

For citation: *Vakhnina V.V., Kuznetsov V.N., Shapovalov V.A., Gorokhov I.V., Chernenko A.N.* Design of a Single-phase Power Autotransformer Tank of Electric Power Systems and Calculation of its Surfaces Temperature // Urban Construction and Architecture. 2018. V.8, №3. Pp. 130-136. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.24.

**Н. П. ПЕТРОВА  
А. А. ЦЫНАЕВА**

## **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ КАЛОРИФЕРОВ С ГРАДИЕНТНЫМИ ИНТЕНСИФИКАТОРАМИ ТЕПЛООБМЕНА**

**DESIGN AND STUDY OF EXCHANGERS  
WITH PRESSURE GRADIENT HEAT INTENSIFIERS**

*Выполнено численное исследование локального теплообмена в турбулентном пограничном слое при наличии продольного градиента давления. Исследование проводилось на базе свободного программного обеспечения (Salome и Code\_Saturne) с помощью RANS подхода. Проведена валидация математических моделей и используемых программных средств методом сравнения с результатами экспериментального исследования. Верификация показала высокое качественное совпадение результатов численного исследования с экспериментом. На основе полученных результатов разработаны конструкции калориферов, схема расчета данных устройств. Выявлено, что применение градиентных интенсификаторов теплообмена ведет к увеличению эффективности теплообмена, что позволяет снизить габаритные характеристики калориферов.*

*This paper is presented the numerical study of local heat transfer in the turbulent boundary layer with longitudinal pressure gradient. The study is based to free software with open source code (Salome and Code\_Saturne) has been based by RANS approach and empirical models of turbulence. Validation of mathematical models and software is based by collation numerical results with the results of experimental study of flow characteristics in a turbulent boundary layer of longitudinal pressure gradient and high turbulence intensity (Epik E. Ya., NASc of Ukraine). The validation had a high qualitative coincidence of the flow characteristics determined as a result of the simulation with experimental data. We designed two constructive schemes of heat exchangers for air. This study presents a calculation plan for these heat exchangers. Results of the study are showed that the use of gradient heat exchange intensifiers leads to an increase in the heat transfer coefficient from air to 17 %.*

**Ключевые слова:** калорифер, численное исследование, верификация, теплообмен, градиент давления, турбулентность

**Key words:** heat exchanger, numerical research, validation, heat transfer, pressure gradient, turbulence

### **Введение**

В настоящее время известно, что градиент давления оказывает значительное влияние на интенсивность теплообмена в турбулентном пограничном слое [1–4]. При этом положительный и отрицательный продольный градиенты давления оказывают различное влияние на теплообмен. В этой связи использование продольного градиента давления возможно как для решения задач тепловой защиты теплонапряженных элементов энергетических установок, так и для интенсификации теплопередачи в теплообменниках-калориферах. Калориферы, служащие для подогрева приточного воздуха в системах вентиляции или для охлаждения воздуха в системах кондиционирования, имеют недостаточно высокую интенсивность теплоотдачи со стороны воздушного потока. Это во многом обусловлено характеристиками рабочего тела (воздуха), скоростью движения воздушного потока и т. д. Поэтому для интенсификации теплообмена требуется разработка таких интенсификаторов теплоотдачи, которые не потребуют значительного изменения технологии изготовления калориферов. К данным техническим решениям сле-

дует отнести применение теплообменных аппаратов с управлением процессом передачи теплоты за счет наличия продольного градиента давления [5–7]. Кроме того, продольный градиент давления может быть использован для охлаждения лопатки турбины [6], для отвода конденсата [8] и для охлаждения электронного оборудования [9]. Несмотря на имеющиеся данные [1,3,4] по интенсификации теплообмена при наличии продольного положительного градиента давления, остается недостаточно изученной зависимость роста эффективности теплообмена от величины продольного градиента давления, от поверхностных вихрегенераторов (дунок различной глубины и формы), физической природы рабочего тела, интенсивности турбулентности потока. Так как интенсивность турбулентности и продольный градиент давления представляются авторам наиболее значимыми факторами при росте теплоотдачи, то следует оценить влияние турбулентности и продольного градиента давления. Для оценки влияния этих факторов на теплообмен с целью разработки калорифера с градиентными интенсификаторами теплообмена эффективно использовать численное

моделирование, в том числе на базе свободного программного обеспечения [10,11].

В этой связи данная работа посвящена численному исследованию влияния высокой интенсивности турбулентности и продольного градиента давления на теплообмен, а также разработке конструкции калориферов с градиентными интенсификаторами теплообмена.

### Численное исследование и валидация результатов

В качестве объекта исследования выбран канал теплообменного аппарата с продольным градиентом давления. Экспериментальные исследования проводились в аэродинамической трубе по изучению влияния на теплообмен в турбулентном пограничном слое высокой интенсивности турбулентности и положительного продольного градиента давления (Эпик Э.Я., 2006) [3,12]. Экспериментальное исследование теплообмена в турбулентном пограничном слое в работе [12] проводилось на плоской частично необогреваемой пластине со скругленной входной кромкой, длина пластины составляла 800 мм, длина не обогреваемого начального участка – 30 мм от входной кромки. Критерий Re изменялся от 6000 до 430000.

Для сокращения затрат машино-часов при расчете теплообмена в канале со сложными аэродинамическими условиями при создании геометрии расчетной области были приняты следующие допущения: в центре канала по вертикали выделялась зона шириной в одну расчетную ячейку, по пластине по горизонтали выполнялось сечение, на котором задавалось условие симметрии. Геометрия расчетной области и граничные условия представлены на рис. 1. Более подробно геометрия расчетной области и ее построение описаны в работе [13]. Для разработки геометрической модели использовался облачный сервис Onshape [14].

Расчетная сетка выполнена в программном комплексе Salome [10], алгоритм ее формирования Extrusion 3d, вблизи стенок образованы 12 параллельных слоев сетки с уменьшенными размерами

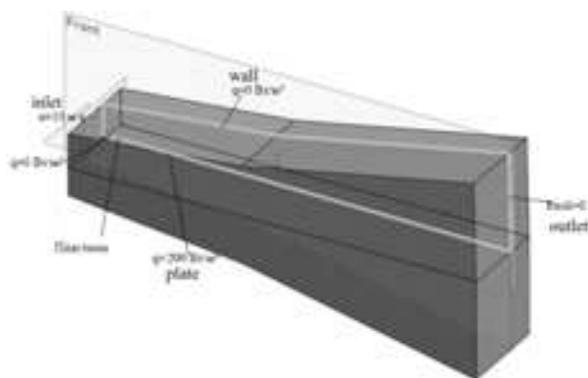


Рис. 1. Геометрия экспериментального участка [12] и граничные условия

ячеек. Описание создания сетки по этому исследованию приведено в работе [13].

Условия моделирования следующие: в качестве рабочего тела принят воздух таких же параметров, что и в экспериментальной работе [12] по исследованию влияния на теплообмен в турбулентном пограничном слое положительного градиента давления и высокой турбулентности. На входе скорость потока задана по нормали,  $u = 10$  м/с, температура потока  $t = 20$  °С. На стенках аэродинамической трубы определено условие отсутствия теплообмена с окружающей средой  $q = 0$  Вт/м<sup>2</sup>. На выходе назначено условие свободного истечения воздуха в атмосферу. На не обогреваемой части обдуваемой потоком воздуха пластины  $q = 0$  Вт/м<sup>2</sup>, для обогреваемого участка  $q = 200$  Вт/м<sup>2</sup>. Степень турбулентности в исследовании задавалась различной:

- а)  $Tu = var = 6...12,2$  % (при валидации метода исследования  $Tu = (A \cdot (x + x)^m)^{0,5}$ ,  $A = 240$ ,  $m = 1,4$ ,  $x = 0,4$ ) [14,15];
- б)  $Tu = const = 8,4$  % (среднее значение для эксперимента [12];
- в)  $Tu = const = 0,01$  % (как правило, такие условия являются искусственно созданными).

Численное решение получено на основе RANS подхода (с использованием уравнений Навье-Стокса, уравнения энергии и состояния) с эмпирическими  $k-\epsilon$  Linear Production и  $k-\omega$  sst моделями турбулентности [15]. Результаты валидации численного решения представлены на рис. 2.

Как показал анализ результатов численного решения, отклонение численных результатов от данных эксперимента [12] составляет менее 10 % при использовании  $k-\epsilon$  Linear Production и  $k-\omega$  sst моделей турбулентности [15,16]. Однако дополнительно проведенный анализ результатов по теплообмену показал, что использование  $k-\epsilon$  Linear Production модели турбулентности без модификации будет несколько не оправданно, так как по коэффициенту теплоотдачи отличие будет значительным. Это было показано авторами в работе [13].

Применение модели турбулентности  $k-\omega$  sst показывает более качественное совпадение результатов численного и физического эксперимента при исследовании теплообмена в турбулентном пограничном слое с положительным градиентом давления [13].

Для инженерных расчетов локальных значений коэффициентов теплоотдачи в потоках с градиентом давления и высокой интенсивностью турбулентности в работе [14] предлагается использовать критериальное уравнение, полученное на основе обобщения экспериментальных данных:

$$St_x = 0,03 Re_x^{-0,2} Pr^{0,4} \cdot (1 + 3Tu + 6Tu^2) \cdot (1 + P)^{-n}, \quad (1)$$

где  $Re_x$  – число Рейнольдса;  $Tu$  – степень турбулентности;  $n = 1,73Tu - 0,212$  – показатель степени;  $P$  – показатель давления,  $P = \frac{x}{U_c} \frac{dU_c}{dx}$ .

$St_x = \alpha_x / (c_p \rho U_0)$  – число Стантона, где  $\alpha_x$  – локальный коэффициент теплоотдачи;

На рис. 3 показано сравнение коэффициента теплоотдачи по результатам численного решения с расчетом по критериальному уравнению (1). При численном решении использовалась  $k-\omega$  sst модель турбулентности с применением пристеночных функций и без них,  $Tu = (A \cdot (x + x)^m)^{0.5}$ . На рис. 4, а представлены результаты моделирования теплообмена в канале с продольным градиентом давления при  $Tu = \text{const} = 8,4 \%$ , модель турбулентности  $k-\omega$  sst. На рис. 4, б показаны результаты численного исследования при  $Tu = \text{const} = 0,01 \%$ , модель турбулентности  $k-\omega$  sst.

Как видно из результатов, представленных на рис. 3, использование пристеночных функций и версия модели турбулентности  $k-\omega$  sst, реализованные в различных воплощениях программного кода, отражаются на результатах моделирования теплообмена.

Таким образом, как видно из результатов, представленных на рис. 3, 4, корректное применение пристеночных функций позволяет повысить точность прогнозирования теплообмена в каналах теплообменных аппаратов с продольным градиентом давления. Согласно полученным данным (рис. 3, 4), переменная по длине канала высокая интенсивность

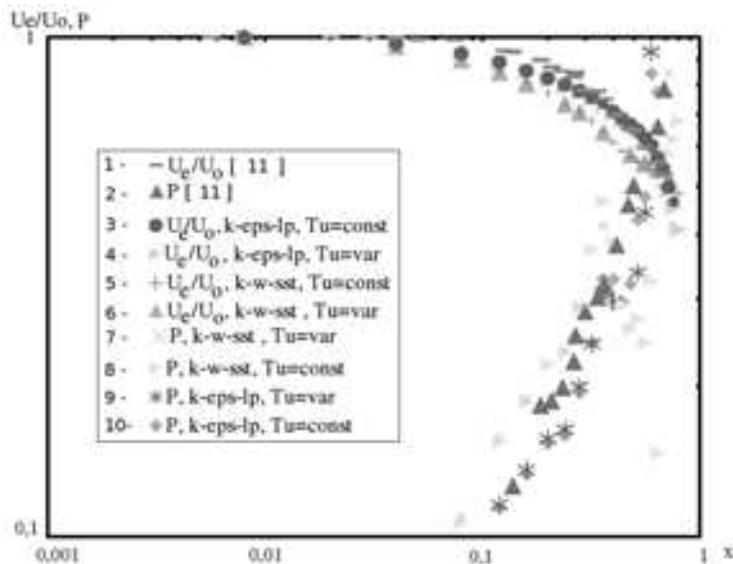


Рис. 2. Результаты валидации численного решения:  $U_0$ ,  $U_e$  – начальная скорость и скорость потока вне пограничного слоя соответственно;  $|P|$  – параметр давления

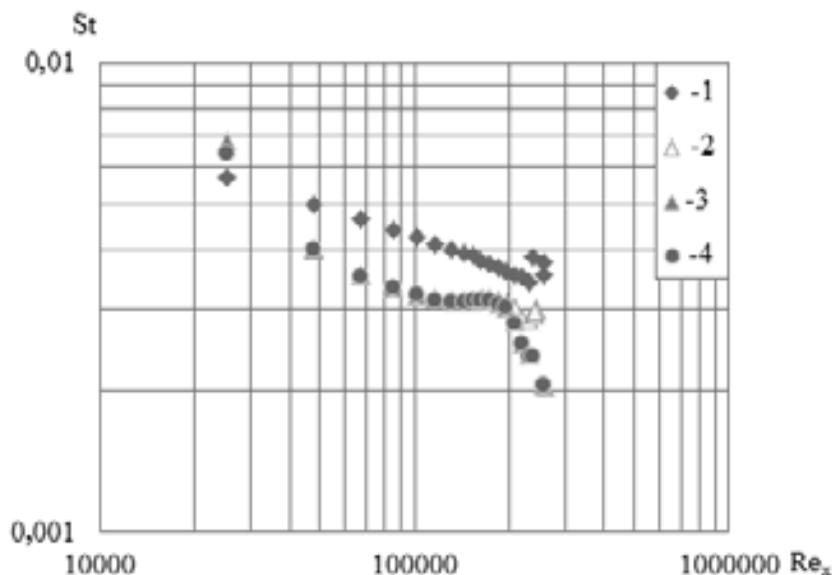


Рис. 3. Локальный коэффициент теплоотдачи при  $Tu = \text{var}$ : 1 – по уравнению (1) [14]; 2,3,4 – численный расчет: 2 – с моделью турбулентности  $k-\omega$  sst, Code\_Saturne 4.0; 3 – с моделью турбулентности  $k-\omega$  sst без пристеночных функций, Code\_Saturne 5.0; 4 – с моделью турбулентности  $k-\omega$  sst с пристеночной функцией, Code\_Saturne 5.0

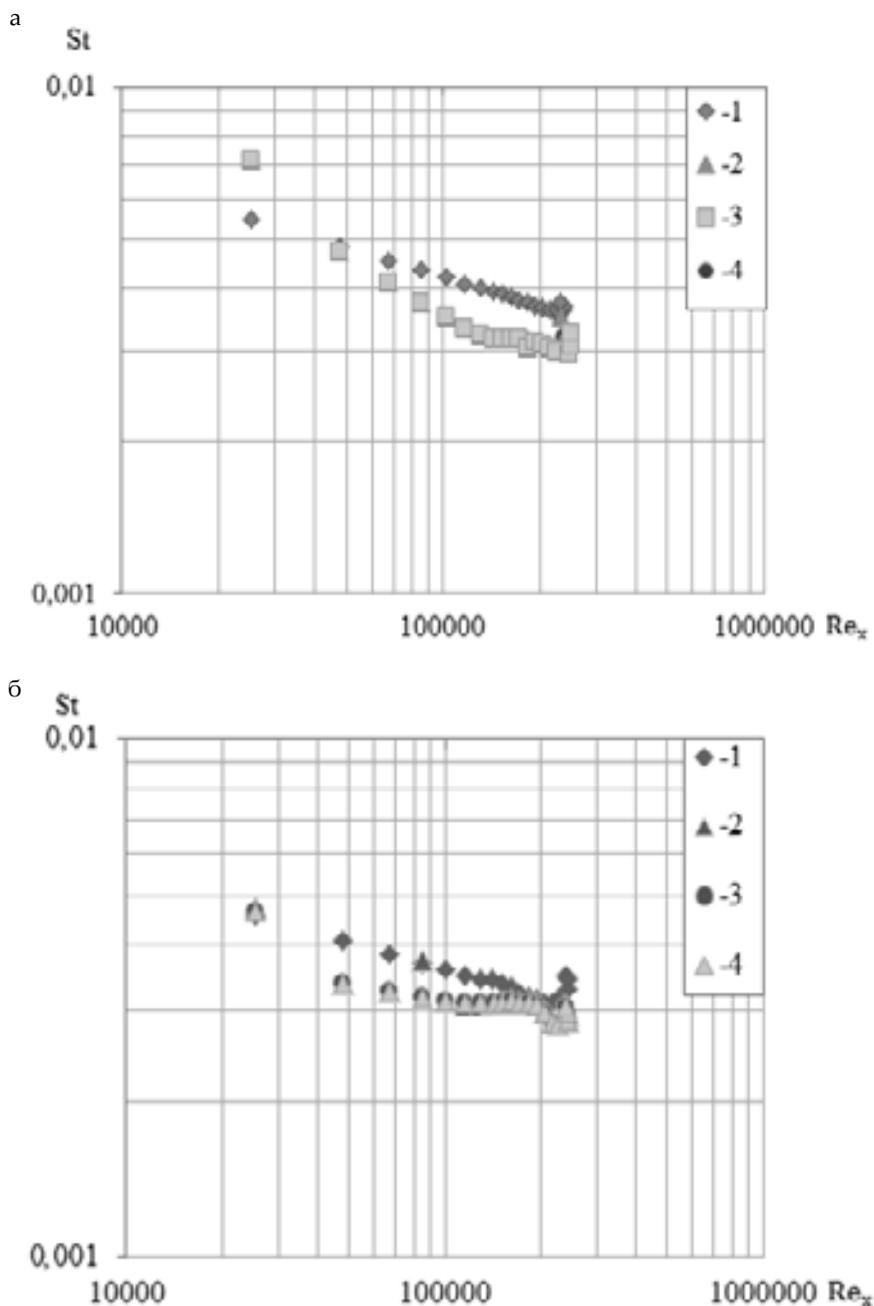


Рис. 4. Локальный коэффициент теплоотдачи: а –  $Tu = \text{const} = 8,4 \%$ ; б –  $Tu = \text{const} = 0,01 \%$   
 1 – по уравнению (1) [14]; 2,3,4 – численный расчет: 2 – с пристеночной функцией, версия Code\_Saturne 5.0;  
 3 – с двумя пристеночными функциями, версия Code\_Saturne 5.0; 4 – без пристеночных функций, версия Code\_Saturne 5.0

турбулентности осложняет процесс численного исследования теплообмена в турбулентном пограничном слое с продольным градиентом давления. Количественные отличия между результатами, полученными по критериальному уравнению и в процессе численного моделирования, уменьшаются при наличии постоянной по величине интенсивности турбулентности.

На рис. 5 показаны результаты моделирования теплообмена в пограничном слое с положительным продольным градиентом давления для различных видов рабочих тел: воздух, гелий, углекислый газ.

В соответствии с результатами численного исследования, представленными на рис. 6, интенсивность теплообмена во многом определяется природой рабочего тела, что подтверждается экспери-

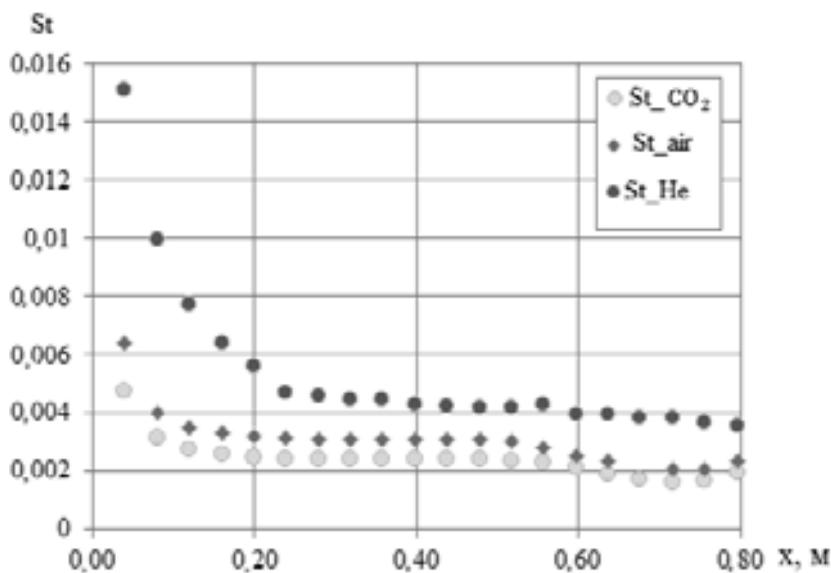


Рис. 5. Значение локальных коэффициентов теплоотдачи по длине пластины:  $St_{air}$ ,  $St_{He}$ ,  $St_{CO_2}$  – рабочим телом является воздух, гелий, углекислый газ

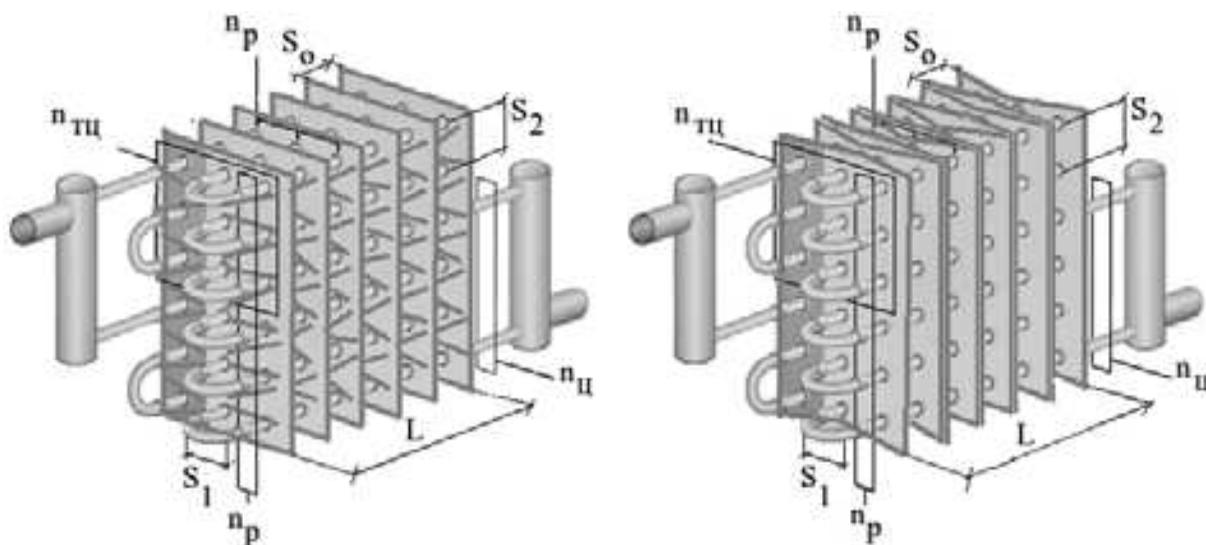


Рис. 6. Конструктивная схема калорифера при использовании градиента давления для интенсификации теплообмена:  $L$  – длина оребрения;  $S_0$  – шаг оребрения;  $S_1$  – продольный шаг трубок;  $S_2$  – поперечный шаг трубок;  $n_p$  – число трубок в ряду;  $n_c$  – количество циркуляционных контуров;  $n_{тц}$  – число трубок в циркуляционном контуре

ментальными исследованиями [1–4,12]. При этом наибольшая эффективность теплообмена наблюдается для потока гелия, число Прандтля у которого варьируется от 0,68 до 0,63 при температуре потока от нуля до 1000 К. При использовании в качестве рабочего тела гелия интенсивность теплообмена от 1,5 до 2,67 раза выше, чем для воздуха. При подогреве воздуха по сравнению с углекислым газом коэффициент теплоотдачи возрастает от 1,02 до 1,47.

#### Разработка и проектирование калорифера

На базе полученных результатов численного исследования разработаны конструкции калориферов

(рис. 6) с градиентными интенсификаторами и схема их расчета.

Схема расчета калорифера с градиентными интенсификаторами теплообмена приведена ниже. Исходные данные: греющий агент – вода; расход греющего агента –  $G_{га} = 0,815 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; расход нагреваемой среды (воздуха) –  $G_с = 1065 \text{ м}^3/\text{ч}$ ; температуры греющего агента на входе и выходе аппарата  $t_{га1} = 65,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{га2} = 46,1 \text{ }^\circ\text{C}$  соответственно; температуры воздуха на входе  $t_{а1} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  и выходе из калорифера  $t_{а2} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ; тепловая нагрузка – 18,207 кВт; греющая среда движется по трубкам, в межтрубном пространстве про-

текает воздух; скорость греющего агента – 0,25 м/с; скорость воздуха – 3,8 м/с.

1. Рассчитываем площадь живого сечения по греющему агенту и воздуху соответственно:

$$f_{ca} = \frac{G_{ca}}{3600 \cdot v_{ca}} = \frac{0,62}{3600 \cdot 0,25} = 0,00069 \text{ м}^2;$$

$$f_g = \frac{G_g}{3600 \cdot v_g} = \frac{1065}{3600 \cdot 3,8} = 0,0778 \text{ м}^2.$$

2. Определяем среднелогарифмический температурный напор:

$$\Delta t_{cp} = \frac{(65,3+30) (46,1-20)}{2,3 \log \frac{(65,3+30)}{(46,1-20)}} = 53,48 \text{ }^\circ\text{C}.$$

3. Рассчитываем площадь теплообмена калорифера:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{18207}{20 \cdot 53,48} = 17,02 \text{ м}^2.$$

4. Определяем марку стандартно выпускаемого воздухонагревателя: по каталогу [17] подходит калорифер марки LKP-315-Н.

5. Поверочный расчет.

Рассчитываем действительную скорость движения:

$$v_{ca} = \frac{G_{ca}}{3600 \cdot f_{ca}} = \frac{0,62}{3600 \cdot 0,00069} = 0,25 \text{ м/с};$$

$$v_g = \frac{G_g}{3600 \cdot f_g} = \frac{1065}{3600 \cdot 0,0778} = 3,8 \text{ м/с}.$$

Определяем среднюю температуру греющей воды и воздуха:

$$t_{ca}^{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{65,3 + 46,1}{2} = 55,7 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_g^{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{30 + 20}{2} = 5 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Рассчитываем критерий Re по греющей воде и воздуху:

$$Re_{ca} = \frac{v_{ca} \cdot d}{\nu} = \frac{0,25 \cdot 0,029}{0,5 \cdot 10^{-6}} = 14500;$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot f_{ампулы}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00069}{3,14}} = 0,029 \text{ м}.$$

При выполнении численного расчета число Рейнольдса составило:

$$Re_g = \frac{v_g \cdot d}{\nu} = \frac{10 \cdot 0,12}{14,16 \cdot 10^{-6}} = 84746.$$

Для этого же значения числа Re в калорифере скорость воздуха будет равна  $v_g = 3,8$  м/с. Гидравлический диаметр  $d$  по нагреваемой среде составляет:

$$d = \frac{84746 \cdot 14,16 \cdot 10^{-6}}{3,8} = 0,315 \text{ м}.$$

Определяем коэффициент теплопередачи для калорифера при стандартных каналах  $K_1$  и для каналов с градиентом давления  $K_2$

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ca}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{e1}}} = 21,45 \text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C};$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ca}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{e1}}} = 25,83 \text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}.$$

Определяем число Нуссельта [18] для греющего агента:

$$Nu_{жсд} = 0,021 \cdot Re_{жсд}^{0,8} \cdot Pr_{жсд}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{жсд}}{Pr_n}\right)^{0,25} \cdot \epsilon_j;$$

$$Nu_{жсд} = 0,021 \cdot 14500^{0,8} \cdot 3^{0,43} \cdot 1 \cdot 1 = 72.$$

Рассчитываем коэффициент теплоотдачи со стороны воды:

$$\alpha_{ca} = \frac{Nu \cdot \lambda_{жс}}{d_{ca}} = \frac{72 \cdot 0,65}{0,029} = 1614 \text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}.$$

Рассчитываем коэффициент теплоотдачи для воздуха для стандартного калорифера без градиентных интенсификаторов:

$$St_{00} = 0,0344 Re_x^{-0,2}, \alpha_{e1} = 21,8 \text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}.$$

Определяем для конфузорно-диффузорного канала  $\alpha_{e2}$  через число Стантона, выраженного формулой (1):

$$St_x = 0,03 Re_x^{-0,2} Pr^{-0,4} \cdot (1 + 3Tu + 6Tu^2) \cdot (1 + P)^{-n},$$

$$\alpha_{e1} = 26,3 \text{ Вт/м}^2\text{ }^\circ\text{C}.$$

Вычисляем удельный тепловой поток:

$$q_1 = k \cdot \Delta t_{cp} = 21,45 \cdot 53,48 = 1147 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_2 = k \cdot \Delta t_{cp} = 25,83 \cdot 53,48 = 1381 \text{ Вт/м}^2.$$

Определяем температуры стенок греющей воды и воздуха конфузорно-диффузорных каналов:

$$t_{cm}^{ca1} = t_{ca}^{cp} - q \frac{1}{\alpha_{ca}} = 55,7 - 1147 \cdot \frac{1}{1614} = 54,99 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{cm}^{e1} = t_{e1}^{cp} + q \frac{1}{\alpha_{e1}} = -5 + 1147 \cdot \frac{1}{21,8} = 47,61 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{cm}^{ca2} = t_{ca}^{cp} - q \frac{1}{\alpha_{ca}} = 55,7 - 1381 \cdot \frac{1}{1614} = 54,84 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_{cm}^{e2} = t_{e1}^{cp} + q \frac{1}{\alpha_{e1}} = -5 + 1381 \cdot \frac{1}{26,3} = 47,51 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Вычисляем критерий Прандтля для стандартного канала: при  $t_{cm}^{ca1} = 54,99$  °C имеем  $Pr_w^{ca1} = 3,24$ ; при  $t_{ca}^{cp} = 55,7$  °C –  $Pr_f^{ca} = 3,19$ ; при  $t_{cm}^{e1} = 47,61$  °C –  $Pr_w^{e1} = 0,698$ ; при  $t_{e1}^{cp} = -5$  °C –  $Pr_f^e = 0,709$ .

Определяем критерий Прандтля для расширяющего и сужающего канала: при  $t_{ca}^{ca1} = 54,84$  °C имеем  $Pr_w^{ca2} = 3,25$ ; при  $t_{ca}^{cp} = 55,7$  °C –  $Pr_f^{ca} = 3,19$ ; при  $t_{cm}^{e2} = 47,51$  °C –  $Pr_w^{e2} = 0,698$ ; при  $t_{e1}^{cp} = -5$  °C –  $Pr_f^e = 0,709$ .

Определяем соотношение для стандартного канала и для каналов с градиентом давления:

$$\zeta_{ca1} = \left(\frac{Pr_f^{2a}}{Pr_w^{2a}}\right)^{0,25} = 0,99; \zeta_{\theta 1} = \left(\frac{Pr_f^{\theta}}{Pr_w^{\theta 1}}\right)^{0,25} = 1;$$

$$\zeta_{ca1} = \left(\frac{Pr_f^{2a}}{Pr_w^{2a1}}\right)^{0,25} = 0,995; \zeta_{\theta 2} = \left(\frac{Pr_f^{\theta}}{Pr_w^{\theta 2}}\right)^{0,25} = 1.$$

Рассчитываем коэффициент теплоотдачи для греющей воды и воздуха для стандартного канала:

$$\alpha_{ca} = \alpha_{ca} \cdot \zeta_{ca1} = 1673 \cdot 0,99 = 1656 \text{ Вт/м}^2\text{°С};$$

$$\alpha_{\theta 1} = \alpha_{ca} \cdot \zeta_{ca1} = 21,8 \cdot 1,003 = 21,86 \text{ Вт/м}^2\text{°С}.$$

Определяем коэффициент теплоотдачи для греющей воды и воздуха для расширяющего и сужающего канала:

$$\alpha_{ca} = \alpha_{ca} \cdot \zeta_{ca1} = 1673 \cdot 0,99 = 1656 \text{ Вт/м}^2\text{°С};$$

$$\alpha_{\theta 1} = \alpha_{ca} \cdot \zeta_{ca1} = 26,3 \cdot 1,003 = 26,38 \text{ Вт/м}^2\text{°С}.$$

Определяем уточненное значение коэффициента теплопередачи:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ca}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\theta 1}}} = 21,5 \text{ Вт/м}^2\text{°С};$$

$$K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ca}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\theta 1}}} = 25,91 \text{ Вт/м}^2\text{°С}.$$

Вычисляем площадь теплообменника при наличии стандартного канала  $F_1$  и для каналов с градиентом давления  $F_2$ :

$$F_1 = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{18207}{21,5 \cdot 53,48} = 15,83 \text{ м}^2;$$

$$F_2 = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{cp}} = \frac{18207}{25,91 \cdot 53,48} = 13,14 \text{ м}^2.$$

Произведенный тепловой расчет разработанных калориферов показал, что применение градиентных интенсификаторов теплообмена (особым образом профилированных ребер) ведет к снижению требуемой площади поверхности теплообмена на 17 % по сравнению со стандартными калориферами.

**Выводы.** 1. Выполненное численное исследование теплообмена в каналах с продольным положительным градиентом давления и высокой турбулентностью показало значительное влияние на теплообмен этих факторов. На основании численного исследования выявлено, что природа рабочего тела (нагреваемой среды) в значительной степени влияет на интенсивность теплообмена при прочих равных условиях (продольный положительный градиент давления, высокая турбулентность потока). Так, для гелия интенсивность теплообмена от 1,5 до 2,67 раза выше, чем для воздуха, а для воздуха коэффициент теплоотдачи от 1,02 до 1,47 раза выше по сравнению с углекислым газом при тех же расходах и температурах исходного потока. По результатам численного исследования выявлено, что применение модели

турбулентности  $k-\omega$  sst при решении задач теплообмена в сложных аэродинамических условиях показывает более корректные результаты, чем  $k-\epsilon$  Linear Production. Кроме того, на результаты численного исследования значительно влияет использование пристеночных функций.

2. В результате исследования разработаны конструктивные схемы калориферов с оребрением, использующим градиент давления для интенсификации теплообмена. Разработана схема теплового расчета таких калориферов и выявлено, что использование градиентных интенсификаторов до 17 % позволяет уменьшить поверхность теплообмена при той же теплопроизводительности.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Zakkay V., Wang C. R., Miyazawa M. Effect of adverse pressure gradient on film cooling effectiveness //AIAA Journal. 1974. Т. 12. №. 5. С. 708-709.
2. Baehr H. D., Stephan K. Heat and mass transfer. 2006. 705 p.
3. Дыбан Е. П., Эпик Э. Я. Теплообмен и гидродинамика турбулизованных потоков. Киев: Наук. думка, 1985. С. 296.
4. Давлетшин И. А. и др. Теплоотдача в конфузоре при пульсациях потока //Теплофизика высоких температур. 2017. Т. 55. №. 4. С. 642-645.
5. Пат. 2047081 Российская Федерация, МПК F28F 13/12 (1995.01), F28D 7/16 (1995.01), F28F 1/40 (1995.01) Теплообменный аппарат / Барон В. Г., Барон А.В.; заявитель и патентообладатель Барон В. Г., Барон А.В. – 93042496/06, заявл: 24.08.1993, опубл. 27.10.1995.
6. Пат. 2319842 Российская Федерация, МПК F01D 5/18 Система охлаждения лопатки газовой турбины/ Рыкачев Ю.Ф.; заявитель и патентообладатель ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова – 2006110841/06, заявл: 05.04.2006, опубл. 20.03.2008 Бюл. №8.
7. А.с. 1758390А1 СССР, МПК F28F 13/12 Струйный теплообменник/ Б.Н. Юдаев, К.А. Кушнарев, И.Б. Молодцов, В.А. Туманов, К.Н. Агафонов. Московский институт химического машиностроения. Заявка № 4710411/06 от 26.06.1989, опубл. 30.08.92. Бюл. №32.
8. Пат. 2177105 Российская Федерация, МПК F16T 1/00 Конденсатоотводчик/ Осипенко Ю.И., Быков Б.Е.; заявитель и патентообладатель ФГУП ЦИАМ им. П.И. Баранова – 98115942/06, заявл: 11.08.1998, опубл. 20.12.2001 Бюл. №13.
9. Пат. 2374141 Российская Федерация, МПК B64D 13/08 Устройство для охлаждения радиоэлектронной аппаратуры (варианты) / Киселев В.М., Майоров А.В., Наумов Г. А., Никитин В. И., Пушилилин В. Е., Сапронов А. С., Тарасов В. В.; заявитель и патентообладатель Курское открытое акционерное общество прибор –2008118028/11, заявл: 05.05.2008, опубл. 27.11.2009 Бюл. № 33.
10. SALOME Platform. URL: <http://www.salome-platform.org/> (дата обращения: 01.02.2018).
11. Code\_Saturne. URL: <https://www.code-saturne.org/cms/> (дата обращения: 01.02.2018).

12. Эпик Э.Я. Влияние турбулентности и продольного градиента давления на теплообмен в турбулентном пограничном слое // РНКТ-6. М.: МЭИ. Т. 2. С. 270-273.

13. Петрова Н.П. Численное исследование теплообмена в турбулентном пограничном слое с воздействиями // Наука в современном обществе: сборник статей Международной научно-практической конференции 29 июля 2017 г. Самара: ЦНИК, 2017. С. 56-62.

14. OnShape. URL: <https://www.onshape.com/> (дата обращения: 01.02.2018).

15. Langley Research Center. Turbulence Modeling Resource. URL: <https://turbmodels.larc.nasa.gov> (дата обращения: 01.02.2018).

16. Menter F. Zonal two equation kw turbulence models for aerodynamic flows //23rd fluid dynamics, plasmadynamics, and lasers conference. AIAA93-2906. 1993. С. 1-21. doi: <https://doi.org/10.2514/6.1993-2906>

17. Каталог оборудования. URL: [www.evtomash.ru/catalog](http://www.evtomash.ru/catalog) (дата обращения: 01.02.2018).

18. Мухачев Г. А., Щукин В. К. Термодинамика и теплопередача. М.: Высш. шк., 1991. 480 с.

Об авторах:

**ПЕТРОВА Надежда Павловна**

магистрант гр. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: [nadej.orlowa2013@mail.ru](mailto:nadej.orlowa2013@mail.ru)

**PETROVA Nadezhda P.**

Master 's Degree Student of the Faculty of Life Support Systems and Environmental Engineering  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: [nadej.orlowa2013@mail.ru](mailto:nadej.orlowa2013@mail.ru)

**ЦЫНАЕВА Анна Александровна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: [a.tsinaeva@rambler.ru](mailto:a.tsinaeva@rambler.ru)

**TSYNAEVA Anna A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: [a.tsinaeva@rambler.ru](mailto:a.tsinaeva@rambler.ru)

Для цитирования: Петрова Н.П., Цынаева А.А. Разработка и исследование калориферов с градиентными интенсификаторами теплообмена // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 137-144. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.25.  
For citation: Petrova N.P., Tsinaeva A.A. Design and Study of Exchangers with Pressure Gradient Heat Intensifiers // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 137-144. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.25.

# ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ

Прием статей для публикации в научно-техническом журнале «Градостроительство и архитектура» осуществляется в постоянном режиме.

1. В редакцию журнала необходимо вместе с рукописью статьи представить следующие документы:

- Сопроводительное письмо, подписанное руководителем организации, из которой представляется рукопись статьи. *Для аспирантов, соискателей и работников СамГТУ сопроводительное письмо представлять не требуется.*

- Рекомендацию кафедры, отдела, научно-технического совета или иного правомочного органа (заверенную выписку из протокола заседания) о публикации статьи в журнале.

- Экспертное заключение из организации, представляемой рукописью статьи, о возможности опубликования в открытой печати.

- Внешняя рецензия на рукопись статьи, оформленная по установленному редакцией образцу и заверенная по месту работы рецензента. *Факт наличия рецензии не отменяет процедуры экспертной оценки, организованной редакцией: все статьи подлежат обязательному независимому рецензированию.*

- Лицензионный договор.

**Статьи должны быть оформлены в соответствии со следующими правилами:**

1. Рукопись статьи оформляется в программе Microsoft Word для Windows.

2. Общие требования к оформлению документа:

- Формат страницы – А4, ориентация книжная
- Размеры полей страниц: верхнее, нижнее, левое – по 20 мм, правое – 10 мм
- Нумерация страниц – в нижней правой части
- Абзацный отступ – 1,25 см
- Шрифт текста рукописи – Times New Roman

Сут, размер 14pt

- Междустрочный интервал – 1,0

- Общий объем рукописи (включая иллюстрации и таблицы) – не более 10 страниц. *Указанное ограничение объема рукописи не распространяется на сведения об авторах.*

3. Формулы следует полностью набирать с использованием редакторов формул MathType 6 или MS Equation 3.0. Запись формулы выполняется автором(ами) с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

4. Иллюстрации выполняются черно-белыми (с хорошей проработкой деталей) в программах Corel Draw (с расширением \*.cdr) или других редакторах (с расширением \*.jpeg или \*.tiff). Подписи к иллюстрациям набираются шрифтом Times New Roman Сут,

размер 14pt. Общее количество иллюстраций в статье, как правило, не более четырех. Все графические материалы должны быть доступны для редактирования, поэтому необходимо представлять их в исходном формате.

5. Таблицы оформляются на отдельных листах формата А4, шрифт – Times New Roman Сут, размер 12pt. Названия таблиц размещаются в правом верхнем углу над таблицей. Все наименования, представленные в таблицах, даются без сокращений.

6. Библиографический список литературных источников размещается в конце текста статьи, при этом нумерация дается в порядке последовательности ссылок. На все литературные источники должны быть ссылки в тексте статьи [в квадратных скобках]. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати на момент представления рукописи статьи в редакцию. При ссылках на нормативные документы, например СНиП, номер и название документа указываются непосредственно в тексте статьи. Библиографический список должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008.

7. Для оформления англоязычной части статьи (сведения об авторе(ах), название статьи, аннотация) необходимо соблюдать следующие требования:

- сведения об авторах последовательно для каждого: фамилия, имя, отчество полностью, транслитерированные в латинские символы (смотри «Правила транслитерации» на сайте <http://translit.net.ru>); ученая степень (Doctor – доктор наук, PhD – кандидат наук, MSc – магистр, с указанием научного направления); ученые звания (Professor – профессор, Associate Professor – доцент, Academician of ... – академик ..., Cor. Member of ... – член-корреспондент ..., Senior Researcher – старший научный сотрудник, Junior Researcher – младший научный сотрудник, Senior lecturer – старший преподаватель, Engineer – инженер, post-graduate student – аспирант, applicant – соискатель, master student – магистрант, student – студент); официальное англоязычное название организации (учреждения), города, страны;

- название статьи, аннотация и ключевые слова должны быть идентичны русскому варианту.

8. Структура размещения основных частей статьи:

- индекс УДК
- инициалы, фамилии автора(ов)
- название статьи на русском языке
- название статьи на английском языке
- аннотация статьи на русском языке (10 строк)
- аннотация статьи на английском языке
- ключевые слова на русском языке (до 10 словосочетаний)

- ключевые слова на английском языке
- текст статьи (предпочтительно с выводами)
- библиографический список
- полные сведения об авторе(ах) на русском языке: фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность, контактные телефоны (с кодом города), e-mail автора(ов); наименование организации (с указанием почтового адреса учреждения), в которых работает автор(ы), на русском языке
  - полные сведения об авторе(ах) на английском языке (см. выше).

9. Рукопись статьи, иллюстрации и таблицы должны быть представлены в редакцию:

- распечатанными с одной стороны на листах формата А4. Автор(ы) расписывается на обороте последней страницы и указывает дату;
- в электронном виде по электронной почте на адрес редакции [vestniksgasu@yandex.ru](mailto:vestniksgasu@yandex.ru), [uc-arch@yandex.ru](mailto:uc-arch@yandex.ru) или на электронном носителе (CD, DVD или USB флеш-накопителе). Наименование файлов для отправки: рукописи статьи – «Фамилия автора\_Название статьи»; иллюстраций – «Фамилия автора\_номер рисунка»; таблиц – «Фамилия автора\_номер таблицы». Названия файлов для отправки иллюстраций и таблиц должны совпадать с порядковым номером материала в рукописи статьи. Печатный и электронный варианты рукописи статьи должны быть идентичны.

**10. Обращаем Ваше внимание на то, что рукописи, не соответствующие требованиям редакции, не рецензируются, не публикуются и не возвращаются авторам, при этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.**

11. Публикации в журнале подлежат только оригинальные статьи, соответствующие тематическим направлениям журнала и ранее не публиковавшиеся в других изданиях.

12. При положительном решении редакции об опубликовании научной статьи с автором(ами) заключается лицензионный договор. Вознаграждение (гонорар) за опубликованные научные статьи не выплачивается.

13. Редакция имеет право представлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования, а также размещать данные материалы на Интернет-сайте журнала <http://journal.samgasu.ru>.

14. Авторский коллектив несет ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права или «ноу-хау» в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

15. Авторские права на каждый номер журнала (в целом) принадлежат учредителю журнала – СамГТУ. Перепечатка материалов журнала без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

**16. Плата с аспирантов (единственный автор) за публикацию статей не взимается.**

17. На платной основе в журнале и на сайте могут быть опубликованы материалы рекламного характера, имеющие прямое отношение к энергетике, архитектурно-строительной деятельности и образованию.

Подготовленные с учетом всех вышеперечисленных требований материалы научной статьи (рукопись статьи и сопроводительные документы к ней в печатном и электронном видах) должны быть запечатаны в конверт формата А4, на котором указывается адрес редакции: *Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194. ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Академия строительства и архитектуры. Ответственному секретарю научно-технического журнала «Градостроительство и архитектура».*

Конверт с материалами может быть отправлен по почте, доставлен службой курьерской доставки или лично автором(ами) или доверенным лицом автора(ов). В случае отправки лично или с использованием курьерской доставки, конверт необходимо сдать в редакцию журнала «Градостроительство и архитектура» по адресу: *г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194, АСА СамГТУ, корпус II, каб. 632.*

По всем вопросам, связанным с публикацией статей в научно-техническом журнале «Градостроительство и архитектура», обращаться к ответственному секретарю Досковской Марии Сергеевне по телефону (846) 242-36-98 или по e-mail: [vestniksgasu@yandex.ru](mailto:vestniksgasu@yandex.ru), [uc-arch@yandex.ru](mailto:uc-arch@yandex.ru).