

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ISSN 2542-0151

№ 1 Т. 9  
2019

## URBAN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



САМАРА

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ 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.9, № 1

САМАРА  
2019

УДК 71+72

Градостроительство и архитектура=Urban construction and architecture. 2019. Т. 9, № 1. 131 с.

Учредитель:

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

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

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. СЕЛЕЗНЕВ, 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. RADOVIC, 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, дизайн обложки М.В. Веселова

На обложке фото шатров исторических зданий Самары выполнены фотографом объединенной редакции  
«Технополис Поволжья» Нектаркиным Евгением

Подписано в печать 28.02.2019 г. Формат 60x90 1/8. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Печ. л. 16,5. Тираж 300 экз. Заказ № 1783.

Адрес редакции: Россия, г. Самара, 443001, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 307

Телефоны: (846) 278-44-81, (846) 242-36-98

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

Отпечатано в типографии ООО «С.ЛОВО»:

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

## Содержание

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

#### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

- 4 **Мордовский С. С., Ильин Н. А., Панфилов Д. А., Таланова В. Н., Бузовская Я. А.** Метод моделирования железобетонной балки с двойной арматурой по прочности, деформации и огнестойкости

- 10 **Родионов И. К., Родионов И. И.** О некоторых результатах экспериментального исследования работы сжатых стержней с общими деформациями, усиливаемых с применением сварки

#### ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

- 15 **Выгчиков Ю. С., Сапарёв М. Е., Прилепский А. С., Конякина Д. Д.** Оценка теплозащитных характеристик колодезных кладок с применением беспесчаного керамзитобетона

- 20 **Курганова О. Ю., Кудинов И. В., Клеблеев Р. М., Стефанюк Е. В., Гаврилова Т. Е.** Аналитический метод определения толщины отложений на внутренних поверхностях теплообменников

- 25 **Немченко В. И., Посашков М. В., Крайнов О. К., Бодягин А. А., Зубков Д. Н.** Сравнительный анализ приборного парка коммерческого учета тепловой энергии в Самаре

- 33 **Никитин М. Н.** Исследование интенсивности теплоотдачи отопительного прибора в зависимости от способа установки

#### ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- 38 **Кичигин В. И., Газизов Н. А., Салихова А. Р.** Исследование влияния изменения ионного состава воды на величины ее окислительно-восстановительного потенциала и дзета-потенциала

- 47 **Назаров В. Д., Ерилин И. С., Назаров М. В., Смородова О. В.** Использование твердооксидного топливного элемента для увеличения энергоэффективности электрофлотатора

- 52 **Степанов С. В., Панфилова О. Н., Абдугаффарова К. К.** Физико-химические свойства нового сорбента на основе глин

- 57 **Стрелков А. К., Зотов Ю. Н., Михайлова И. Ю.** Квартирный регулятор давления с улучшенной водосберегающей характеристикой

- 64 **Шувалов М. В.** Топологическая модель структуры системы канализации поселения и ее функциональное описание

#### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- 71 **Низина Т. А., Коровкин Д. И., Балыков А. С., Володин В. В.** Анализ изменения упруго-прочностных характеристик модифицированных и немодифицированных мелкозернистых бетонов в зависимости от их влажностного состояния и температуры испытаний

### ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- 79 **Попов В. П., Давиденко А. Ю., Попов Д. В.** О влиянии влажности на поверхностную энергию бетона

#### ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

- 85 **Колеватых Д. А.** Урботропия

- 92 **Котенко И. А.** Архитектура шатров исторических зданий Самары

- 101 **Орлова Н. А., Орлов Д. Н., Маслова Е. А.** Проблемы компактного города провинциальной России XXI века

- 109 **Филиппов В. Д.** Коломенград. Послевоенное строительство

### ЭНЕРГЕТИКА

#### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- 119 **Крестин Е. А.** Влияние осцилляции стенки плоского диффузора на гидродинамические параметры потока вязкой жидкости

#### ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

- 126 **Горшенин А. С., Рахимова Ю. И., Краснова Н. П.** Постановка задачи оптимизации факторов модели теплообмена алюминиевых слитков в камере охлаждения

- 131 **ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ  
И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ**



**С. С. МОРДОВСКИЙ**  
**Н. А. ИЛЬИН**  
**Д. А. ПАНФИЛОВ**  
**В. Н. ТАЛАНОВА**  
**Я. А. БУЗОВСКАЯ**

### МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ С ДВОЙНОЙ АРМАТУРОЙ ПО ПРОЧНОСТИ, ДЕФОРМАЦИИ И ОГНЕСТОЙКОСТИ

METHOD OF MODELING A REINFORCED CONCRETE BEAM WITH DOUBLE  
REINFORCEMENT FOR STRENGTH, DEFORMATION AND FIRE RESISTANCE

*В статье представлено новое техническое решение, которое относится к области строительства, в частности, к испытаниям изгибаемых железобетонных элементов – балок здания на прочность, деформацию и огнестойкость на масштабной модели. Новый метод решения подразумевает повышение информативности, визуальной наглядности и глубины экспериментальных исследований железобетонных балок в результате использования экономичного способа проектирования геометрического и силового подобия масштабной модели железобетонной балки по прочности, деформации и огнестойкости. Предложенный метод позволяет оценить предельные состояния железобетонной балки по прочности, деформации и огнестойкости; разработать аналитическую модель для расчета фактического предела огнестойкости; сэкономить на трудозатратах при изготовлении масштабной модели натурной конструкции для её испытания.*

**Ключевые слова:** здания и сооружения, железобетонные конструкции, изгибаемые элементы, масштабные модели, железобетонные балки, напряженное состояние, испытание на моделях, геометрическое подобие, силовое подобие, предельное состояние по прочности, предел огнестойкости

Цель предлагаемого авторского метода моделирования изгибаемых железобетонных элементов – расширение диапазона исследований прочности и деформативных характеристик

*The article presents a new technical solution, which relates to the field of construction, in particular, to the testing of bending reinforced concrete elements - building beams for strength, deformation and fire resistance on a scale model. The new method of solution implies an increase in the information content, visual clarity and depth of experimental studies of reinforced concrete beams as a result of using the cost-effective way of designing geometric and forceful similarity to the scale model of reinforced concrete beams for strength, deformation and fire resistance. The proposed method allows us to estimate the limiting states of a reinforced concrete beam by strength, deformation and fire resistance; develop an analytical model for calculating the actual fire resistance; save on labor costs in the manufacture of large-scale model of full-scale design for its testing.*

**Keywords:** buildings and structures, reinforced concrete structures, bendable elements, scale models, reinforced concrete beams, stress state, model testing, geometric similarity, force similarity, ultimate strength state, fire resistance

железобетонных балок, повышение информативности, визуальной наглядности и глубины экспериментального исследования железобетонных балок, снижение экономических затрат

на проектирование геометрического и силового подобия масштабной модели железобетонной балки с двойной арматурой по прочности, деформации и огнестойкости, сокращение объема работ на испытание натурной железобетонной балки.

Выполняется модель, геометрически подобная конструкции прототипа. Это условие необходимо для обеспечения полного подобия режима, и оно гарантирует идентичность форм модели и прототипа [1].

Для проведения исследования режима работы любой конструкции на модели необходимо знать форму и материалы, из которых выполняется конструкция прототипа.

Выбор масштаба модели зависит от ряда следующих факторов [1]: материал модели, простота изготовления, метод нагружения, измерение необходимых деформаций, наличие измерительного оборудования, стоимость материала модели и ее в целом, время изготовления.

На примере конструктивного бетона по ГОСТ 10180-2018 «Бетон. Методы определения прочности по контрольным образцам» наглядно можно проследить, как размеры испытываемых образцов значительно влияют на прочность при сжатии и на вид разрушения, получаемый при испытаниях. В реальности невозможно изготовить бетонную смесь в уменьшенном масштабе из-за малых начальных размеров частиц песка и цемента. То есть варьироваться может только фракция крупного заполнителя. Эти требования соблюдения масштаба могут негативно сказаться на результатах испытаний модели.

Таким образом, предложенный способ моделирования методом геометрического подобия возможно применять к реально существующим линейным конструкциям (балкам, колоннам), для которых допустима константа подобия модели 0,25: длиной от 2,4 м с минимальным размером поперечного сечения 240 мм. Для испытаний конструкций прототипа с размерами менее указанных не требуется изготовление модели, так как возможно испытание конструкций в натуральную величину. Для конструкций модели необходимо применение бетона того же состава и компонентов тех же фракций, как и для прототипа. Фракции крупного заполнителя модели желательны принимать не более 5-20.

Основными особенностями предлагаемого моделирования железобетонной балки с двойной арматурой являются:

1. Проектирование и изготовление масштабной модели с заданной константой подобия, выявление геометрических характеристик масштабной модели и натурной балки, уста-

новление прочностных показателей арматуры и бетона, выявление показателя термодиффузии бетона, установление моделирующих усилий по оценке прочности и огнестойкости железобетонной балки с двойной арматурой, определение прочности расчетного сечения масштабной модели и натурной балки при нормальных условиях эксплуатации, определение разрушающего изгибающего момента в сечении масштабной модели и натурной балки в условиях огневого испытания, определение длительности сопротивления масштабной модели огневому воздействию и величины проектного предела огнестойкости натурной железобетонной балки.

2. Соблюдение геометрического подобия модели по отношению к натурной железобетонной балке выражают уравнением

$$\begin{aligned} b_m &= b \cdot m; & h_m &= h \cdot m; \\ h_{o,m} &= h_o \cdot m; & a_m &= a \cdot m, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $b$ ,  $h$  и  $h_o$  – ширина, высота и рабочая высота железобетонной балки, мм;  $a$  – глубина заложения арматуры, мм;  $m$  – константа подобия модели.

3. Площадь арматуры и прочностные показатели арматуры и бетона модели выражены уравнениями:

$$A_{s,m} = \hat{A}_{s,m} = A_s \cdot m^2 = \hat{A}_s \cdot m^2; \quad (2)$$

$$R_{sc,m} = R_{s,m} = R_{sc} = R_s; \quad R_{sn,m} = R_{sn}; \quad (3)$$

$$R_{b,m} = R_b; \quad R_{bn,m} = R_{bn}, \quad (4)$$

где  $A_s$ ,  $\hat{A}_s$  – площадь арматуры в растянутой и соответственно сжатой зоне сечения железобетонной балки, мм<sup>2</sup>;  $R_{sc}$ ,  $R_s$  – расчетное сопротивление арматуры сжатию и соответственно растяжению, МПа;  $R_{sn}$  – нормативное сопротивление арматуры растяжению, МПа;  $R_b$ ,  $R_{bn}$  – расчетное и соответственно нормативное сопротивление бетона, МПа.

4. Силовое подобие модели при определении прочности натурной железобетонной балки выражает пропорциональность изгибающего момента ( $M_{m'}$ , кН·м) в виде уравнения

$$M_m = M \cdot m^3, \quad (5)$$

где  $M$  – изгибающий момент от всех нагрузок на натурную балку, кН·м;  $m$  – константа подобия модели.

5. Силовое подобие модели при определении огнестойкости натурной железобетонной балки выражает пропорциональность изгиба-

ющего момента ( $M_{m, cou}$ , кН·м) от постоянных и длительных нагрузок в виде уравнения

$$M_{m, cou} = M_v \cdot m^3, \quad (6)$$

где  $M_v$  – изгибающий момент от постоянных и длительных нагрузок, МПа;  $m$  – константа подобия модели.

6. «Если мелкие детали конструкции не могут быть точно воспроизведены в модели, то она не воспроизведет полную картину работы конструкции вплоть до ее разрушения, хотя общий режим будет имитироваться верно» [1, с. 121]. Поэтому расчет по прочности нормальных сечений будем производить не на основе нелинейной деформационной модели, позволяющей проследить поведение материалов и конструкции на любой стадии нагружения, а на основе метода предельных усилий, применяя который можно получить единичный результат, указывающий на разрушающую величину нагрузок.

Расчет прочности прямоугольного сечения железобетонной модели с двойной арматурой производят в зависимости от высоты сжатой зоны ( $x_m$ , мм) по уравнению

$$x_m = (R_{s,m} \cdot A_{s,m} - R_{sc,m} \cdot A'_{s,m}) / (b_m \cdot R_{b,m}), \quad (7)$$

где  $R_{s,m}$ ,  $R_{sc,m}$  – расчетное сопротивление арматуры растяжению и соответственно сжатию, МПа;  $A_{s,m}$ ,  $A'_{s,m}$  – площадь арматуры в растянутой и соответственно сжатой зоне сечения модели, мм<sup>2</sup>;  $b_m$  – ширина сечения модели, мм;  $R_{b,m}$  – расчетное сопротивление бетона сжатию, МПа.

Затем вычисляют относительную высоту сжатой зоны бетона модели по уравнению

$$\xi_m = x_m / h_o \quad (8)$$

и граничную высоту сжатой зоны по уравнению

$$\xi_{R,m} = 0,6 / (1 + R_s / 700); \quad (9)$$

при  $\xi_m \leq \xi_{R,m}$  прочность сечения модели вычисляют по уравнению

$$M_{cc} = R_b \cdot b_m \cdot x_m \cdot (h_{o,m} - 0,5 \cdot x_m) + R_{sc} \cdot A'_{s,m} \cdot (h_{o,m} - a'_m). \quad (10)$$

7. Максимальный прогиб свободно опертого железобетонного элемента масштабной модели с трещинами по изгибной деформации ( $f_m$ , мм) определяют по уравнению

$$f_m = s \cdot l_m^2 \cdot (r_m^{-1})_{max}, \quad (11)$$

где  $s$  – статический коэффициент схемы нагружения балочного элемента;  $l_m$  – расчетный пролет масштабной модели, мм;  $(r_m^{-1})_{max}$  – полная кривизна в сечении с максимальным изгибающим моментом, определяется по уравнению

$$(r_m^{-1}) = (M_m - \varphi_2 \cdot b_m \cdot h_m^2 \cdot R_{bt,ser}) / (\varphi_1 \cdot E_s \cdot A_{s,m} \cdot h_{o,m}), \quad (12)$$

где  $M_m$  – изгибающий момент в сечении модели, кН·м;  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – расчетные коэффициенты, принимаемые по табл. 4.5 и 4.6 [2].

Прогиб натурной железобетонной балки ( $f$ , мм) вычисляют по уравнению

$$f = f_m / (k_1 \cdot m), \quad (13)$$

где  $f_m$  – прогиб железобетонной балочной модели с трещинами, мм;  $k_1 = 2$  – показатель при константе подобия  $m = 0,25$ .

Результат расчета натурной железобетонной балки по прогибам ( $f_{расч}$ ) производят из условия

$$f_{расч} \leq f_{ult}, \quad (14)$$

где  $f_{расч}$  и  $f_{ult}$  – расчетный прогиб и соответственно допустимый прогиб, мм.

8. Для оценки огнестойкости натурной железобетонной балки сначала вычисляют интенсивность силовых напряжений ( $J_{\sigma} \leq 1$ ) в сечении масштабной модели, используя уравнение

$$J_{\sigma} = M_{cou,m} / M_{cc,m}, \quad (15)$$

где  $M_{cou,m}$  и  $M_{cc,m}$  – изгибающий момент от испытательной нагрузки на огнестойкость и соответственно разрушающий изгибающий момент в сечении модели, кН·м;

а) степень огнезащиты растянутой арматуры модели ( $C_m$ ) определяют по уравнению из п. 2.5 [3]:

$$c_m = 1,44 \cdot k_2 \cdot a_m / D_{br}^{0,8}, \quad (16)$$

где  $k_2$  – коэффициент условий обогрева арматуры в сечении модели;  $a_m$  – глубина заложения арматуры в сечении модели, мм;

б) продолжительность сопротивления модели термосиловому воздействию в условиях пожара ( $\tau_{u(R),m}$  мин) вычисляют по уравнению из п. 2.5 [3]:

$$\tau_{ur} = (2,15 | \ln J_{\sigma s} |)^{6,6/n} \cdot (t_{cr} / 425)^{6,6} \cdot e^c, \quad (17)$$

где  $J_{\sigma} \leq 1$  – интенсивность силовых напряжений в рабочей арматуре модели;  $t_{cr}$  – критическая температура нагрева стали, °С;  $n$  – степень термотекучести стали;  $c$  – степень огнезащиты рабочей арматуры, см;  $e = 2,72$  – основание натурального логарифма ( $\ln$ );

в) предел огнестойкости натурной балки по признаку потери несущей способности ( $F_{u(R)}$  мин) вычисляют по уравнению

$$F_{ur} = \tau_{ur} / m^k, \quad (18)$$

где  $m$  – константа подобия модели;  $k = 1,35$  при  $m = 0,25$ .

9. Стандартное огневое испытание определяет рост температуры в тепловой камере – печи в пределах  $t_{cm} = (200 \div 1200)^\circ\text{C}$  по степенной функции из [4]:

$$t_{cm} = 500 \cdot \tau_{cm}^{0,15}, \quad (19)$$

где  $t_{cm}$  и  $\tau_{cm}$  – температура стандартного испытания,  $^\circ\text{C}$ , и длительность огневого воздействия, мин.

Связь между совокупностью признаков и техническим результатом заключена в следующем: проектирование и изготовление масштабной модели с заданной константой подобия приближает испытание масштабной модели к испытаниям натуральных железобетонных балок. Разработка аналитического моделирования для расчета фактической огнестойкости железобетонной балки позволяет свести к минимуму огневые испытания балок и их моделей, а проведение неразрушающих испытаний снижает трудоёмкость оценки её прочности, деформации и огнестойкости. Следовательно, условия испытания железобетонной балки на масштабной модели значительно упрощены. Применение аналитического описания процесса сопротивления модели железобетонной балки стандартному огневому испытанию и использование построенной математической модели повышает точность и экспрессивность оценки огнестойкости.

Способ выявления прочности, деформации и огнестойкости железобетонной балки на масштабной модели производят в следующей последовательности. Сначала проектируют, с учетом геометрического и силового подобия, масштабную модель железобетонной балки с заданной константой подобия, выявляют геометрические характеристики модели и натуре, прочностные показатели заданных классов по прочности арматуры и бетона, устанавливают моделирующие усилия по выявлению несущей способности и огнестойкости балки, выявляют показатели термодиффузии бетона, определяют прочность расчетного сечения масштабной модели и натуре при нормальных условиях эксплуатации и разрушающего усилия в сечении модели и натуре в условиях стандартного огневого испытания, выявляют длительность сопротивления модели стандартному огневому испытанию и величину предела огнестойкости железобетонной балки по признаку потери её несущей способности.

На рис. 1 изображена схема моделирования железобетонной балки:  $g, g_n, g_o$  – нагрузки: расчетная, нормативная, при оценке огнестойкости, кН·м;  $M$  и  $M_m$  – изгибающий момент, действующий на натурную балку и соответственно на модель, кН·м.

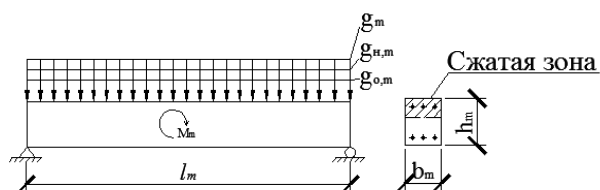


Рис. 1. Схема моделирования железобетонной балки

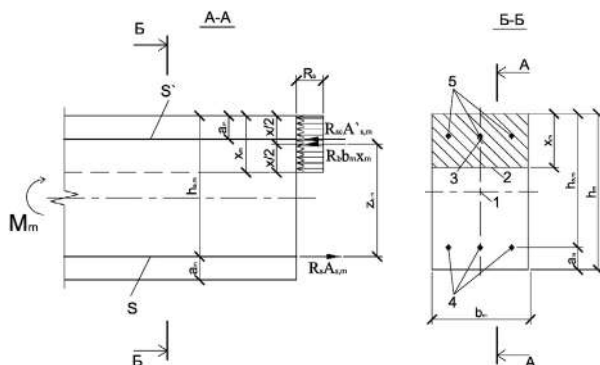


Рис. 2. Схема к расчету модели железобетонной балки на прочность и деформации

На рис. 2 изображена схема к расчету модели железобетонной балки на прочность и деформации: продольное сечение А-А, поперечное сечение Б-Б: 1 – ось симметрии сечения масштабной модели; 2 – граница сжатой зоны бетона; 3 – центр тяжести площади бетона сжатой зоны; 4 и 5 – продольная арматура в растянутой зоне (S) и соответственно в сжатой зоне (S');  $b_m, x_m$  – ширина и высота поперечного сечения модели, мм;  $a_m$  и  $a'_m$  – глубина залегания арматуры S и S', мм;  $A_s$  и  $A'_s$  – площадь сечения арматуры S и S', мм<sup>2</sup>;  $h_0, h_0 m$  – рабочая высота сечения, мм;  $x_m$  – высота сжатой зоны сечения модели, мм;  $Z_m$  – плечо пары внутренних усилий, мм.

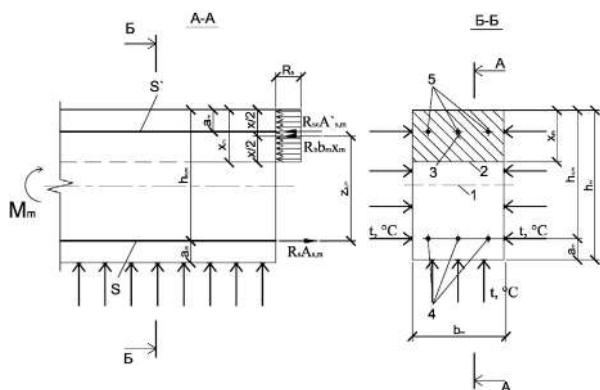


Рис. 3. Схема расчета на огнестойкость масштабной модели железобетонной балки прямоугольного сечения с двойной арматурой



На рис. 3 изображена схема расчета на огнестойкость масштабной модели железобетонной балки прямоугольного сечения с двойной арматурой: продольное сечение А-А, поперечное сечение Б-Б: 1 – ось симметрии сечения масштабной модели; 2 – граница сжатой зоны сечения; 3 – центр тяжести площади бетона сжатой зоны; 4 и 5 – продольная арматура в растянутой зоне (S) и соответственно в сжатой зоне (S');  $b_m x h_m$  – ширина и высота поперечного сечения модели, мм;  $a_m$  и  $a'_m$  – глубина залегания арматуры S и S', мм;  $A_{sm}$  и  $A'_{sm}$  – площадь сечения арматуры (S и S'), мм<sup>2</sup>;  $R_b$  и  $R_{bn}$  – нормативное сопротивление бетона и соответственно арматуры на растяжение/сжатие, МПа;  $e_{o,m}$  – эксцентриситет продольной силы, мм;  $h_{o,m}$  – рабочая высота сечения модели, мм;  $x_m$  – высота сжатой зоны сечения модели, мм;  $Z_m$  – плечо пары внутренних усилий, мм;  $t_{cm}$ , °С – температура теплового потока стандартного огневого испытания.

Предложенный метод выявления несущей способности и огнестойкости железобетонной балки на модели использован для экспериментальной оценки искомых характеристик изгибаемых элементов при проведении практических работ в отраслевой лаборатории железобетонных конструкций Академии строительства и архитектуры СамГТУ [5, 6].

**Выводы.** Предложенный авторами метод моделирования позволяет:

1. Определять количественные характеристики прочности, деформации и огнестойкости модели железобетонной балки.
2. Оценить предельное состояние железобетонной балки по прочности, деформации и огнестойкости.
3. Приблизить испытания масштабной модели к испытаниям натурной железобетонной балки здания.
4. Снизить трудозатраты на изготовление масштабной модели и ее испытание.

Об авторах:

#### **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

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Прис Б.В., Дэвис Д.Д. Моделирование железобетонных конструкций. Минск: Вышэйшая школа, 1974. 300 с.
2. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительно напряженной арматуры к СП 52-101-2003; (Расчет изгибаемых элементов на действие изгибающих моментов, пп. 3.15 – 3.19; табл.4.5; 4.6). М., 2005. 200 с.
3. Ильин Н.А., Панфилов Д.А. Оценка огнестойкости проектируемых железобетонных конструкций зданий: монография. Самара: СамГТУ, 2017. 186 с.
4. Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Мордовский С.С. Сопротивление строительных конструкций зданий в условиях пожара. Самара: СамГТУ, 2018. 71 с.
5. Панфилов Д.А., Бородачев Н.А. Исследование влияния трещинообразования на прогибы изгибаемых железобетонных элементов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-й юбилейной Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2013. С. 314–316.
6. Panfilov D.A., Romanchikov V.V., Krupin K.N. Solving cross-disciplinary problems by mathematical modelling // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 11. Ser. "International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems 2017 – Simulation and Automation of Production Engineering" 2018. С. 022080.

#### **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 E-mail: qaer1@yandex.ru

**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

**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

**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

**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

**БУЗОВСКАЯ Яна Александровна**

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

**BUZOVSKAYA Yana A.**

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

Для цитирования: Мордовский С.С., Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Таланова В.Н., Бузовская Я.И. Метод моделирования железобетонной балки с двойной арматурой по прочности, деформации и огнестойкости // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.1.

For citation: *Mordovsky S.S., Ilyin N.A., Panfilov D.A., Talanova V.N., Buzovskaya Y.I.* Method of modeling a reinforced concrete beam with double reinforcement for strength, deformation and fire resistance // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.1.

---

Уважаемые читатели!

Центр инженерно-технических разработок СамГТУ (ЦИТР СамГТУ) приглашает к сотрудничеству. Основные направления деятельности Центра:

- выполнение полного цикла создания проектно-сметной документации для строительства объектов гражданского и промышленного назначения;
- выполнение работ по обследованию технического состояния объектов строительства;
- осуществление авторского, технического надзора, строительного контроля;
- выполнения работ по строительству и реконструкции объектов, научно-методическое руководство проектными и строительными работами;
- разработка и апробация новых технологий и методов в архитектуре и проектировании и строительстве зданий и сооружений;
- координация разработки и продвижения новых образовательных программ в области архитектуры, проектирования и строительства;
- предоставление консалтинговых услуг в сфере проектной и инженерно-технической деятельности.

Руководитель Романчиков Вячеслав Викторович

Контакты: 443110, Россия, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 18, оф. 3  
тел. +7(937)070-19-02, E-mail: romanchikoff@mail.ru

**И. К. РОДИОНОВ**  
**И. И. РОДИОНОВ**

## **О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ С ОБЩИМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ, УСИЛИВАЕМЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СВАРКИ**

**RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE WORK OF COMPRESSED RODS WITH  
GENERAL DEFORMATIONS, STRENGTHENED WITH WELDING**

*В статье представлена экспериментально полученная информация об особенностях работы сжатых моделей, имитирующих стержни стальных ферм покрытия. Испытанию подвергались 9 стержней таврового сечения, составленных из парных уголков. Стержни были поделены на три серии. Серия 1 – прямые (эталонные); серия 2 – кривые, имеющие общий выгиб на обушок в плоскости соединительных прокладок; серия 3 – кривые, аналогичные стержням серии 2, но усиливаемые под нагрузкой путем увеличения сечения. Элементы усиления – стержни из уголков, аналогичных калибру уголков основных стержней, деформированные с целью получения обратного выгиба. Цель усиления – привести усиленный стержень к состоянию, близкому к центральному сжатию. Присоединение уголков усиления производилось ручной сваркой наплавкой швов минимальных размеров в четырех сечениях. Нагрузка при усилении была близка к критической для стержней серии 2. Стержни всех серий нагружались до потери устойчивости.*

**Ключевые слова:** эксперимент, сжатые стержни, стальная ферма, усиление под нагрузкой, увеличение сечения стержней, ручная сварка

В Российской Федерации существует обширный парк строительных конструкций, выполненных из стали, в той или иной степени претерпевших износ. Одним из наиболее эффективных приемов продления срока их службы является усиление.

Усиления требуют элементы каркаса, в том числе и стальные фермы покрытия. Значительная их часть – это конструкции со стержнями, выполненными из парных уголков. Для увеличения их несущей способности обычно не требуется усиление большого количества стержневых элементов. В этом причина широкого применения методов усиления, связанных с увеличением несущей способности лишь отдельных из них, наиболее слабых, напряженных. Среди таких методов наиболее применяемым и эффективным является метод увеличения сечений стержней путем присоединения на сварке дополнительных стержневых элементов.

*The article presents experimentally obtained information about the features of the work of compressed models that simulate the rods of steel trusses of the coating. 9 rods of T-section, made up of paired angles, were tested. The rods were divided into 3 series: 1, 2 and 3. Series 1 - straight (reference); series 2 - curves with a common bend on the edge in the plane of connecting gaskets; series 3 - curves similar to rods of series 2, but amplified under load by increasing the cross section. Elements of reinforcement - rods from the corners, similar to the caliber of corners of the main rods, deformed in order to obtain a reverse bend. The purpose of amplification is to bring the reinforced rod to a state close to central compression. The attachment of the reinforcement corners was carried out by hand welding by welding over welds of minimum dimensions in 4 sections. The load during amplification was close to critical for rods of series 2. The rods of all series were loaded until loss of stability.*

**Keywords:** experiment, compressed rods, steel truss, reinforcement under load, increase in rod cross-section, manual welding

Усилению ферм уделяется значительное внимание. Вопросы усиления стержней освещены, в частности, в технической литературе [1–7]. Серьезное внимание усилению стержней уделялось в исследованиях [8–11]. Например, в работе [11] исследовалось влияние общих и местных дефектов и повреждений на прочность и пространственную устойчивость стержней крестового сечения, работа [8] посвящена вопросам моделирования и расчета стержневых систем, усиленных в напряженном состоянии, в работе [10] исследовано влияние сварочных процессов на пространственную устойчивость усиливаемых под нагрузкой элементов. Из последних исследований можно отметить работы [12–15] по оценке влияния технологических параметров сварки на напряженное состояние сжатых усиливаемых и усиленных стержней.

Обследование конструкций показывает, что довольно часто сжатые стержни имеют общие выгибы в плоскости и из плоскости ферм,

что, естественно, снижает их несущую способность.

В целом же усиление строительных конструкций с дефектами и повреждениями в условиях действующей нагрузки является недостаточно изученной областью. В этой связи в Тольяттинском государственном университете проводятся исследования по работе сжатых усиливаемых стержней, имеющих начальные деформации, в том числе и общие погибы в плоскости ферм. Вопрос этот лишь фрагментарно отражен в известной технической литературе. В частности, предлагаются схемы усиления прямыми стержнями; даются ограничения предельно допускаемой при усилении нагрузки, причем разброс довольно большой – от 0,4 [5] до 0,8 [1, 2, 6, 7] от расчетной несущей способности усиливаемого стержня.

Цель исследований – получение информации о влиянии схемы усиления на работу сжатых стержней из парных уголков, имеющих общий выгиб в плоскости фасонок и усиливаемых с применением сварки, и, кроме того, подтверждение возможности проведения усиления при нагрузках, близких к критическим.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующее: провести испытания эталонных стержней (без деформаций), деформированных стержней без усиления, деформированных стержней с усилением под нагрузкой. Для этого было изготовлено 9 стержневых моделей таврового сечения из спаренных уголков L 40x4 длиной 100 см. Уголки соединили полосовыми прокладками толщиной 8 мм в двух сечениях. На концах стержней на опорных пластинах толщиной 20 мм в центре тяжести сечений было выполнено сверление для удобства использования шаровых опор (рис. 1).

Шаровые опоры представляли собой круглые пластины диаметром 120 и толщиной 25 мм. В центре пластин – запрессованные в лунки шарики диаметром 16 мм.

Все стержни были поделены на три серии. В 1-й серии – стержни эталонные, выполненные без начальных деформаций (рис. 1, 3). Во 2-й и 3-й – деформированные стержни с выгибом  $f = 25$  мм в плоскости фасонок (рис. 4). Стержни 1-й и 2-й серий (по три модели в каждой серии) испытывались без усиления. Стержни 3-й серии (три деформированные модели) усиливались под нагрузкой.

Перед испытаниями производился монтаж опорных шарниров. К верхней плите прессы на клею прикреплялась верхняя шаровая опора (рис. 2), после чего осуществлялось центрирование и прикрепление нижней шаровой опоры. Центрирование производилось тщательно с помощью отвеса.

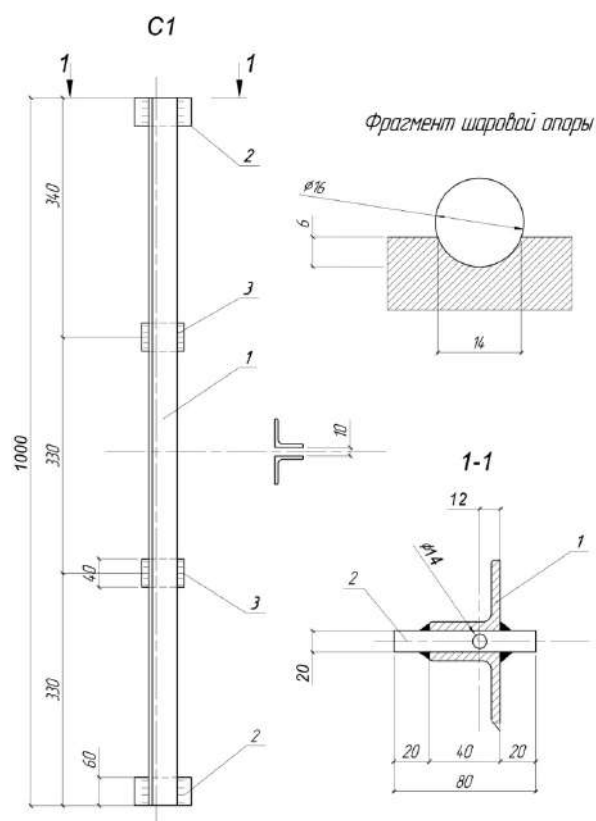


Рис. 1. К вопросу конструктивных особенностей усиливаемых стержней и шаровых опор



Рис. 2. Верхняя шаровая опора

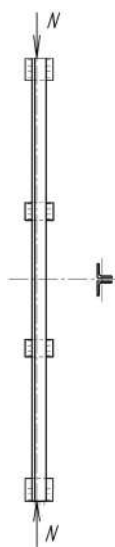


Рис. 3.  
Стержень 1-й серии

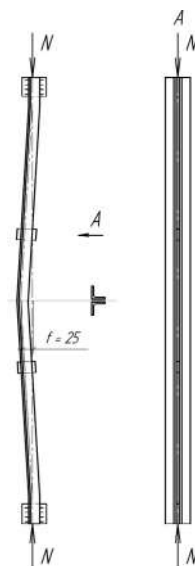


Рис. 4.  
Стержень 2-й серии

Испытание стержней 1-й и 2-й серий (рис. 5, 6) производилось в следующем порядке: стержень устанавливался между опорами пресса П-250 на предварительно смонтированные, отцентрированные шарнирные опоры, после чего производилось нагружение ступенями по 200 кг до потери устойчивости. Потеря устойчивости определялась по моменту появления и роста изгибных деформаций. По шкале пресса определялась критическая нагрузка.

Стержни 3-й серии усиливались под нагрузкой. Усиление производилось двумя угол-

ками того же калибра, как и в основном стержне (рис. 7). Элементы усиления со стрелкой выгиба  $f = 25$  мм. Стрелка получалась следующим образом: в середине стержня разрезалась одна из полок, стержень сгибался до появления требуемого выгиба и закреплялся в тисках, после чего разрез заваривался.

Таким образом, путем прикрепления элементов усиления по схеме (см. рис. 7) ось усиленного стержня принимала форму прямой линии. В результате увеличивалась площадь сечения, исключался эксцентриситет приложения нагрузки.



Рис. 5. Испытание стержня 1-й серии



Рис. 6. Испытание стержня 2-й серии

Наплавка соединительных швов производилась первоначально по концам в пределах опорных пластин с последующим нанесением промежуточных валиков. Для обеспечения совместной работы усиленного стержня с уголками усиления в среднем сечении применялись соединительные планки. Все швы выполнялись длиной  $l_{\omega} = 30-40$  мм, катетом  $k = 3-4$  мм. Сварка производилась вручную электродами типа Э42.

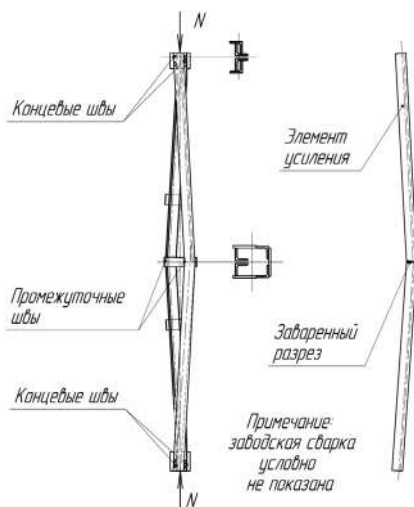


Рис. 7. Схема усиления стержня 3-й серии

За нагрузку при усилении принималась величина, близкая к минимальной критической нагрузке, экспериментально полученной при испытании стержней 2-й серии. Последнее принималось для подтверждения результатов исследований [12–15] о возможности усиления сжатых стержней при нагрузке, близкой к критической.

После усиления стержня (рис. 8) нагружались ступенями по 200 кг до потери устойчивости.



Рис. 8. Испытание усиленного стержня

№ серии	Сечение	Длина и калибр уголков	Класс стали	Вид начальных деформаций	Стержни серии	Наличие усиления	Критические силы, кН				
1		2L 40×4 L=100 см	С245	Без деформаций	1	Нет	120				
					2		126				
					3		130				
2					2L 40×4 L=100 см	С245	Общий выгиб, $f = 25$ мм	1	Нет	41	
								2		39	
								3		35,2	
3		2L 40×4 L=100 см	С245					Общий выгиб, $f = 25$ мм	1	Есть	252,5
									2		280
									3		275

В результате проведенных исследований были получены следующие результаты (см. таблицу): при испытании эталонных стержней минимальная критическая сила составила 120 кН; при испытании деформированных стержней без усиления – 35,2 кН; минимальная критическая сила усиленных стержней – 252,5 кН.

**Выводы.** 1. Общие деформации значительно ухудшают работу сжатых стержней: крити-

ческие силы стержней с выгибами  $f = 25$  мм более чем в три раза меньше критических сил прямых центрально сжатых стержней.

2. Предложенный способ усиления показал свою эффективность: критические силы усиленных стержней оказались в два раза больше критических сил эталонных стержней.

3. Результаты эксперимента подтвердили результаты исследований [13–15] о возмож-

ности проведения усиления сжатых стержней при нагрузке, близкой к критической: усиление производилось при нагрузке, равной 32 кН, близкой к величине минимальной критической силы деформированных стержней 35,2 кН.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демидов Н.Н. Усиление стальных конструкций [Электронный ресурс]. М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. 85 с.
2. Металлические конструкции / [Ю.И. Кудишин, Е.И. Беленя, В.С. Игнатъева и др.]; под ред. Ю.И. Кудишина. 10-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 688 с.
3. Михайлов В.В., Макарьев Ю.А. Усиление стальных строительных конструкций. Владимир : Изд-во Владимир. гос. ун-та, 2006. 96 с.
4. Яковлева М.В., Фролов Е.А., Фролов А.Е. Строительные конструкции. Подготовка, усиление, защита от коррозии [Электронный ресурс]. М.: Форум: ИНФРА-М, 2015. 208 с.
5. Бельский М.Р., Лебедев А.И. Усиление стальных конструкций. Киев: Будівельник, 1981. 200 с.
6. Валь В.Н., Горохов Е.В., Уваров Б.Ю. Усиление стальных конструкций одноэтажных производственных зданий при реконструкции. М.: Стройиздат, 1987. 300 с.
7. Ребров И.С. Работа сжатых элементов стальных конструкций, усиленных под нагрузкой. Л.: Стройиздат, 1976. 200 с.
8. Абрагим Х.А. Моделирование и расчет стержневых систем, усиленных в напругеном состоянии: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, КГТУ. 2011. 25 с.
9. Десятов Б.И. Исследование работы усиляемых под нагрузкой элементов сварных стальных ферм: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1968. 25 с.
10. Михаськин В.В. Влияние сварочных процессов на пространственную устойчивость усиляемых под нагрузкой элементов стержневых конструкций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2010. 26 с.
11. Мункуева Е.М. Прочность и устойчивость элементов стальных конструкций крестового сечения, имеющих общие и местные дефекты и повреждения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 1999. 25 с.
12. Родионов И.К. Об экспериментальном исследовании стальной фермы, усиливаемой под нагрузкой с применением сварки // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2015. №2–1 (32–1). С. 20–26.
13. Родионов И.К. Сварочные деформации, метод «фиктивных температур» и усиление сжатых стержней стальных ферм покрытия // Труды междунар. научно-технич. конфер. (Резниковские чтения). Теплофиз. и технолог. аспекты повыш. эффектив. машиностр. производ. / ТГУ. Тольятти, 2015. С. 118–124.
14. Родионов И.К. Усиление сжатых стержней стальных ферм производственных зданий // Сварочное производство. 2009. №4. С. 25–29.
15. Rodionov I.K. Reinforcement of compressed bars of steel girders in industrial buildings // Welding International. 2010. T 24. № 11. P. 889–892.

Об авторах:

### РОДИОНОВ Игорь Константинович

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного, гражданского строительства и городского хозяйства  
Тольяттинский государственный университет  
Архитектурно-строительный институт  
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Ушакова, 59  
E-mail: riktlt@mail.ru

### РОДИОНОВ Игорь Игоревич

инженер ПТО, ООО «Аполло»  
445012, Россия, г. Тольятти, ул. Мурысева, д. 58, кв. 118  
E-mail: inmylave@mail.ru

### RODIONOV Igor K.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Industrial and Civil Engineering and Urban Management Chair  
Togliatti State Technical University  
Institute of Architecture and Civil Engineering  
445020, Russia, Togliatti, Ushakova str., 59  
E-mail: riktlt@mail.ru

### RODIONOV Igor I.

Engineer  
445020, Russia, Togliatti  
E-mail: inmylave@mail.ru

Для цитирования: Родионов И.К., Родионов И.И. О некоторых результатах экспериментального исследования работы сжатых стержней с общими деформациями, усиливаемых с применением сварки // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, №1. С. 10–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.2.

For citation: Rodionov I.K., Rodionov I.I. Results of Experimental Research of the Work of Compressed Rods with General Deformations, Strengthened with Welding// Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 10–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.2.

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ



УДК 699.86

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.3

Ю. С. ВЫТЧИКОВ  
М. Е. САПАРЁВ  
А. С. ПРИЛЕПСКИЙ  
Д. Д. КОНЯКИНА

## ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛОДЦЕВЫХ КЛАДОК С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПЕСЧАНОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА

ASSESSMENT OF THERMAL PROTECTIVE CHARACTERISTICS OF WELL MASONRY WITH  
THE USE OF NO-FINE EXPANDED-CLAY LIGHTWEIGHT CONCRETE

*В рамках реализации программ по переселению из ветхого жилья и сельскому строительству особое внимание уделяется вопросам строительства малоэтажных энергоэффективных зданий. Анализ различных технологий возведения малоэтажных зданий выявил целесообразность применения керамзитобетона в качестве конструкционного и теплоизоляционного материала в трехслойных наружных стенах и колодцевых кладках. Представленный теплотехнический расчет оригинальной конструкции колодцевой кладки показал достаточно высокие значения приведенного сопротивления теплопередаче и коэффициента теплотехнической однородности. Более высокая точность представленной инженерной методики теплотехнического расчета подтверждена сравнением полученных данных по сопротивлению теплопередаче наружной стены приближенным аналитическим методом с данными компьютерного моделирования температурных полей методом конечных элементов.*

**Ключевые слова:** колодцевая кладка, беспесчаный керамзитобетон, сопротивление теплопередаче, теплотехническая однородность, коэффициент теплопроводности

В практике строительства в России колодцевые кладки широко использовались при возведении наружных стен. В качестве несущих слоев чаще всего применялась кладка из кирпича на цементно-песчаном растворе, а сам колодец заполнялся, как правило, засыпным материалом, обладающим относительно невысоким значением коэффициента теплопроводности.

В связи с реализацией программы энергосбережения в строительстве, начиная с 1995 г.

*As part of the implementation of programs for the resettlement of dilapidated housing and rural construction, special attention is paid to the construction of low-rise energy-efficient buildings. Analysis of various technologies for the construction of low-rise buildings revealed the feasibility of using expanded clay concrete as a structural and insulating material in three-layer exterior walls and well laying. The presented heat engineering calculation of the original construction of the well masonry showed rather high values of the reduced heat transfer resistance and the coefficient of heat engineering uniformity. Rather high accuracy of the presented engineering technique of thermal engineering calculation is confirmed by comparison of the received data on resistance to heat transfer of an external wall by the approximate analytical method with data of computer simulation of temperature fields by a finite element method.*

**Keywords:** well laying, unalloyed claydite-concrete, heat transfer resistance, heat engineering uniformity, heat conductivity coefficient

существенно возросли нормативные требования по теплозащите ограждающих конструкций, что отразилось на их конструктивных решениях.

Ввиду относительно невысоких значений коэффициента теплотехнической однородности колодцевых кладок они были заменены на слоистые с использованием эффективных полимерных теплоизоляционных материалов. В качестве утеплителей в слоистых кладках широко используются плиты из базальтовой минваты, стекловаты и пенополистирола.



В процессе эксплуатации наружных стен с указанными выше теплоизоляционными материалами происходит их увлажнение за счет конденсации водяных паров при пониженных температурах внутри слоев [1], что приводит к снижению теплозащитных свойств утеплителей. Применение пароизоляции в слоистых кладках не всегда оказывается эффективным из-за возможного ее прорыва при установке гибких связей. Одним из существенных недостатков слоистых кладок, утепленных относительно недолговечными полимерными материалами, является их ремонтнепригодность.

Весьма перспективным направлением, как показано в работах [1–5], является использование легких бетонов в строительных ограждающих конструкциях. В работах [1–4] рассмотрено применение крупнопористого керамзитобетона при производстве трехслойных стеновых панелей заводского изготовления.

При возведении наружных стен малоэтажных зданий целесообразно использовать колодцевые кладки с применением беспесчаного керамзитобетона, обладающего по сравнению с обычным керамзитобетоном более низкими значениями коэффициента теплопроводности при одинаковой плотности, что следует из результатов исследований, представленных в работах [5, 6].

Авторами настоящей работы был выполнен теплотехнический расчет наружной стены (рис. 1).

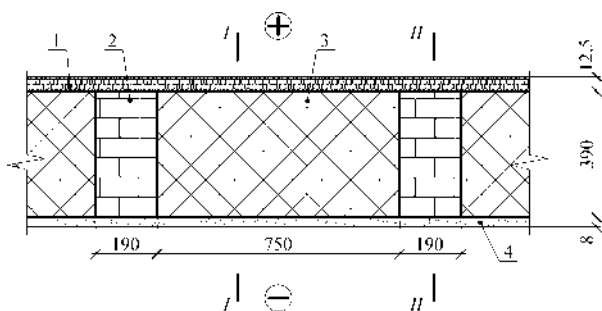


Рис. 1. Разрез по наружной стене (исполнение 1): 1 – гипсокартон,  $\delta_1=0,0125$  м;  $\gamma_1=800$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_1=0,19$  Вт/(м·°С);  $\mu_1=0,075$  мг/(м·ч·Па); 2 – стеновой камень из беспесчаного керамзитобетона производства ООО «Вита терм»,  $\delta_2=0,39$  м;  $\gamma_2=650$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_2=0,142$  Вт/(м·°С);  $\mu_2=0,15$  мг/(м·ч·Па); 3 – беспесчаный монолитный керамзитобетон,  $\delta_3=0,39$  м;  $\gamma_3=300, 350, 400, 450, 500$  кг/м<sup>3</sup>; 4 – латонит,  $\delta_4=0,009$  м;  $\gamma_4=1790$  кг/м<sup>3</sup>;  $\lambda_4=0,21$  Вт/(м·°С);  $\mu_4=0,019$  мг/(м·ч·Па)

Показанная на рис. 1 наружная стена выполнена в виде колодцевой кладки с размерами колодца 0,39×0,75×0,5 м. Заливка колодцев беспесчаным керамзитобетоном выполняется по всему периметру коттеджа на высоту  $h = 0,5$  м. После набора необходимой прочно-

сти беспесчаным керамзитобетоном (при его затвердевании) укладывается сетка и выполняется стяжка цементно-песчаным раствором толщиной 10 мм. Далее в изложенной выше последовательности устанавливается следующий ряд стеновых камней, к которому крепятся шурупами листы гипсокартона и латонита.

Теплофизические характеристики беспесчаного керамзитобетона определялись по СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», а латонита – по экспериментальным данным, полученным в аккредитованной лаборатории теплотехнических испытаний СамГТУ.

Сопrotивление теплопередаче колодцевой кладки определялось по методике, подробно изложенной в [7]. Согласно [7] термическое сопротивление рассматриваемого фрагмента кладки наружной стены рассчитывалось по формуле

$$R = R_1 + R_2 + R_3, \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт}, \quad (1)$$

где  $R_1$  – термическое сопротивление слоя гипсокартона, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;  $R_2$  – термическое сопротивление второго слоя, выполненного из монолитного беспесчаного керамзитобетона и стеновых камней, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;  $R_3$  – термическое сопротивление слоя латонита, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,0125}{0,19} = 0,066 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт};$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0,009}{0,21} = 0,043 \text{ (м}^2\cdot\text{°С)/Вт}.$$

Так как во втором слое однородность материала нарушена, средний коэффициент теплопроводности его материалов был определен согласно [7] по формуле

$$\lambda_{cp} = \frac{\lambda_3 F_I + \lambda_2 F_{II}}{F_I + F_{II}}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}, \quad (2)$$

где  $F_I, F_{II}$  – площади, занимаемые на фрагменте наружной стены беспесчаным монолитным керамзитобетоном и стеновыми камнями соответственно, м<sup>2</sup>.

В качестве примера подробно рассмотрим определение сопротивления теплопередаче колодцевой кладки с монолитным керамзитобетоном плотностью  $\gamma = 500$  кг/м<sup>3</sup>.

$$\lambda_{cp} = \frac{0,13 \cdot 0,75 \cdot 0,5 + 0,142 \cdot 0,19 \cdot 0,5}{0,75 \cdot 0,5 + 0,19 \cdot 0,5} = 0,133 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}.$$

В целях проверки точности изложенного выше приближенного аналитического метода был выполнен расчет температурного поля в горизонтальном сечении фрагмента наружной стены при различных плотностях моно-

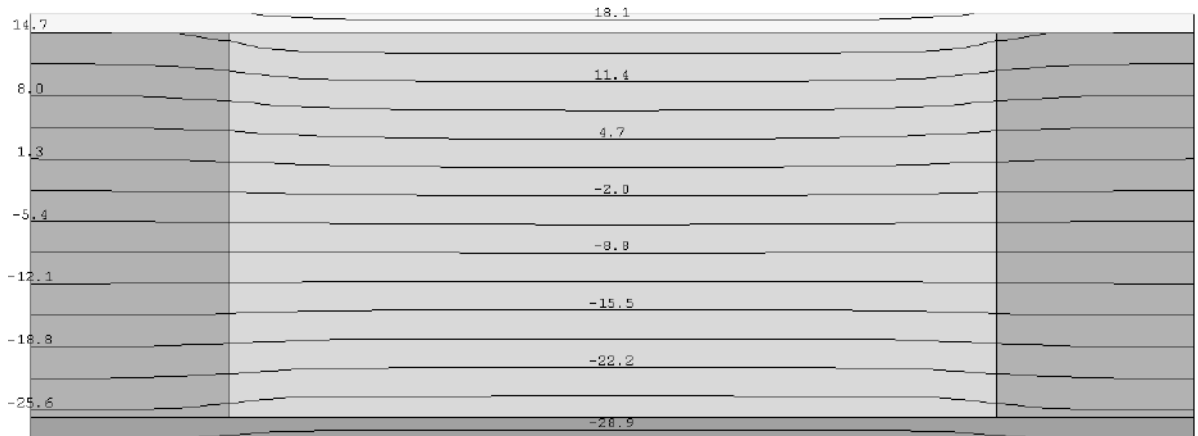


Рис. 2. Температурное поле в наружной стене

литного беспесчаного керамзитобетона по программе THERM 7.6.1.0 с помощью метода конечных элементов.

В качестве примера на рис. 2 представлено температурное поле в наружной стене.

По полученным температурным полям были определены значения среднего коэффициента теплопроводности в сечении колодезной кладки, которые практически совпали с данными приближенного аналитического метода, что подтверждает достаточную для инженерных расчетов точность рассматриваемого выше приближенного метода.

Для того чтобы учесть влияние цементно-песчаной стяжки между отдельными фрагментами колодезной кладки по высоте здания на значение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены, необходимо определить осредненное значение коэффициента теплопроводности второго слоя по высоте здания.

$$\lambda_{cp} = \frac{\lambda_{cp} F_{фп} + \lambda_{cm} F_{cm}}{F_{фп} + F_{cm}}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}, \quad (3)$$

где  $\lambda_{cm}$  – коэффициент теплопроводности стяжки из цементно-песчаного раствора, Вт/(м·°C);  $F_{фп}$ ,  $F_{cm}$  – площади фрагмента колодезной кладки и стяжки соответственно, м<sup>2</sup>.

$$\lambda_{cp} = \frac{0,133 \cdot 0,47 + 0,76 \cdot 0,0094}{0,47 + 0,0094} = 0,145 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}.$$

Термическое сопротивление наружной стены рассчитывалось по формуле

$$R = R_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_{cp}} + R_3 = 0,066 + \frac{0,39}{0,145} + 0,043 = 2,8 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены составило 2,96 (м<sup>2</sup>·°C)/Вт.

Результаты теплотехнического расчета наружных стен, утепленных беспесчаным керамзитобетоном, представлены в таблице и на рис. 3.

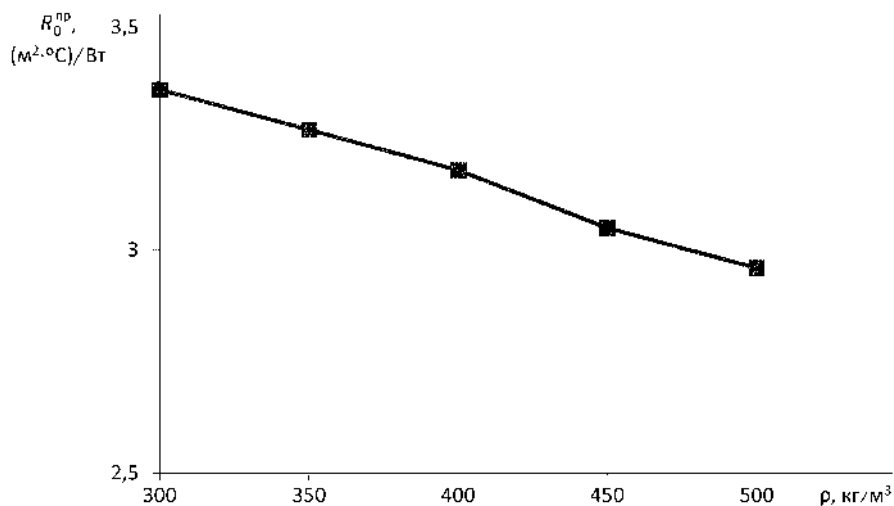


Рис. 3. Зависимость приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены от плотности беспесчаного керамзитобетона

## Результаты теплотехнического расчета наружной стены

Плотность беспесчаного керамзитобетона $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Сопротивление теплопередаче наружной стены $R_0^{ycl}$ , (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт	Приведенное сопротивление теплопередаче наружной стены $R_0^{np}$ , (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт	Коэффициент теплотехнической однородности $r = R_0^{np} / R_0^{ycl}$
300	3,98	3,36	0,844
350	3,81	3,27	0,858
400	3,66	3,18	0,869
450	3,44	3,05	0,887
500	3,27	2,96	0,905

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче наружной стены жилого здания, строящегося в Самаре, при расчетной температуре внутреннего воздуха  $t_g = 22$  °С, согласно СП 50.13330.2012, составило  $R_0^{mp} = 3,33$  (м<sup>2</sup>·°С)/Вт.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче определялось по формуле

$$R_0^{norm} = R_0^{mp} m_p, \text{ (м}^2\text{·°С)/Вт,}$$

где  $m_p$  – районный коэффициент, принимаемый согласно СП 50.13330.2012 от 0,63 до 1,0 в зависимости от величины удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания.

Минимально допустимое значение теплопередаче наружной стены при значении  $m_p = 0,63$  составляет 2,1 (м<sup>2</sup>·°С)/Вт. Следовательно, конструкция наружной стены, представленная на рис. 3, соответствует нормируемым требованиям по теплозащите.

Расчет влажностного режима рассматриваемой конструкции наружной стены при плотности беспесчаного керамзитобетона, принимаемой в пределах от 300 до 500 кг/м<sup>3</sup>, выполненный согласно СП 50.13330.2012, показал на отсутствие накопления влаги за годовой период эксплуатации здания. Накопление влаги в наружной стене за период с отрицательными температурами не выходит за пределы сорбционного увлажнения.

**Выводы.** 1. Разработана упрощенная методика теплотехнического расчета колодцевых кладок, позволяющая учесть влияние цементно-песчаной стяжки на значение приведенного сопротивления теплопередаче наружной стены.

2. На основе выполненных расчетов установлены зависимости для определения коэффициента теплотехнической однородности

и приведенного сопротивления теплопередаче при различных значениях плотности беспесчаного монолитного керамзитобетона, заливаемого в колодцевых кладках.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов Ю. М., Король Е. А., Ерофеев В. Т., Митина Е. А. Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности. М.: АСВ, 2008. 320 с.
2. Баженов Ю.М., Ерофеев В.Т., Митина Е.А. и др. Ограждающие конструкции на основе каркасного керамзитобетона для производственных зданий. М.: АСВ, 2005. 200 с.
3. Комиссаренко Б.С. Перспективы развития производства керамзитобетона с учетом современных задач стройиндустрии // Строительные материалы. 2000. №6. С. 22–23.
4. Горин В.М., Токарева С.А., Вытчиков Ю.С., Беляков И.Т., Шиянов Л.П. Применение стеновых камней из беспесчаного керамзитобетона в жилищном строительстве // Строительные материалы. 2010. №5. С. 15–18.
5. Вытчиков Ю.С., Горин В.М., Токарева С.А. Исследование теплофизических характеристик стеновых панелей из беспесчаного керамзитобетона // Строительные материалы. 2011. №8. С.42–43.
6. Вытчиков Ю.С., Черенева А.В. Экспериментальное исследование воздухопроницаемости беспесчаного керамзитобетона // Строительные материалы. 2011. №7. С. 10–11.
7. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.

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

**САПАРЁВ 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

**ПРИЛЕПСКИЙ Андрей Сергеевич**

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: git.2008@mail.ru

**КОНЯКИНА Дарья Денисовна**

студентка группы Т-61 Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: d.konyakina@yandex.ru

**VYTCHEKOV Yuri 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 E.**

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

**PRILEPSKY Andrey S.**

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: git.2008@mail.ru

**KONYAKINA Darya D.**

Student of the Faculty of Engineering Systems and Environmental Construction Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: d.konyakina@yandex.ru

Для цитирования: *Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Прилепский А.С., Конякина Д.Д.* Оценка теплозащитных характеристик колодезных кладок с применением беспесчаного керамзитобетона // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 15–19. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.3.

For citation: *Vytchikov Yu.S., Saparev M.E., Prilepsky A.S., Konyakina D.D.* Evaluation of Heat-Protective Characteristics of Well Masonry with the Application of No-Fine Expanded-Clay Lightweight Concrete// Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1.Pp. 15–19. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.3.

---

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»  
ПРИГЛАШАЕТ ВАС ОПУБЛИКОВАТЬ СТАТЬЮ.  
ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ,  
ИНДЕКСИРУЕТСЯ В РИНЦ, CROSSREF И ERIN PLUS.  
ПО ВОПРОСАМ, СВЯЗАННЫМ С ПУБЛИКАЦИЕЙ СТАТЕЙ,  
ОБРАЩАТЬСЯ [VESTNIKSGASU@YANDEX.RU](mailto:VESTNIKSGASU@YANDEX.RU)  
ПОЛНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЖУРНАЛЕ НА САЙТЕ [JOURNAL.SAMGASU.RU](http://JOURNAL.SAMGASU.RU)

**О. Ю. КУРГАНОВА**  
**И. В. КУДИНОВ**  
**Р. М. КЛЕБЛЕЕВ**  
**Е. В. СТЕФАНЮК**  
**Т. Е. ГАВРИЛОВА**

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ**

**ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING THE THICKNESS OF DEPOSITS ON THE INTERNAL SURFACES OF HEAT EXCHANGERS**

*Используя точное аналитическое решение стационарной задачи теплопроводности для двухслойной плоской стенки при неоднородных граничных условиях первого и третьего рода, разработан аналитический метод определения толщины слоя отложений на внутренней поверхности стенки трубопровода по известной из эксперимента температуре на его внешней поверхности. Толщина отложений определяется из решения обратной задачи путем подстановки экспериментального значения температуры внешней поверхности стенки в формулу точного аналитического решения. По результатам теоретических исследований толщина отложений составила 1,3 см. Ввиду большого диаметра трубопровода (0,6 м) и незначительной толщины двухслойной стенки (0,016 м) она принималась плоской. Толщина отложений согласно экспериментальным исследованиям составила 1,1 см. Показано, что расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований составляет 15,3%. Приведена последовательность получения решения аналогичной задачи и для цилиндрической стенки.*

**Ключевые слова:** двухслойная стенка, стационарная задача теплопроводности, точное аналитическое решение, толщина отложений, обратная задача теплопроводности, экспериментальные исследования

При течении теплоносителей на внутренних поверхностях трубопроводов и плоских стенок могут возникать различного состава отложения (парафины, кокс, смолы и пр.). Их толщина может достигать величин, при которых значительно уменьшаются диаметры трубопроводов, что приводит к росту их гидравлического сопротивления и, в конечном итоге, к уменьшению расхода среды. Кроме того, ввиду незначительной величины коэффициентов теплопроводности отложений ухудшаются теплообменные свойства стенок.

Причинами возникновения отложений на внутренних поверхностях теплообменников могут быть следующие: нагрев жидкостей, в результате которого могут выделяться содержащиеся в них соли различного состава; при-

*Using the exact analytical solution of the stationary thermal conductivity problem for a two-layer flat wall under inhomogeneous boundary conditions of the first and third kind, an analytical method for thickness determination of the sediment layer on the inner surface of the pipeline wall by the temperature known from the experiment on its outer surface is developed. The thickness of the deposits is found from the solution of the inverse problem by substituting the experimental value of the temperature of the outer surface of the wall into the formula of an accurate analytical solution. According to the results of theoretical studies, the thickness of the deposits was equal to 1.3 cm. Due to the large diameter of the pipeline (0.6 m) and the insignificant thickness of the two-layer wall (0.016 m), it was assumed to be flat. The thickness of the deposits according to experimental studies was equal to 1.1 cm. Therefore, the discrepancy between the results of theoretical and experimental studies is 15.3%. The sequence of obtaining a solution to a similar problem for a cylindrical wall is also presented.*

**Keywords:** two-layer wall, stationary heat conduction problem, exact analytical solution, the thickness of the deposits, inverse heat conduction problem, experimental study

менительно к жидким топливам (бензин, керосин, солярка и пр.) при их нагреве на стенках трубопроводов могут откладываться твердые углеводороды; бывают также отложения, связанные с коррозионными процессами, и др.

Определение толщины отложений без вскрытия стенок трубопроводов представляется сложной технической задачей, для решения которой требуется применение специального оборудования [1–5]. В настоящей работе излагается приближенный аналитический метод ее определения, для использования которого необходимо лишь знание температуры наружной поверхности стенки теплообменника, определяемой из эксперимента, и коэффициента теплопроводности отложений. По найденной из эксперимента температуре внешней

поверхности, а также при наличии аналитического решения задачи теплопроводности для двухслойной стенки (толщина отложений – стенка исследуемой конструкции) путем решения обратной задачи определяется толщина отложений [6, 7].

Основную идею метода рассмотрим на примере решения задачи теплопроводности для двуслойной плоской стенки (материал отложений – стенка конструкции) в следующей математической постановке (рис. 1) [7–9]:

$$\frac{d^2 T_i(x)}{dx^2} = 0, \quad (i=1,2; \quad x_{i-1} \leq x \leq x_i \quad x_0=0; \quad x_2=\delta); \quad (1)$$

$$T_1(0) = T_{cm}; \quad (2)$$

$$\frac{dT_2(\delta)}{dx} - \frac{\alpha}{\lambda_2} [T_{cp} - T_2(\delta)] = 0; \quad (3)$$

$$T_1(x_1) = T_2(x_1); \quad (4)$$

$$\lambda_1 \frac{dT_1(x_1)}{dx} = \lambda_2 \frac{dT_2(x_1)}{dx}, \quad (5)$$

где  $T_i$  – температура  $i$ -го слоя ( $i = 1, 2$ );  $x$  – координата;  $T_{cm}$  – температура поверхности отложений;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности стенки трубы;  $T_{cp}$  – температура окружающей среды;  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности отложений;  $\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности стенки трубы;  $\delta = \delta_1 + \delta_2$  – суммарная толщина двуслойной стенки;  $\delta_1, \delta_2$  – толщины первого и второго слоя.

Для приведения задачи (1) – (5) к безразмерному виду обозначим:

$$\Theta_i = \frac{T_i - T_{cp}}{T_{cm} - T_{cp}}, \quad (i=1,2); \quad Bi = \frac{\alpha \delta}{\lambda_2}; \quad \xi = \frac{x}{\delta}; \quad H = \frac{\lambda_2}{\lambda_1},$$

где  $\Theta_i$  ( $i = 1, 2$ ) – безразмерная температура;  $Bi$  – число Био;  $\xi$  – безразмерная координата;  $H$  – безразмерный параметр.

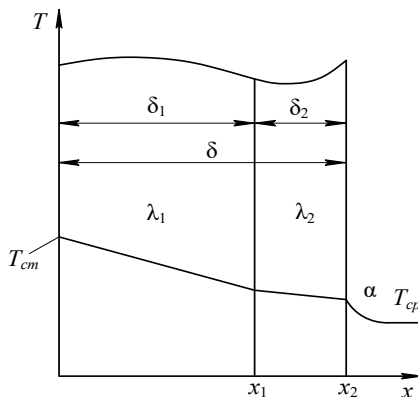


Рис. 1. Схема теплообмена в двуслойной системе

С учетом принятых обозначений задача (1) – (5) принимает вид

$$\frac{\partial^2 \Theta_i(\xi)}{\partial \xi^2} = 0, \quad (i=1,2; \quad \xi_{i-1} \leq \xi \leq \xi_i; \quad \xi_0=0; \quad \xi_2=1); \quad (6)$$

$$\Theta_1(0) = 1; \quad (7)$$

$$\frac{d\Theta_2(1)}{d\xi} + Bi\Theta_2(1) = 0; \quad (8)$$

$$\Theta_1(\xi_1) = \Theta_2(\xi_1); \quad (9)$$

$$\frac{d\Theta_1(\xi_1)}{d\xi} = H \frac{d\Theta_2(x_1)}{d\xi}. \quad (10)$$

Из математической постановки задачи следует, что со стороны жидкости задаются граничные условия первого рода, т. е. температура поверхности отложений принимается равной температуре жидкости. Это допущение может быть принято в случае достаточно больших скоростей течения среды и при малых значениях коэффициента теплопроводности отложений. В большом числе реальных физических процессов эти условия выполняются.

Решение задачи (6) – (10) принимается в виде

$$\Theta_1(\xi) = C_{11}\xi + C_{21}; \quad (11)$$

$$\Theta_2(\xi) = C_{12}\xi + C_{22}, \quad (12)$$

где  $C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}$  – неизвестные коэффициенты.

Соотношения (11) – (12) удовлетворяют уравнению (6). Неизвестные коэффициенты  $C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}$  находятся из граничных условий (7), (8) и условий сопряжения (9), (10). Подставляя (11), (12) в (7) – (10), относительно неизвестных коэффициентов получаем систему алгебраических линейных уравнений, из решения которой находим

$$C_{11} = -BiH / \eta; \quad C_{21} = 1; \quad (13)$$

$$C_{12} = -Bi/\eta; \quad C_{22} = (1 + Bi) / \eta,$$

где  $\eta = 1 + Bi[1 + \xi_1(H - 1)]$ .

Соотношения (11), (12) с учётом (13) принимают вид

$$\Theta_1(\xi) = 1 - \frac{BiH\xi}{1 + Bi(1 + \xi_1(H - 1))}; \quad (14)$$

$$\Theta_2(\xi) = \frac{1 + Bi(1 - \xi)}{1 + Bi(1 + \xi_1(H - 1))}. \quad (15)$$

Соотношения (14), (15) представляют точное аналитическое решение задачи (6) – (10),

в чем можно убедиться непосредственной подстановкой.

Для решения обратной задачи по определению толщины отложений  $\delta_1$  на внутренней поверхности стенки трубы соотношения (14), (15) запишем в размерном виде

$$T_1(x) = T_{cp} + \Delta T \left( 1 - \alpha x / \left( \lambda_1 + \frac{\alpha \lambda_1 (\delta_1 + \delta_2)}{\lambda_2} \left( 1 + \frac{x_1}{\delta_1 + \delta_2} \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_1} - 1 \right) \right) \right) \right); \quad (16)$$

$$T_2(x) = T_{cp} + \frac{\Delta T \left( 1 + \frac{\alpha (\delta_1 + \delta_2)}{\lambda_2} \left( 1 - \frac{x}{\delta_1 + \delta_2} \right) \right)}{1 + \frac{\alpha (\delta_1 + \delta_2)}{\lambda_2} \left( 1 + \frac{x_1}{\delta_1 + \delta_2} \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_1} - 1 \right) \right)}, \quad (17)$$

где  $\Delta T = T_{cm} - T_{cp}$ .

Используя соотношение (17), найдем толщину отложений  $\delta_1$  применительно к решению тестовой задачи. Допустим, что полученная из эксперимента температура на внешней поверхности стенки трубопровода  $T_2(x_2) = 343$  К. Исходные данные для решения задачи были следующие:  $\lambda_1 = 1,5$  Вт / (мК);  $\lambda_2 = 45$  Вт / (мК);  $\delta_2 = 0,005$  м;  $T_{cm} = 373$  К;  $T_{cp} = 273$  К;  $\alpha = 10$  Вт / (м<sup>2</sup>К).

Подставляя  $T_2(x_2)$  в левую часть соотношения (17), положив  $\delta = \delta_1 + \delta_2$ , относительно неизвестной величины  $\delta_1$  получаем следующее квадратное уравнение:

$$2,8(\delta_1 + 0,005)(45\delta_1 + 0,01) - 2,7(2\delta_1 + 0,01) = 0. \quad (18)$$

Из решения уравнения (18) находим  $\delta_1 = 0,04$  м;  $\delta_1 = -0,005$  м. Отрицательный корень, как не имеющий физического смысла, не используется. Непосредственной подстановкой можно убедиться, что соотношения (16), (17) с учетом найденного положительного значения  $\delta_1$  удовлетворяют всем условиям задачи (1) – (5).

Точность теоретического метода исследования толщины отложений была проверена путем сравнения с экспериментальными данными, выполненными на трубопроводе с диаметром 600 мм и толщиной металлической стенки 5 мм. Поперечное сечение трубопровода приведено на рис. 2. По результатам экспериментального измерения температура в точке А составляла 92 °С при температуре теплоносителя  $T_{cp} = 100$  °С. Коэффициент теплопроводности отложений на внутренней поверхности трубопровода  $\lambda_1 = 1,5$  Вт / (мК) определялся из эксперимента. Коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности трубы принимался равным  $\alpha = 10$  Вт / (м<sup>2</sup>К).

В результате расчетов, выполненных по изложенной выше методике, была получена

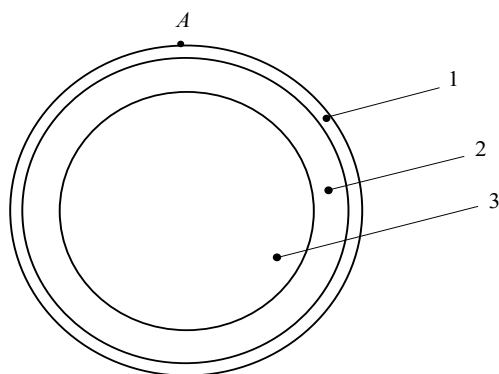


Рис. 2. Сечение трубопровода: 1 – стенка трубы; 2 – отложения на внутренней поверхности; 3 – теплоноситель; А – точка замера температуры

толщина отложений  $\delta_1 = 1,3$  см. Толщина отложений, найденная из эксперимента, оказалась равной  $\delta_1 = 1,1$  см. Из сравнения толщин слоев, найденных теоретическим и экспериментальными методами, следует, что их расхождение составляет 15,3 %. Полученный результат, учитывая неточности в определении температур на внутренней и внешней поверхностях стенки, коэффициента теплопроводности отложений и коэффициента теплоотдачи, следует признать удовлетворительным. В связи с этим изложенный метод может быть рекомендован для оценочной диагностики толщины отложений без вскрытия теплообменников.

Рассмотрим получение решения задачи для двухслойной цилиндрической стенки в следующей математической постановке (рис. 3):

$$\frac{d^2 T_i(r)}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT_i(r)}{dr} = 0; \quad (19)$$

$$(i = 1, 2; \quad r_{i-1} \leq r \leq r_i; \quad r_2 = r_0 + \delta_1 + \delta_2);$$

$$T_1(0) = T_{cm1}; \quad (20)$$

$$T_1(r_1) = T_2(r_1); \quad (21)$$

$$\lambda_1 \frac{dT_1(r_1)}{dr} = \lambda_2 \frac{dT_2(r_1)}{dr}; \quad (22)$$

$$T_2(r_2) = T_{cm2}, \quad (23)$$

где  $r$  – координата;  $T_{cm1}$  – температура внутренней поверхности первого слоя (при  $r = r_0$ );  $T_{cm2}$  – температура внешней поверхности второго слоя (при  $r = r_2 = r_0 + \delta_1 + \delta_2$ ;  $\delta_1 = r_1 - r_0$ ;  $\delta_2 = r_2 - r_1$ ;  $\delta = \delta_1 + \delta_2$ ).

В данном случае для простоты изложения рассматривается задача при граничных усло-

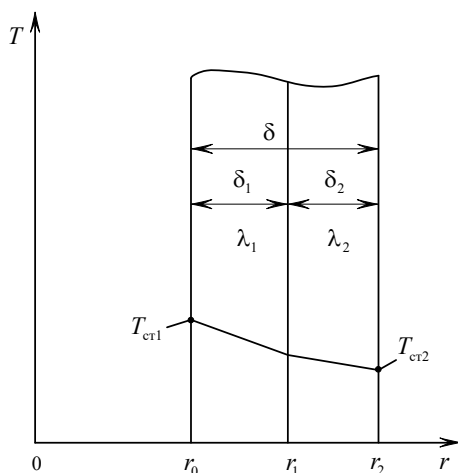


Рис. 3. Схема теплообмена для двухслойного полого цилиндра

виях первого рода на внутренней и внешней поверхностях двухслойного полого цилиндра. Решения уравнений (19) принимаются в виде

$$T_1(r) = C_1 \ln r + C_2; \quad (24)$$

$$T_2(r) = C_3 \ln r + C_4, \quad (25)$$

где  $C_1, C_2, C_3, C_4$  – неизвестные коэффициенты.

Очевидно, что соотношения (24), (25) удовлетворяют уравнениям (19). Неизвестные коэффициенты  $C_1, C_2, C_3, C_4$  находятся из граничных условий (20), (23) и условий сопряжения (21), (22). Подставляя (24), (25) в (20) – (23), для определения  $C_1, C_2, C_3, C_4$  получаем следующую систему алгебраических линейных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} C_1 \ln r_0 + C_2 &= T_{cr1}; \\ C_1 \ln r_1 + C_2 &= C_3 \ln r_1 + C_4; \\ \lambda_1 \frac{d(C_1 \ln r_1 + C_2)}{dr} &= \lambda_2 \frac{d(C_3 \ln r_1 + C_4)}{dr}; \\ C_3 \ln r_2 + C_4 &= T_{cr2}. \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

После определения неизвестных коэффициентов  $C_1, C_2, C_3, C_4$  из решения системы четырех алгебраических линейных уравнений (26) решение задачи (19) – (23) находится из (24), (25). Дальнейшая последовательность определения толщины отложений аналогична той, которая изложена для плоской стенки.

**Выводы.** 1. Разработан приближенный аналитический метод определения толщины слоя отложений на внутренних поверхностях теплообменников, основанный на решении обратных задач, при использовании полученного в работе точного аналитического решения прямой задачи теплопроводности для двухслойной плоской и цилиндрической стенки, а также экспериментальных данных температуры на внешней поверхности трубопровода.

2. По результатам теоретических исследований толщина отложений в плоской стенке составляет 1,3 см. Согласно экспериментальным исследованиям толщина отложений оказалась равной 1,1 см. Таким образом, расхождение результатов экспериментальных и теоретических исследований составляет 15,3 %.

3. Рассмотренный в статье аналитический метод определения толщины отложений применен как для плоских, так и цилиндрических теплообменников. В последнем случае изменяется вид уравнений (6) (см. уравнение (19)) и формул (14) и (15) для получения их аналитических решений (см. формулы (24) и (25), нахождение которых не вызывает затруднений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18 – 38 – 00029 мол\_а.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алифанов О.М. Обратные задачи теплообмена. М.: Машиностроение, 1988. 297 с.
2. Пилипенко Н.В. Методы и приборы нестационарной теплотометрии на основе решения обратных задач теплопроводности. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. 180 с.
3. Мацевитый Ю.М., Костиков А.О. Математические аспекты решения геометрических обратных задач теплопроводности: проблемы и пути их решения // Проблемы машиностроения. 2007. Т. 10, №3. С. 27–34.
4. Грибов А.Ф., Жидков Е.Н., Краснов И.К. О численном решении обратной задачи теплопроводности // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. Вып. 9. С. 20–24.
5. Мацевитый Ю.М. Обратные задачи теплопроводности: в 2 т. Киев: Наукова думка, 2002. 200 с.
6. Зайнуллов А.Р. Обратная задача для двумерного уравнения теплопроводности по отысканию начального распределения // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. 2015. Т. 19, №4. С. 667–679.
7. 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.
8. Кудинов В.А. Метод координатных функций в нестационарных задачах теплопроводности // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2004. № 3. С. 82.
9. Еремин А.В., Стефанюк Е.В., Рассыпнов А.Ю., Кузнецова А.Э. Нестационарный теплообмен в цилиндрическом канале при ламинарном течении жидкости // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Физико-математические науки. 2013. № 4(33). С. 122–130.



Об авторах:

**КУРГАНОВА Ольга Юрьевна**

аспирант кафедры теоретических основ  
теплотехники и гидромеханики  
Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: o.y.kurganova@gmail.com

**KURGANOVA Olga 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: o.y.kurganova@gmail.com

**КУДИНОВ Игорь Васильевич**

доктор технических наук, профессор, профессор  
кафедры теоретических основ теплотехники  
и гидромеханики  
Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: igor-kudinov@bk.ru

**KUDINOV Igor V.**

Doctor of Engineering Science, Professor of the  
Theoretical Foundations of Heat Engineering and  
Hydromechanics Chair  
Samara State Technical University  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: igor-kudinov@bk.ru

**КЛЕБЛЕЕВ Руслан Мухтарович**

аспирант кафедры теоретических основ  
теплотехники и гидромеханики  
Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: uio1123@list.ru

**KLEBLEEV Ruslan M.**

Postgraduate Student of the Theoretical Foundations  
of Heat Engineering and Hydromechanics Chair  
Samara State Technical University  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: uio1123@list.ru

**СТЕФАНЮК Екатерина Васильевна**

доктор технических наук, профессор, профессор  
кафедры теоретических основ теплотехники  
и гидромеханики  
Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: stef-kate@yandex.ru

**STEFANYUK Ekaterina V.**

Doctor of Engineering Science, Professor  
of the Theoretical Foundations of Heat Engineering  
and Hydromechanics Chair  
Samara State Technical University  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: stef-kate@yandex.ru

**ГАВРИЛОВА Татьяна Евгеньевна**

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

**GAVRILOVA Tatiana E.**

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

Для цитирования: Курганова О.Ю., Кудинов И.В., Клеблеев Р.М., Стефанюк Е.В., Гаврилова Т.Е. Аналитический метод определения толщины отложений на внутренних поверхностях теплообменников // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 20–24. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.4.

For citation: Kurganova O.Yu., Kudinov I.A., Klebleev R.M., Stefanyuk E.V., Gavrilova T.E. Analytical method for determining the thickness of deposits on the internal surfaces of heat exchangers // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 20–24. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.4.

**В. И. НЕМЧЕНКО**  
**М. В. ПОСАШКОВ**  
**О. К. КРАЙНОВ**  
**А. А. БОДЯГИН**  
**Д. Н. ЗУБКОВ**

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИБОРНОГО ПАРКА КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В САМАРЕ**

COMPARABLE ANALYSIS OF THE INSTRUMENT PARK OF COMMERCIAL ACCOUNTING  
OF THERMAL ENERGY IN THE URBAN DISTRICT SAMARA

*Проведен сравнительный метрологический анализ приборного парка коммерческого учета тепловой энергии и теплоносителя горячей воды по результатам периодической поверки средств измерений в 2004 – 2005 и 2016 – 2017 гг. Рассмотрена методика оценки годности теплосчетчиков и их комплектующих (преобразователи расхода, температуры, давления) и измерительных комплектов на их основе. Полученные Результаты анализа позволяют с метрологической точки зрения более обоснованно формировать перечень рекомендуемых приборов учета, а также будут полезны при прогнозировании затрат на метрологическое и текущее обслуживание действующих систем учета тепловой энергии.*

**Ключевые слова:** коммерческий учет, теплосчетчик, преобразователи расхода, преобразователи температуры, преобразователи давления, периодическая поверка, доля не годных к применению приборов

Массовая установка коммерческих приборов учета тепловой энергии на тепловых сетях и у потребителей началась в Самаре с 1995 г.

В соответствии с нормативными требованиями теплосчетчики и их комплектующие должны проходить периодическую поверку [1, 2]. Теплосчетчик как изделие имеет межповерочный интервал, который определяется межповерочными интервалами его элементов. Межповерочный интервал устанавливается для каждого средства измерения при проведении испытаний в целях утверждения его типа органами Росстандарта и составляет для тепловычислителей от 2 до 4 лет, для преобразователей расхода – от 2 до 6 лет, для преобразователей температуры – от 2 до 4 лет, для преобразователей давления – от 1 до 4 лет. Например, межповерочный интервал комплекта тепловычислителя СПТ-92 с термометрами сопротивления ТСМ и измерительными диафрагмами ДКС с преобразователями перепада давления «Сапфир» составлял один год. Такие измерительные комплекты составляли большинство и устанавливались на границе балансовой ответственности магистральных

*A comparative metrological analysis of the instrument fleet of commercial accounting of heat energy and coolant was carried out based on the results of periodic calibration of measuring instruments in 2004 – 2005 and 2016 – 2017. Methods reviewed for assessing the suitability of coolants and their components (flow, temperature, pressure transducers) and measuring sets based on them. From the metrological point of view, the obtained results of the analysis make it more reasonable to form a list of recommended metering devices, and they will also be useful in predicting the costs of metrological and routine maintenance of existing heat metering systems.*

**Keywords:** commercial account, heat meter; converters of an expense, temperature, pressure; periodic checking; share not of suitable devices

и коммунальных тепловых сетей в 1994-1996 гг. до внедрения в ОАО «Полет» проливной поверочной установки, позволяющей поверять преобразователи расхода других типов.

Средства измерений, не прошедшие поверку, признаются не годными к применению, а результаты их измерений считаются недействительными и в коммерческих расчетах не используются. По количеству не годных средств измерений можно судить о качестве приборной продукции, о необходимом рабочем резерве исправных приборов, а также о надежности и достоверности приборного учета. К сожалению, публикации по данному направлению практически отсутствуют.

В 2013 г. введены новые Правила учета тепловой энергии, теплоносителя [2], которые предполагают обязательную установку преобразователей давления на все объекты потребителей тепла. Введение дополнительных элементов в состав теплосчетчиков может снизить метрологическую годность.

В работах [3, 4] представлены результаты статистического анализа данных периодиче-

ской покомпонентной поверки приборов учета в 2004-2005 гг. в метрологическом центре ЗАО «Предприятие тепловых сетей» и в 2016-2017 гг. в Государственном региональном центре стандартизации, метрологии и испытаний Самарской области (ФБУ «Самарский ЦСМ»).

Цель настоящей работы – метрологический анализ приборного парка коммерческого учета тепловой энергии и теплоносителя горячей воды по результатам периодической поверки средств измерений в 2004-2017 гг. В работе не рассматриваются теплосчетчики с преобразователями расхода переменного перепада давления.

**Системы учета тепловой энергии.** К основным технологическим группам теплосчетчиков, применяемых в Самаре [5], относятся в соответствии с действующими Правилами учета [2]:

– однопоточные («квартирные») – закрытые зависимые системы отопления с нагрузкой менее 0,1 Гкал/ч;

– двухпоточные – закрытые независимые системы отопления с контролем расхода в подпиточном трубопроводе; закрытые зависимые системы отопления с дополнительным контролем расхода в обратном трубопроводе; учет на границе смежных тепловых сетей;

– трехпоточные – закрытые независимые системы отопления с контролем расхода в подпиточном трубопроводе и с дополнительным контролем расхода в обратном трубопроводе; открытые зависимые системы отопления с тупиковой схемой ГВС; потребители отопления и ГВС от ЦТП;

– четырехпоточные – открытые зависимые системы отопления с циркуляционной схемой ГВС; открытые независимые системы отопления с контролем расхода в подпиточном трубопроводе с тупиковой схемой ГВС; потребители отопления и ГВС от ЦТП с контролем расхода в обратном трубопроводе.

Теплосчетчик в зависимости от технологической группы может включать от 4 до 9 компонент (элементов). Стандартная комплектация теплосчетчиков, которая позволяет проводить покомпонентную поверку, следующая: однопоточные – тепловычислитель, преобразователь расхода и два термопреобразователя сопротивления; двухпоточные – тепловычислитель, два преобразователя расхода, два термопреобразователя сопротивления и два преобразователя давления; трехпоточные – тепловычислитель, три преобразователя расхода, три термопреобразователя сопротивления и три преобразователя давления; четырехпоточные – тепловычислитель, четыре преобразователя расхода, четыре термопреобразователя сопротивления и четыре преобразователя давления.

Основные технологические группы и типы теплосчетчиков, применяемые в Самаре в 2004-2005 и 2016-2017 гг., приведены в табл. 1. Видно, что за 12 лет типовой состав теплосчетчиков практически не изменился. Применяются современные модификации теплосчетчиков традиционных для Самары производителей: АО НПФ «Логика», АО «Теплоком», ГК «Взлет», ОАО «ТБН Энергосервис», АО «ASWEGA». Как видно из рис. 1, наиболее широко применяются теплосчетчики АО «Теплоком», ГК «Взлет».

Таблица 1

Технологические группы и типы теплосчетчиков

Группы теплосчетчиков Состав: теплосчетчик/ расходомер/ термопреобразователь/ преобразователь давления	Основные типы теплосчетчиков	
	2004-2005 гг. [3]	2016-2017 гг. [4]
Однопоточные 1/1/2/-	SUPERCAL	SUPERCAL, DIO HYDROCLIMA, HYDROCAL, САЯНЫ
Двухпоточные 1/2/2/2	«ВЗЛЕТ» ТСРВ-022, МТ200 DS; ВКТ-2, ВКТ-3, ВКТ-5, SA94/2 KM-5-4	«ВЗЛЕТ» ТСРВ-023, ТСРВ-024, МТ200 DS; ВКТ-5, KM5-4
Трехпоточные 1/3/3/3	ВКТ-5; SA 94/3	ВКТ-5, SA 94/3
Четырехпоточные 1/4/4/4	–	KM5-6

**Сравнение результатов покомпонентной поверки.** Определение доли не годных приборов проводилось по соотношению

$$P_i = \frac{n_{in}}{N_i} \cdot 100 \% \text{ или } P_i = \frac{n_{in}}{N_i},$$

где  $P_i$  – доля не годных  $i$ -х приборов, %;  $N_i$  – общее количество  $i$ -х приборов, шт.;  $n_{in}$  – количество не годных  $i$ -х приборов, шт.

Средневзвешенное значение доли не годных компонент теплосчетчика определялось по формуле

$$P_{ij} = \frac{(n_{in1}N_{i1}) + (n_{in2}N_{i2}) + \dots + (n_{inm}N_{im})}{(N_{i1} + N_{i2} + \dots + N_{im})}.$$

Теплосчетчики, неисправность которых была установлена в процессе эксплуатации средствами самодиагностики приборов в коли-

честве неисправных приборов, не учитывались. Количественные показатели характеризуют только то, какое число приборов прошло поверку в той или иной организации.

Из рис. 2 видно, что доля не годных тепловычислителей СПТ всех модификаций SUPERCAL возросла с 0 до 21 %; тепловычислителей ВКТ-5, ВКТ-7 практически не изменилась; тепловычислителей ВЗЛЕТ МТ200DS снизилась с 60 до 33 %, а ВЗЛЕТ ТСРВ всех модификаций снизилась с 37 до 22 %. В целом доля не годных тепловычислителей в 2004 – 2005 гг. составляла до 60 %, а в 2016 – 2017 гг. – от 15 до 33 %.

Анализ номенклатуры преобразователей расхода проводился по группам, образованным в соответствии с методами измерений. Преобразователи расхода, поверка которых прово-

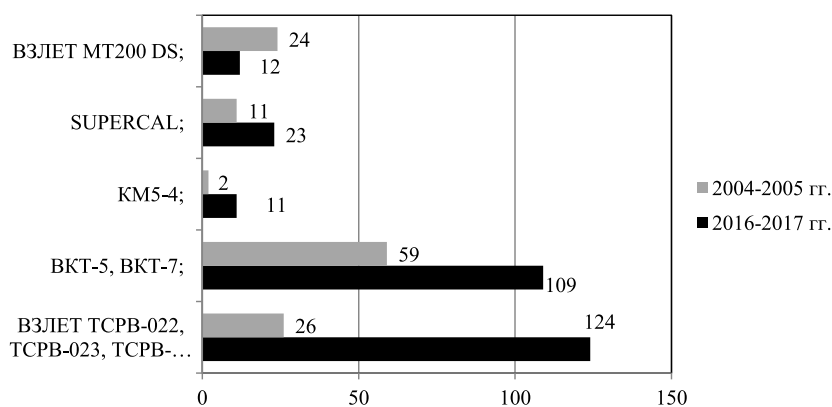


Рис. 1. Сравнение номенклатуры тепловычислителей в 2004 – 2005 и 2016 – 2017 гг.

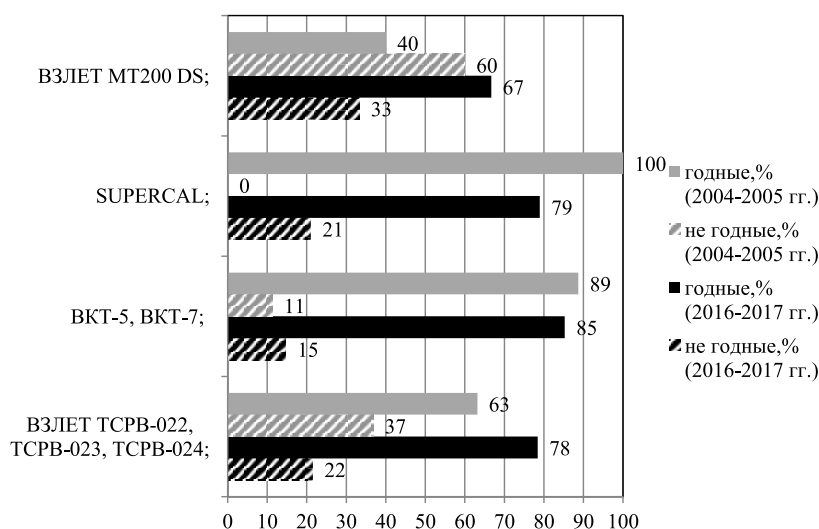


Рис. 2. Доля годных и не годных тепловычислителей в 2004 – 2005 и 2016 – 2017 гг.

дидась беспроливными способами, например, расходомеры переменного перепада давления, ультразвуковые и вихревые расходомеры, при анализе не учитывались. Результаты анализа показаны на рис. 3. Существенно увеличилось применение групп тахометрических и электромагнитных преобразователей расхода, незначительно увеличилось применение группы вихревых и снизилось использование группы ультразвуковых. В целом доля не годных преобразователей расхода в 2004 – 2005 гг. составляла от 9 до 25 %, а в 2016 – 2017 гг. – от 14 до 23 %.

В составе теплосчетчиков наиболее часто применяются комплекты платиновых термопреобразователей сопротивления для измерения разности температур КТСРП, а для

измерения температуры в трехпоточных теплосчетчиках дополнительно используются термометры сопротивления ТСП и Pt500. Сравнение номенклатуры преобразователей температуры в 2004 – 2005 и 2016 – 2017 гг. представлено на рис. 5. В целом доля не годных преобразователей температуры в 2004 – 2005 гг. составляла от 0 до 21 %, а в 2016 – 2017 гг. – от 0 до 27 %.

Применение преобразователей давления для всех схем учета и нагрузок предусмотрено Правилами учета [2]. Снизился объем использования конструктивно сложных преобразователей «Метран» и «Сапфир» в пользу более простых – ПДВХ-1-02, ИД, КРТ. В целом доля не годных преобразователей давления в 2004 – 2005 гг. составляла от 20 до 90 %, а в 2016 – 2017 гг. – от 0 до 39 %.

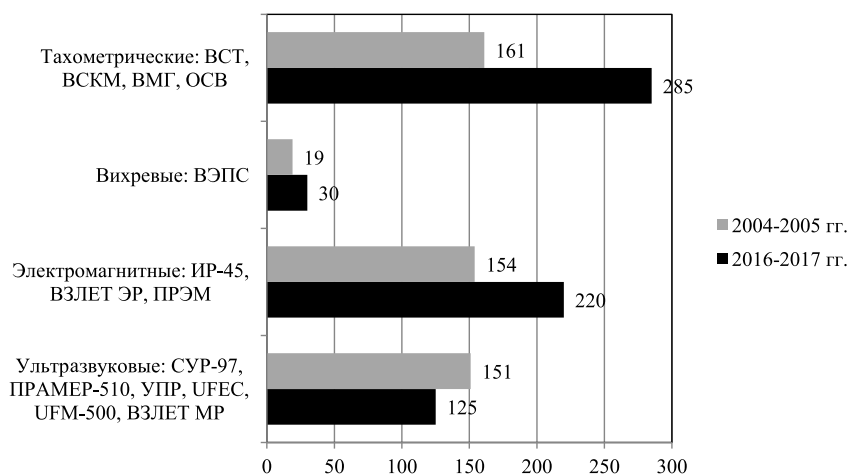


Рис. 3. Сравнение номенклатуры преобразователей расхода в 2004 – 2005 и 2016 – 2017 гг.

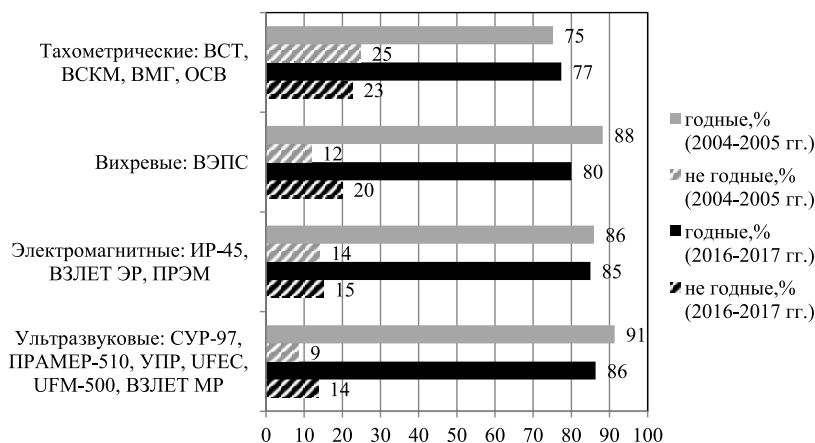


Рис. 4. Доля годных и не годных преобразователей расхода в 2004 – 2005 и 2016 – 2017 гг.

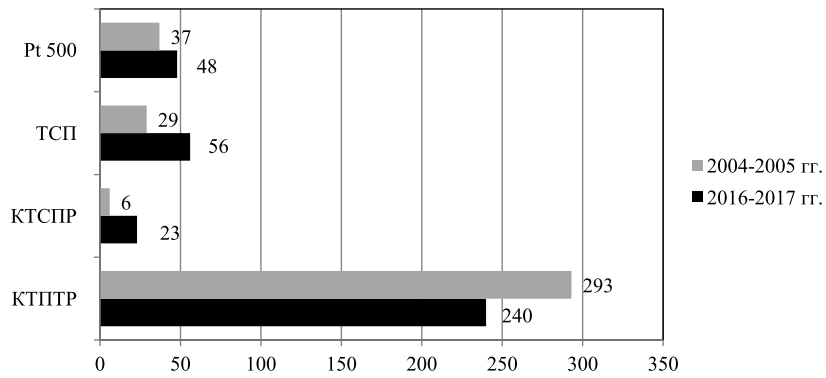


Рис. 5. Сравнение номенклатуры преобразователей температуры в 2004 – 2005 и 2016 – 2017 гг.

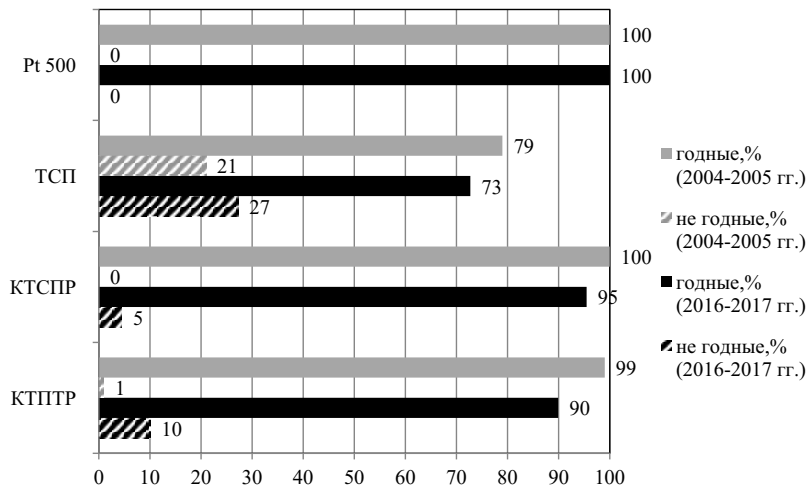


Рис. 6. Доля годных и не годных преобразователей температуры в 2004 – 2005 и 2016 – 2017 гг.

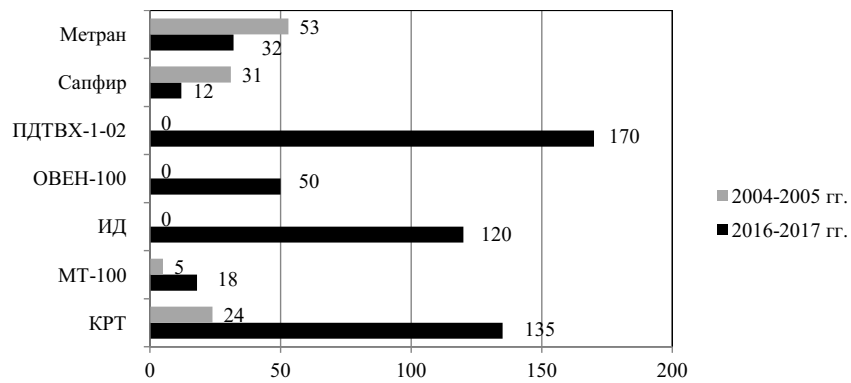


Рис. 7. Сравнение номенклатуры преобразователей давления в 2004 – 2005 и 2016 – 2017 гг.

**Анализ годности измерительных комплектов.** В табл. 2 представлены группы приборов по Правилам учета 1995 г. [6], а в табл. 3 – по Методике [2]. В анализе участвовали приборы, выпущенные до 2014 г. Анализировались однопоточный, двухпоточный, трехпоточный и четырехпоточный измерительные комплекты теплосчетчиков как наиболее распространенные в Самаре. Измерительный комплект теплосчетчика представляет собой последовательное соединение элементов. Негодность

любого из элементов вызывает негодность всего измерительного комплекта. Количество тепловой энергии – косвенно измеряемая величина, связанная функционально с независимыми друг от друга величинами (расход, температура, давление), измеряемыми прямым однократным образом. Поэтому оценка доли не годных приборов проводилась по формулам, принятым по рекомендациям [3, 7], по средневзвешенным долям не годных теплосчетчиков  $P_{ТВ}$ , преобразователей расхода  $P_P$ , температуры  $P_T$  и давления  $P_D$ .

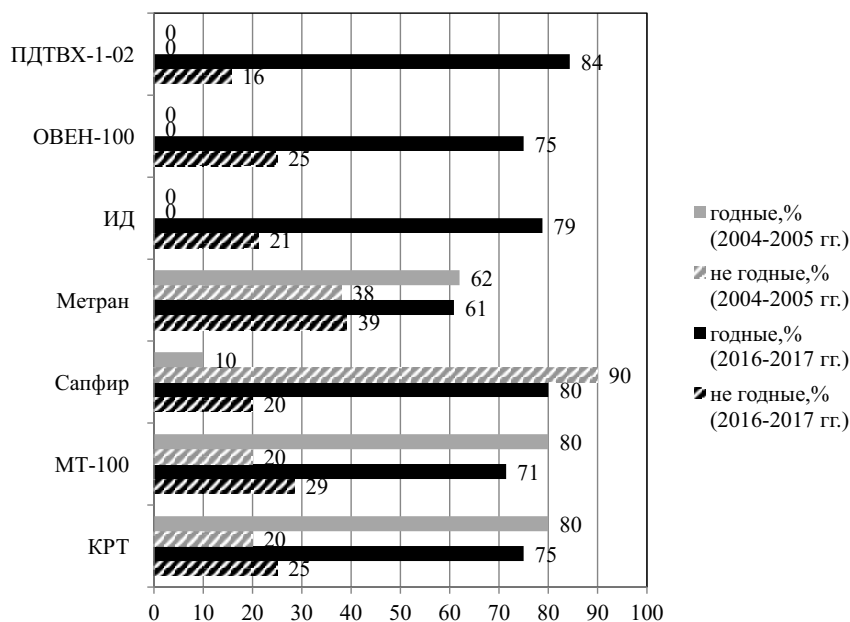


Рис. 8. Доля годных и не годных преобразователей давления в 2004 – 2005 и 2016 – 2017 гг.

Таблица 2

Оценка доли не годных измерительных комплектов по данным 2004 – 2005 гг. [3]

Группы теплосчетчиков. Состав: теплосчетчик/расходомер/датчик температуры/датчик давления	Расчетная формула	Оценка доли не годных комплектов
Однопоточные 1/1/2/-	$\sqrt{P_{ТВ}^2 + P_P^2 + 2P_T^2}$	0,1414
Двухпоточные, нагрузка до 0,5 Гкал/ч 1/2/2/	$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 2P_P^2 + 2P_T^2}$	0,2454
Двухпоточные, нагрузка более 0,5 Гкал/ч 1/2/2/2	$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 2P_P^2 + 2P_T^2 + 2P_D^2}$	0,5499
Трехпоточные 1/3/3/3	$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 3P_P^2 + 3P_T^2 + 3P_D^2}$	0,6868

Примечание. В расчетах доли не годных измерительных комплектов приняты  $P_{ТВ} = 0,15$ ,  $P_P = 0,132$ ,  $P_T = 0,036$ ,  $P_D = 0,348$  [3]

Таблица 3

Оценка доли не годных измерительных комплектов по данным 2016 – 2017 гг. [4]

Группы теплосчетчиков. Состав: теплосчетчик/расходомер/датчик температуры/датчик давления	Расчетная формула	Оценка доли не годных комплектов
Однопоточные 1/1/2/-	$\sqrt{P_{ТВ}^2 + P_P^2 + 2P_T^2}$	0,3424
Двухпоточные 1/2/2/2	$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 2P_P^2 + 2P_T^2 + 2P_D^2}$	0,4712
Трехпоточные 1/3/3/3	$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 3P_P^2 + 3P_T^2 + 3P_D^2}$	0,5540
Четырехпоточные 1/4/4/4	$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 4P_P^2 + 4P_T^2 + 4P_D^2}$	0,6260

Примечание. В расчетах доли не годных измерительных комплектов приняты  $P_{ТВ} = 0,2287$ ,  $P_P = 0,1848$ ,  $P_T = 0,1096$ ,  $P_D = 0,197$  [4]

Результаты оценки доли не годных измерительных комплектов по данным 2004 - 2005 гг. [3] и данным 2016 – 2017 гг. [4] представлены в табл. 2 и 3. По результатам можно сделать вывод, что доля не годных соответствующих комплектов возрастает с увеличением числа преобразователей, участвующих в учете. Для средневзвешенной доли не годных преобразователей в 2016 – 2017 гг. оценка не годных измерительных комплектов составляла от 0,3424 до 0,626.

**Выводы.** 1. При организации узлов учета тепловой энергии в 2004 – 2014 гг. применялись современные модификации приборов традиционных для Самары производителей.

2. Доля негодности элементов теплосчетчика складывается на стадии формирования задания на проектирование при субъективном выборе средств измерений.

3. Анализ результатов периодической поверки позволяет с метрологической точки зрения более обоснованно формировать перечень рекомендуемых приборов учета.

4. Результаты оценки доли не годных измерительных комплектов будут полезны при прогнозировании затрат на метрологическое и текущее обслуживание действующих систем учета тепловой энергии.

3. Немченко В.И., Желтухин А.А., Карников О.А.

Оценка надежности систем коммерческого учета тепловой энергии по результатам поверки // Повышение эффективности зданий и сооружений: межвузов. сборник науч. трудов. Вып. 4 / СГАСУ. Самара, 2009. С. 221–226.

4. Немченко В.И. Системный анализ приборов коммерческого учета тепловой энергии по результатам периодической поверки // Сборник трудов IV Международной научно-практической конф. «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий» (5-11 апреля 2018 г.). М.; Балаково: НИЯУ МИФИ; БИТИ НИЯУ МИФИ, 2018. С. 221–226.

5. Немченко В.И., Зубков Д.Н. Системный анализ регулирования тепловой нагрузки и повышение эффективности теплоснабжения микрорайона г. Самары // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2010. Вып. №7(28). С. 172–179.

6. Правила учета тепловой энергии и теплоносителя №954 / Главгосэнергонадзор. М.: Изд-во МЭЦ, 1995. 68 с.

7. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. 3-е изд., перераб. М.: Энергия, 1978. 704 с.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ.

2. Методика осуществления коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя. Зарегистр. в Минюсте России 12.09.2014 г. №34040.



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  
E-mail: nemchenko\_vi@mail.ru

**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  
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  
E-mail: b111ik@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  
E-mail: b111ik@mail.ru

**КРАЙНОВ Олег Константинович**

главный метролог  
ФБУ «Самарский ЦСМ»  
443013, Россия, г. Самара, проспект Карла Маркса, 134,  
тел. (846) 336-91-93  
E-mail: csm63@mail.ru

**KRAYNOV Oleg K.**

Chief Metrologist  
Federal Budget Institution «State Regional Center for Standardization, Metrology and Testing in the Samara Region»  
443013, Russia, Samara, Karla Marksa av., 134,  
tel. (846) 336-91-93  
E-mail: csm63@mail.ru

**БОДЯГИН Алексей Александрович**

начальник отдела теплотехнических средств измерений  
ФБУ «Самарский ЦСМ»  
тел. (846) 336-90-51  
443013, Россия, г. Самара, проспект Карла Маркса, 134,  
E-mail: teplo@samaragost.ru

**BODYAGIN Alexey A.**

Head of Thermal Measurement Tools  
Federal Budget Institution «State Regional Center for Standardization, Metrology and Testing in the Samara Region»  
443013, Russia, Samara, Karla Marksa av., 134,  
tel. (846) 336-90-51  
E-mail: teplo@samaragost.ru

**ЗУБКОВ Дмитрий Николаевич**

инженер  
ФБУ «Самарский ЦСМ»  
443013, Россия, г. Самара, проспект Карла Маркса, 134  
E-mail: dmitry.zubkov2016@yandex.ru

**ZUBKOV Dmitry N.**

Engineer  
Federal Budget Institution «State Regional Center for Standardization, Metrology and Testing in the Samara Region»  
443013, Russia, Samara, Karla Marksa av., 134  
E-mail: dmitry.zubkov2016@yandex.ru

Для цитирования: Немченко В.И., Посашков М.В., Крайнов О.К., Бодягин А.А., Зубков Д.Н. Сравнительный анализ приборного парка коммерческого учета тепловой энергии в Самаре // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 25–32. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.5.

For citation: Nemchenko V.I., Posashkov M.V., kraynov o.k., Bodyagin A.A., Zubkov D.N. Comparable analysis of the instrument park of commercial accounting of thermal energy in the urban district Samara // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 1.Pp. 25–32. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.5.

М. Н. НИКИТИН

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООТДАЧИ ОТОПИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА УСТАНОВКИ

STUDY OF HEAT TRANSFER OF A HEATER FOR VARIOUS INSTALLATION METHODS

*Работа посвящена анализу результатов численного моделирования поверхностного теплообмена для отопительного прибора при различных способах его установки. Показаны результаты критического анализа существующего подхода к оценке действительной эффективности с помощью эмпирических коэффициентов. Приведены верифицированные расчетные значения относительных коэффициентов теплоотдачи для восьми вариантов установки отопительного прибора. Подтверждена адекватность полученных результатов на основании заимствованных опытных данных. Сделан вывод о чувствительности интенсивности теплоотдачи к температуре теплоносителя при различных способах установки отопительного прибора.*

**Ключевые слова:** теплоотдача, отопительный прибор, численное моделирование, способ установки, температура теплоносителя

*Analysis of numerically simulated convective heat transfer for a variety of heater installations is presented. A critical review of the existing method of energy efficiency assessment, which is based on empirical coefficients, is given. Numerically verified nondimensional heat transfer coefficients for eight installations of the heater are presented. The results were validated with the adopted experimental data. Sensitivity analysis of heat transfer intensity towards heat carrier temperature for a variety of heater installations is presented.*

**Keywords:** heat transfer, heater, numerical modeling, installation type, heat carrier temperature

### Введение

Эффективность работы отопительных приборов является значимым фактором общей энергоэффективности здания. Нормативная документация СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» не предписывает учет действительной эффективности отопительных приборов при проектировании систем отопления. При этом действительное значение интенсивности теплоотдачи может значительно отличаться от расчетного и определяется целым рядом факторов: способ установки, температура теплоносителя [1, 2], проходимость внутренних каналов [3], состояние поверхности теплообмена (как наружной, так и внутренней) и т. д.

В справочной литературе приводятся корректирующие коэффициенты для учета указанных выше факторов. В частности, известны значения эмпирического коэффициента  $\beta_4$ , учитывающего способ установки отопительного прибора [4, с. 69]. Значения приводятся для наиболее распространенных способов установки с шаговыми значениями размеров основных элементов ограждений (подоконника и экрана). Однако на значение коэффициента  $\beta_4$  большое влияние оказывают отступы от ограждений, а также размеры щелей в них. Даже небольшое отклонение (10–15 %) может существенно изменить значение  $\beta_4$  при этом экстраполяция

крайне ограничена. В результате в целом ряде случаев корректировка эффективности теплоотдачи по имеющимся данным носит ярко выраженный приближенный характер.

Известны методы определения эффективности теплоотдачи с использованием математических моделей [5–8]. Однако эти модели построены на простейших одномерных выражениях, не учитывающих условия расположения отопительного прибора.

Отдельно следует отметить некорректную интерпретацию коэффициента  $\beta_4$ , приведенную в справочнике [4, с. 69], которая часто встречается на различных информационных порталах [9]. Так, понижающий коэффициент  $\beta_4$  (при  $\beta_4 > 1$  интенсивность теплоотдачи снижается) рассматривается как повышающий. В результате, согласно инфографике [9], установка радиатора под глухим подоконником и за экраном с двумя щелями оказывается предпочтительнее варианта открытой установки.

В настоящей работе представлены результаты численного исследования поверхностного теплообмена применительно к различным способам установки отопительного прибора. Полученные результаты были подтверждены заимствованными опытными данными и показали возможность достоверного определения действительной эффективности отопительного прибора на этапе проектирования системы отопления.

### Методика исследования

Исследование интенсивности поверхностного теплообмена для различных способов установки отопительного прибора было проведено методом численного моделирования. Для описания поверхностного теплообмена и конвективного переноса использовались следующие основные уравнения:

$$\operatorname{div}(\vec{U}) = 0,$$

$$\rho \frac{\partial \vec{U}}{\partial \tau} + \rho \cdot \vec{U} \cdot \operatorname{div}(\vec{U}) = -\operatorname{grad} p + \mu \cdot \operatorname{div} \operatorname{grad} \vec{U} + \vec{F}_g,$$

$$\rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial \tau} + \operatorname{div}(T\vec{U}) \right) = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) + \operatorname{grad} \vec{U} : \sigma,$$

где  $\vec{U}$  – скорость потока, м/с;  $\rho = p/RT$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $p$  – давление воздуха, Па;  $R = 8,31$  – универсальная газовая постоянная;  $T$  – температура воздуха, К;  $\tau$  – время, с;  $\mu = 1,935$  Па·с – молекулярная вязкость воздуха;  $\vec{F}_g = \rho \vec{g}$  – гравитационные силы, Н;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения;  $c_p = 1005$  Дж/(кг·К) – теплоемкость воздуха;  $\lambda = 0,028$  Вт/(м·К) – теплопроводность воздуха;  $\operatorname{grad} \vec{U} : \sigma$  – комплекс сил сдвигового трения.

Задача решалась в нестационарной постановке с использованием вихревой модели Смагоринского [10] для описания турбулентных пульсаций.

В исследовании была использована двумерная прямоугольная расчетная область (750x1500 мм), содержащая ограждающие конструкции (подоконник и декоративный экран) и отопительный прибор (пятисекционный регистр). Были рассмотрены восемь вариантов установки отопительного прибора (рис. 1).

Для всех рассмотренных случаев были приняты единообразные начальные и граничные условия, которые обеспечили наилучшее приближение разработанной численной модели и реальные условия эксплуатации отопительного прибора. Начальная температура в расчетной области была задана 20 °С. На поверхностях наружной стены (слева) и регистров отопительного прибора была задана фиксированная температура 10 и 50 (70) °С соответственно. Данное допущение было принято исходя из необходимости определения интенсивности теплоотдачи с нагретой поверхности. Остальные поверхности были приняты адиабатными. Открытые границы расчетной области (справа и сверху) были заданы с условием свободного входа/выхода так, что принимался нулевой градиент скорости ( $\operatorname{grad} \vec{U} = 0$ ), а давление в зависимости от направления потока:  $p = p_0$  для выходящего потока и  $p = p_0 - \frac{1}{2} \rho |\vec{U}|^2$  для входящего потока, где  $p_0 = 101325$  Па – начальное давление в расчетной области.

Продолжительность численного эксперимента составила 60 с. Временной шаг корректировался в процессе решения для обеспечения максимального значения числа Куранта  $Cr_{max} = 1$  и составлял порядка 0.002–0.003 с. Численное моделирование проводилось на платформе OpenFOAM с использованием генератора сеток из платформы Salome и средства визуализации результатов ParaView.

Расчетные сетки создавались по единому алгоритму (NETGEN) с локальным трехкратным измельчением на поверхностях отопительного прибора. Помимо измельчения, на этих поверхностях было добавлено девять призматических слоев с коэффициентом роста 1.2–1.3 в зависимости от разрешения сетки. Слои подбирались таким образом, чтобы обеспечить значение безразмерного расстояния  $y^+ \approx 1$ .

На начальном этапе моделирования была проведена верификация разработанной численной модели путем оценки итерационной и сеточной сходимостей. Для оценки сеточной сходимости был использован массив расчетных сеток с базовым (максимальным) размером ячеек ( $\Delta x$ ) 3, 4.5, 6, 9 и 12 мм. Емкость сеток составила 287.6, 132.1, 74.8, 36.7 и 21.6 тыс.

На начальном этапе моделирования была проведена верификация разработанной численной модели путем оценки итерационной и сеточной сходимостей. Для оценки сеточной сходимости был использован массив расчетных сеток с базовым (максимальным) размером ячеек ( $\Delta x$ ) 3, 4.5, 6, 9 и 12 мм. Емкость сеток составила 287.6, 132.1, 74.8, 36.7 и 21.6 тыс.

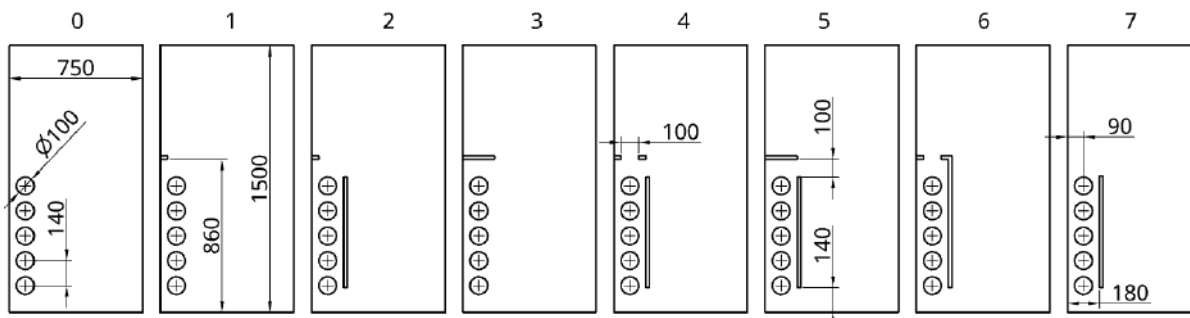


Рис. 1. Варианты установки отопительного прибора

ячеек соответственно. Исследования показали достоверность результатов (возможность применения экстраполяции Ричардсона [11]), полученных на сетках с базовым размером ячейки не более 6 мм (рис. 2). В дальнейших расчетах была использована сетка с базовым размером ячеек 4.5 мм. Ожидаемое отклонение контролируемого параметра (коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ ) на данной сетке от точного (при  $\Delta x = 0$  мм) составило 4.2 %.

Контролируемый параметр (коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ ) определялся на основании заданной температуры поверхности и расчетного значения теплового потока:

$$\alpha = \frac{|q|}{T - 293},$$

где  $|q|$  – усредненный по поверхности отопительного прибора удельный тепловой поток, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $T = 50(70)^\circ\text{C}$  – температура поверхности теплообмена.

Значения коэффициента теплоотдачи усреднялись за последние 20 с численного эксперимента. Для оценки доверительных интервалов усредненных значений использовались диапазоны предельных значений. Для лучшего восприятия в некоторых случаях использовались относительные значения коэффициента теплоотдачи:  $\alpha^* = \frac{\alpha}{\alpha_0}$ , где  $\alpha_0$  – коэффициент теплоотдачи для открытой установки отопительного прибора (вариант 0).

### Результаты исследования

В результате численного моделирования были получены значения коэффициентов теплоотдачи для различных способов установки отопительного прибора. На рис. 3 приведены относительные значения коэффициентов теплоотдачи.

Для оценки адекватности полученных результатов на диаграмме также показаны опыт-

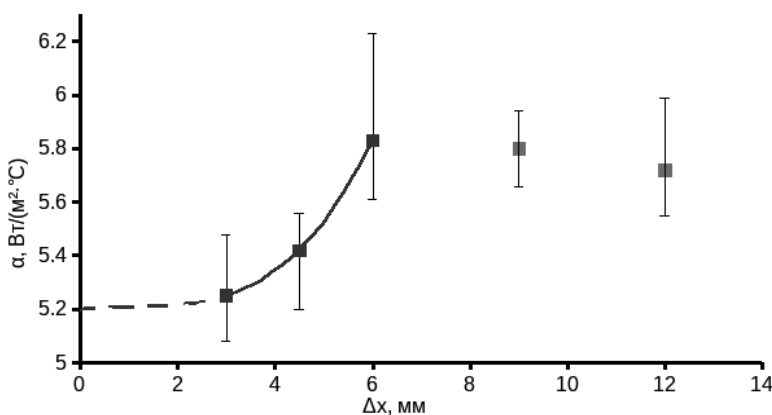


Рис. 2. Анализ сеточной сходимости решения

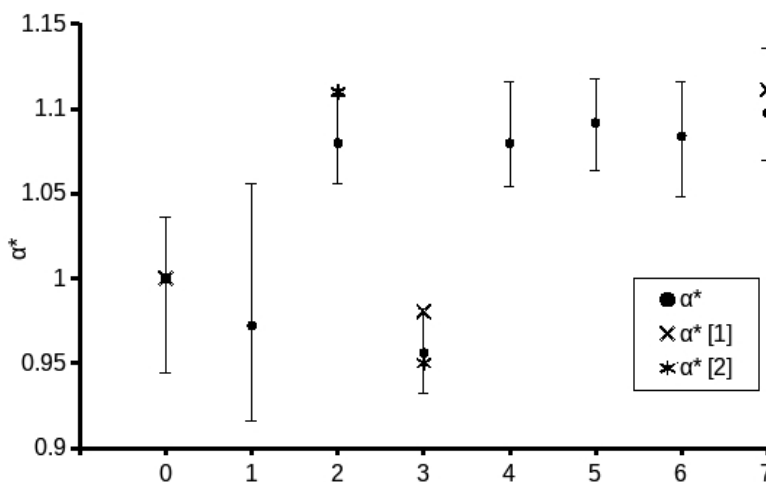


Рис. 3. Эффективность работы отопительного прибора для различных способов установки

ные данные [4, 9]. При этом коэффициенты, заимствованные с инфографики [9], интерпретировались как понижающие. Интенсивность теплоотдачи при открытой установке была принята за базовое значение, поэтому имеет место полное совпадение для нулевого варианта. Очевидно, что результаты моделирования для второго, третьего и седьмого вариантов с достаточной точностью воспроизводят опытные данные.

Результаты моделирования показали снижение эффективности теплообмена при установке отопительного прибора под подоконником (варианты 1 и 3) на 3–4 %. При этом глубина подоконника не оказывает существенного влияния. Наличие декоративного экрана во всех случаях (в т. ч. при наличии подоконника) обеспечивает увеличение эффективности

отопительного прибора на 8–10 % при условии организации выхода для нагретого воздуха. При этом прирост эффективности для всех рассмотренных вариантов с экраном примерно одинаков.

Отдельно было проанализировано влияние температуры теплоносителя на относительную эффективность рассмотренных вариантов установки отопительного прибора. Полученные результаты (рис. 4) свидетельствуют о значительном снижении интенсивности теплоотдачи (на 13–18 %), которое обусловлено снижением скорости воздушного потока вблизи поверхности теплообмена. Следует отметить, что наибольшее влияние на интенсивность теплоотдачи при снижении температуры теплоносителя было выявлено для варианта установки отопительного прибора под подоконником (вариант 3).

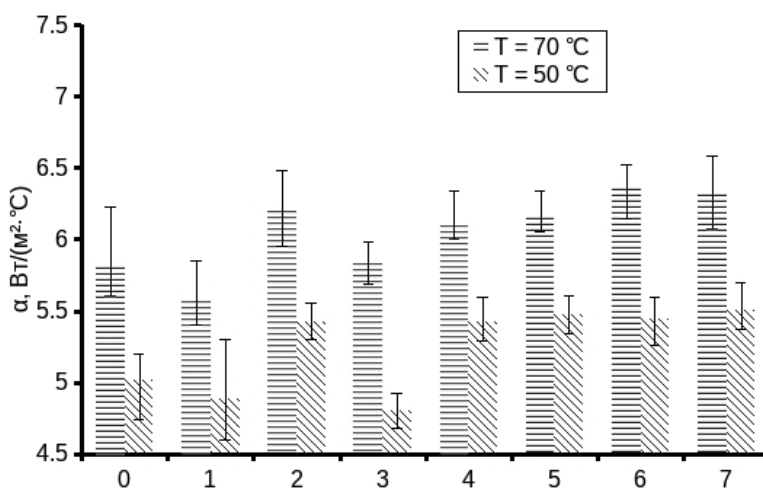


Рис. 4. Эффективность работы отопительного прибора для различных температур теплоносителя

**Выводы.** Эффективность отопительных приборов определяется целым рядом факторов, в т. ч. способом их установки. Очевидно, что использование ограждений в виде подоконника или декоративного экрана оказывает влияние на характер и в некоторых случаях направление движения воздушного потока, омывающего поверхность теплообмена. В настоящее время в тепловом расчете отопительных приборов широко используются эмпирические данные, однако они не универсальны и не применимы в ряде случаев.

В настоящей работе приведены результаты численного исследования поверхностного теплообмена, которые показали возможность получения достоверных результатов по интенсивности теплоотдачи для различных способов установки отопительного прибора. Было пока-

зано повышение эффективности при установке декоративного экрана вне зависимости от наличия подоконника. Также была рассмотрена зависимость интенсивности теплоотдачи от температуры теплоносителя, которая показала в целом равномерное снижение теплоотдачи при меньшей температуре. При этом наибольший эффект был отмечен для варианта установки под подоконником.

Полученные результаты показали высокую чувствительность интенсивности теплоотдачи к положению и размерам ограждений, а также их элементов. Это свидетельствует о значимости индивидуального расчета интенсивности теплоотдачи для каждого отдельного случая, который в настоящее время может быть реализован только методами численного моделирования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Басалаев А.А., Шнайдер Д.А. Метод оптимизации температуры подаваемого теплоносителя в системе централизованного теплоснабжения зданий на основе имитационного моделирования // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2017. № 1(17). С. 15–22. DOI: 10.14529/ctcr170102.
2. Усиков С.М. Диапазон регулирования теплоотдачи отопительных приборов при количественном автоматическом регулировании // Наукосведение. 2017. № 3(9). С. 1–9.
3. Осокин Е.В., Оленников А.А., Кирилов П.П., Николенко В.В., Гуца Е.А. Одна из причин недогрева жилых помещений в отопительный период года // Вестник Сиб. гос. индустр. ун-та. 2015. № 14(4). С. 41–45.
4. Богословский В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства. Отопление. М.: Стройиздат, 1990. 344 с.
5. Мукашев А.М., Пуговкин А.В., Абрамчук С.И. Моделирование эффективности теплоотдачи отопительных приборов // Вестник ТГАСУ. 2017. № 5. С. 169–175.
6. Панферов С.В., Панферов В.И. Динамическая модель отопительных приборов и систем // Вестник Южно-Уральского гос. ун-та. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2015. № 2(15). С. 75–82. DOI: 10.14529/ctcr150208.
7. Панферов С.В., Панферов В.И. К решению задачи моделирования отопительных приборов и систем // Управление инвестициями и инновациями. 2018. № 1. С. 99–105. DOI: 10.14529/iimj180115.
8. Цветков Н.А., Жуков А.В., Кривошеин Ю.О., Иванчин М.Г., Токмаков А.В. Совершенствование методики измерения тепловой мощности отопительных приборов в реальных условиях эксплуатации // Вестник ТГАСУ. 2015. № 6. С. 141–148.
9. Установка радиаторов отопления в частном доме. URL: <http://gopb.ru/radiator/ustanovka-batarej-otopleniya-v-chastnom-dome-svoimi-rukami-video> (дата обращения: 10.02.2019).
10. Smagorinsky J. General circulation experiments with the primitive equations // Monthly Weather Review, 1963, Vol. 91, No. 3, pp. 99–164. DOI: 10.1175/1520-0493(1963)091<0099:GCEWTP>2.3.CO;2.
11. Richardson L.F. The approximate arithmetical solution by finite differences of physical problems involving differential equations, with an application to the stresses in a masonry dam // The Transactions of the Royal Society A., 1911, Vol. 210, No. 495–470, pp. 307–357. DOI: 10.1098/rsta.1911.0009.

Об авторе:

### НИКИТИН Максим Николаевич

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: max@nikitin-pro.ru

### NIKITIN Maxim 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 E-mail: max@nikitin-pro.ru

Для цитирования: Никитин М.Н. Исследование интенсивности теплоотдачи отопительного прибора в зависимости от способа установки // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 33–37. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.6.

For citation: Nikitin M.N. Study of Heat Transfer of a Heater for Various Installation Methods // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 1. Pp. 33–37. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.6.

# ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



УДК 628.16.081:535.537

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.7

**В. И. КИЧИГИН  
Н. А. ГАЗИЗОВ  
А. Р. САЛИХОВА**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ИОННОГО СОСТАВА ВОДЫ НА ВЕЛИЧИНЫ ЕЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА И ДЗЕТА-ПОТЕНЦИАЛА

STUDY OF THE EFFECT OF CHANGES IN IONIC WATER COMPOSITION ON THE VALUE  
OF ITS REDOX POTENTIAL AND ZETA-POTENTIAL

Установлена зависимость дзета-потенциала от величины окислительно-восстановительного потенциала и ионного состава воды. Определен физико-химический состав изучаемой воды, сделан анализ полученных результатов. В ходе исследований дополнительно определялись показатели: рН, температура, мутность и щелочность для получения полной картины качества воды. Было установлено соответствие всех изучаемых показателей воды нормам СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения». Приведены математические зависимости между дзета-потенциалом, жесткостью, содержанием анионов и катионов в исследуемой воде с достоверностью аппроксимации  $R^2$  не ниже 0,83.

**Ключевые слова:** дзета-потенциал, концентрация соли, окислительно-восстановительный потенциал, качество воды

The dependence of ZP on the magnitude of the redox potential and the ionic composition of water has been established. The physico-chemical composition of the studied water was determined, the analysis of the obtained results was made. During the studies, indicators such as pH, temperature, turbidity and alkalinity were additionally determined to obtain a complete picture of water quality. All studied water indicators meet the standards of SanPiN 2.1.4.1074-01 "Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control: Sanitary rules and regulations. Mathematical dependences between the  $\zeta$ -potential, rigidity, and the content of anions and cations in the water under study with an accuracy of approximation  $R^2$  not lower than 0.83 are given.

**Keywords:** Zeta potential, salt concentration, redox potential, water quality

Целью данной работы являлось установление степени зависимости электрокинетического потенциала (дзета-потенциала, ДП) от ионного состава воды и ее окислительно-восстановительного потенциала (ОВП). Для достижения поставленных целей потребовалось решить следующие задачи: отбор проб водопроводной воды из одной точки сети г. Самары; определение физико-химического состава изучаемой воды и ее дзета-потенциала; обработка и анализ полученных результатов.

В ходе опытов была использована натуральная пищевая морская соль компании «Droga Kolinska», произведенная в Словении из вод Адриатического моря естественным спосо-

бом – выпариванием морской воды на солнце. Соль имела следующий физико-химический состав: NaCl (97,9 % – 99,4 %),  $Mg^{2+}$  (max 0,19 %),  $Ca^{2+}$  (max 0,2 %),  $SO_4^{2-}$  (max 0,5 %),  $H_2O$  (max 1 %). Для взвешивания вводимой в воду соли были использованы лабораторные весы SHINKO VIBRA HTR-220CE с точностью 0,0001 г.

Определение величины дзета-потенциала в пробах исследуемой воды проводилось на установке, созданной на кафедре водоснабжения и водоотведения СамГТУ (рис. 1) по методике, изложенной в работе [1]. Измерения производились на основе амперометрического метода определения электрокинетической подвижности [2]. Величина дзета-потенциала

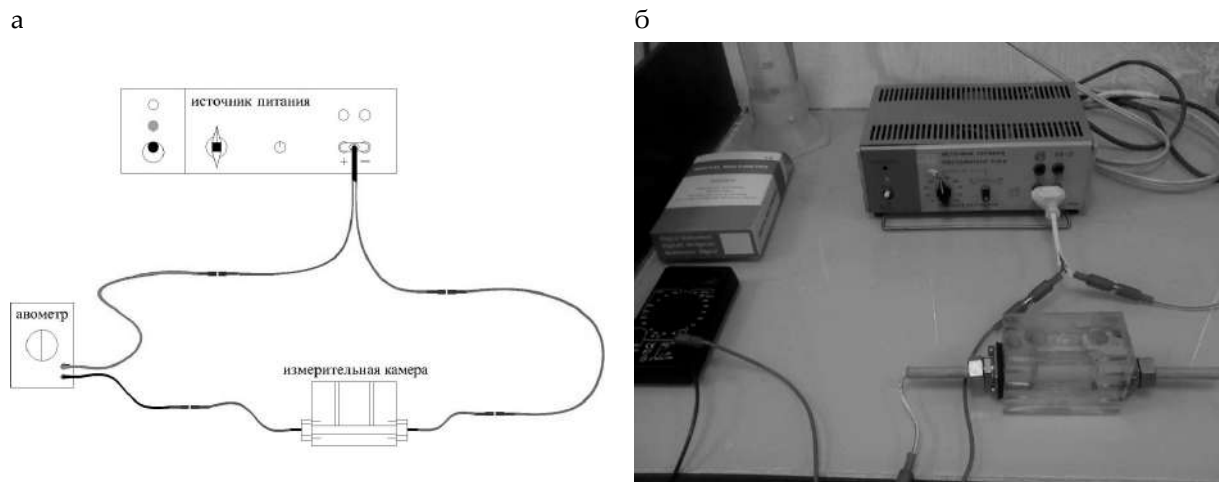


Рис. 1. Схема (а) и общий вид устройства (б) для измерения величины дзета-потенциала

определялась по пяти пробам воды с помощью уравнения Гельмгольца-Смолуховского [3]. После подключения установки к источнику постоянного тока в камеру заливался дистиллят для проверки правильности показаний приборов, включался тумблер и на авометре высвечивалось контрольное значение (должно быть в пределах  $0,0 \pm 0,1$  А). После проверки на дистилляте в ячейку заливался исследуемый раствор.

Для измерения значений окислительно-восстановительного потенциала чистых проб и соляных растворов был использован прибор ОВП-метр 2069 фирмы «Kelilong», имеющий диапазон работы  $\pm 1999$  мВ при  $0-50$  °С и погрешность  $\pm 5$  мВ. Кроме основных показателей, для получения более полной картины качества исследуемой воды были собраны органолептические, обобщенные и показания вредных веществ в соответствии с правилами (ГОСТ 3351-74 «Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности»). Полученные результаты сравнивались с нормами ПДК (СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения»).

Для определения мутности воды использовались колориметры фотоэлектрические концентрационные КФК-2МП. Определение значения щелочности проводилось по методике, изложенной в ГОСТ 31957-2012 «Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов»; концентрации хлорид-ионов – по методике, описанной в ГОСТ 4245-72 «Вода питьевая. Методы определения хлоридов»; концентрации общей жесткости – по методике, описанной в ГОСТ 31954-2012 «Вода питьевая. Методы определения жесткости»; содержания ионов кальция – по методике, описанной в ГОСТ 23268.5-78

«Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов кальция и магния».

Расчет величины дзета-потенциала проводился по пяти пробам при уровне значимости  $q = 0,05$  по методикам, изложенным в работе [4]. Порядок опытов рандомизировался с помощью таблицы случайных чисел. Было проведено две серии опытов – «основная» (с 09.02 по 05.07.2018 г.) и «контрольная» (с 18.02 по 26.02.2019 г.). Полученные результаты приведены в табл. 1 и 2 и на рис. 2–9 (первая серия опытов) и в табл. 3 и 4 и на рис. 10–14 (вторая серия опытов).

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показал соответствие всех изучаемых показателей воды нормам СанПиН 2.1.4.1074-01. Кроме того, было выявлено, что в период с 09.02 по 05.07.2018 г. при температуре  $24-26$  °С величина дзета-потенциала изменялась в пределах от 291,7 до 416,9 мВ.

Из рис. 2–4 можно сделать вывод об устойчивой связи между значениями дзета-потенциала, общей жесткостью воды, концентрацией катионов  $Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}$  в исследуемой воде. Величина достоверности аппроксимации составляла 0,8338, 0,9091 и 0,8994 соответственно. Причем с увеличением общей жесткости исследуемой воды и содержания в ней ионов  $Ca^{2+}$  росло и значение дзета-потенциала (см. рис. 2 и 4), а при увеличении содержания ионов  $Mg^{2+}$  величина дзета-потенциала падала (см. рис. 3).

Анализ данных табл. 2 и рис. 5–8 выявил тенденцию к уменьшению величины дзета-потенциала как при увеличении концентрации NaCl, так и при увеличении катионов Na<sup>+</sup> и анионов Cl<sup>-</sup>. Возможно, это объясняется приближением к порогу растворимости и повышением вероятности выпадения хлористого натрия в осадок. А кривая зависимости дзе-



та-потенциала от ОВП воды на рис. 9 выражается уравнением  $y = 0,0606x^2 - 23,594x + 2402,4$  и устанавливает высокую связь между показателями, с достоверностью аппроксимации  $R^2 = 0,9742$ .

Результаты «контрольной» серии исследований, проведенных на подобной исходной воде, но в период с 18.02 по 26.02. 2019 г. приведены в табл. 3–4 и на рис. 10–14. Была установлена большая сходимость одноименных зависимостей. Так, сравнительный попарный анализ

данных табл. 1 и 3; 2 и 4 подтвердил тенденцию к уменьшению величины дзета-потенциала как при увеличении концентрации соли, так и при увеличении катионов  $Na^+$  и анионов  $Cl^-$ . Кривая зависимости ДП от ОВП воды на рис. 14 выражается уравнением  $y = 0,056x^2 - 22,56x + 2400$  при  $R^2 = 0,982$ , а аналогичная зависимость на рис. 9 – уравнением  $y = 0,0606x^2 - 23,594x + 2402,4$  при  $R^2 = 0,9742$ . Высокая сходимость полученных результатов была и при попарном сравнении данных, приведённых на рис. 5 и 10; 6 и 11; 7 и 12; 8 и 14.

Таблица 1

Значения показателей водопроводной воды

Дата отбора проб (2018 г.)	ДП, мВ	t, °C	Мутность, мг/дм <sup>3</sup>	Щелочность, ммоль/дм <sup>3</sup>	Жесткость, мг /дм <sup>3</sup>		
					по Ca <sup>2+</sup>	по Mg <sup>2+</sup>	общая
09.02	308,4	25	1,44	2,3	2,2	1,7	3,9
20.02	291,7	24	1,36	2,0	1,9	1,8	3,7
27.02	390,4	23	1,36	2,5	2,8	1,4	4,2
28.02	301,4	24	1,52	2,1	2,2	1,7	3,9
06.03	386,8	24	1,21	2,4	2,7	1,5	4,2
07.03	375,4	24	1,29	2,4	2,9	1,4	4,3
13.04	310,4	26	1,52	2,3	2,4	1,6	4,0
19.04	308,7	25	1,44	2,3	2,2	1,7	3,9
26.04	304,3	24	1,52	2,2	2,2	1,8	4,0
03.05	315,6	24	1,44	2,4	2,3	1,6	3,9
25.06	394,2	24	1,44	2,5	3,0	1,2	4,2
26.06	416,9	24	1,52	2,8	3,1	1,2	4,3
27.06	392,8	25	1,44	2,5	3,4	1,3	4,7
28.06	382,9	25	1,44	2,4	3,2	1,3	4,5
02.07	407,6	26	1,44	2,6	3,5	1,1	4,6
03.07	391,2	26	1,52	2,5	3,7	1,3	5,0
05.07	416,	26	1,36	2,8	3,3	1,2	4,5

Таблица 2

Исследование зависимости дзета-потенциала от электрохимических показателей растворов

Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>	ДП, мВ	рН	Температура, С°	ОВП, мВ	Общее солесодержание		Концентрация ионов, мг/дм <sup>3</sup>	
					ppm	мг-экв/дм <sup>3</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>
0	358,5	7,5	25	132	206	4,11	0,0	0,0
100	256,4	7,4	25	143	285	5,69	60,7	39,3
200	205,3	7,4	25	150	374	7,46	121,4	78,6
300	174,0	7,3	25	160	457	9,12	182,1	117,9
400	143,2	7,3	25	171	544	10,88	242,8	157,2
500	126,1	7,3	25	186	632	12,63	303,5	196,5
600	111,9	7,2	25	195	721	14,40	364,2	235,8
700	101,0	7,2	25	207	819	16,36	424,9	275,1

Таблица 3

Значения показателей в исследуемой воде

Дата отбора проб (2019 г.)	ДП, мВ	t, °С	М, мг/дм <sup>3</sup>	Щ, ммоль/дм <sup>3</sup>	Жесткость, мг-экв/дм <sup>3</sup>		
					по Ca <sup>2+</sup>	по Mg <sup>2+</sup>	общая
18.02	423,5	19	0,91	2,5	3,4	1,1	4,5
21.02	407,2	22	0,91	2,3	3,3	1,2	4,5
25.02	405,5	20	0,76	2,4	3,4	1,0	4,4
26.02	419,2	20	0,76	2,4	3,2	1,1	4,3

Таблица 4

Исследование зависимости величины дзета-потенциала от электрохимических показателей растворов

Концентрация NaCl, мг/дм <sup>3</sup>	ДП, мВ	рН	Температура, С°	ОВП, мВ	Общее солесодержание		Концентрация ионов, мг/дм <sup>3</sup>	
					ppm	мг-экв/дм <sup>3</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>
100	292,6	7,5	20	148	273	5,45	60,7	39,3
200	251,1	7,5	20	156	350	6,98	121,4	78,6
300	219,3	7,5	20	165	454	9,07	182,1	117,9
400	192,5	7,5	20	168	512	10,22	242,8	157,2
500	180,4	7,5	20	171	587	11,73	303,5	196,5
600	168,5	7,5	20	181	673	13,44	364,2	235,8
700	144,3	7,5	20	187	761	15,20	424,9	275,1

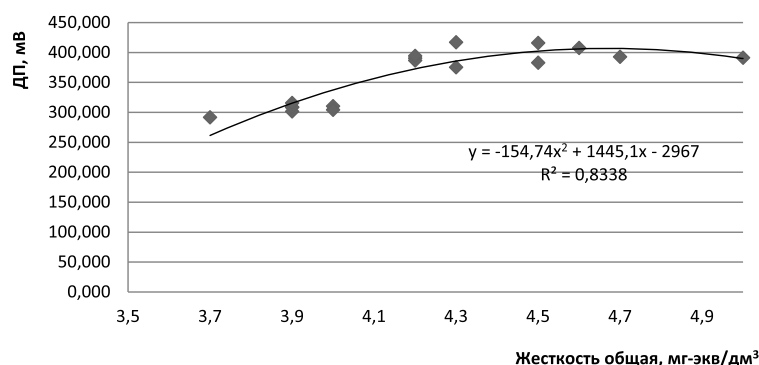
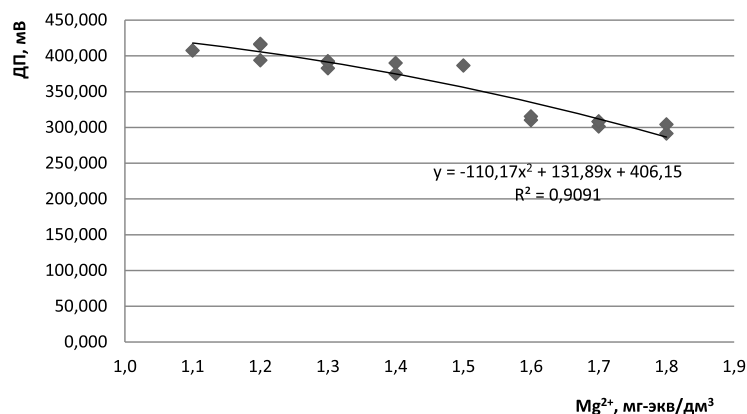


Рис. 2. Зависимость значений дзета-потенциала от общей жесткости воды

Рис. 3. Зависимость значений дзета-потенциала от содержания ионов Mg<sup>2+</sup> в воде

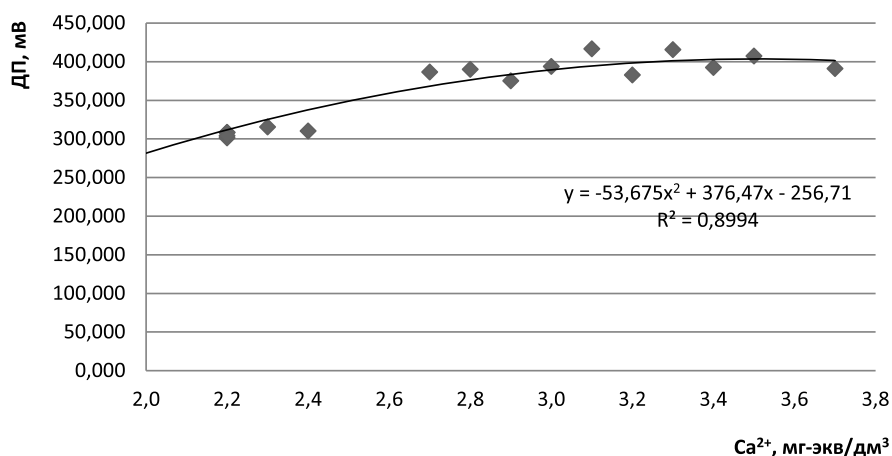


Рис. 4. Зависимость значений дзета-потенциала от содержания ионов Ca<sup>2+</sup> в воде

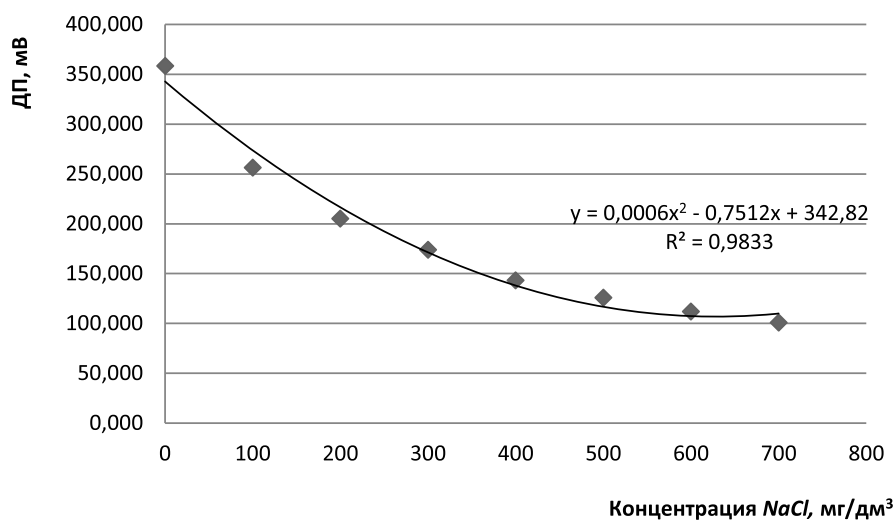


Рис. 5. Зависимость значений дзета-потенциала от концентрации соли

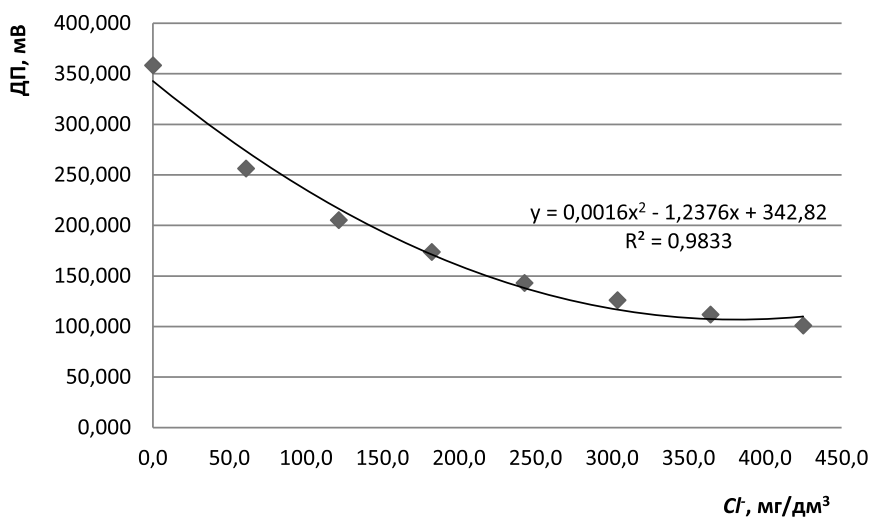


Рис. 6. Зависимость значений дзета-потенциала от содержания ионов Cl<sup>-</sup> в воде

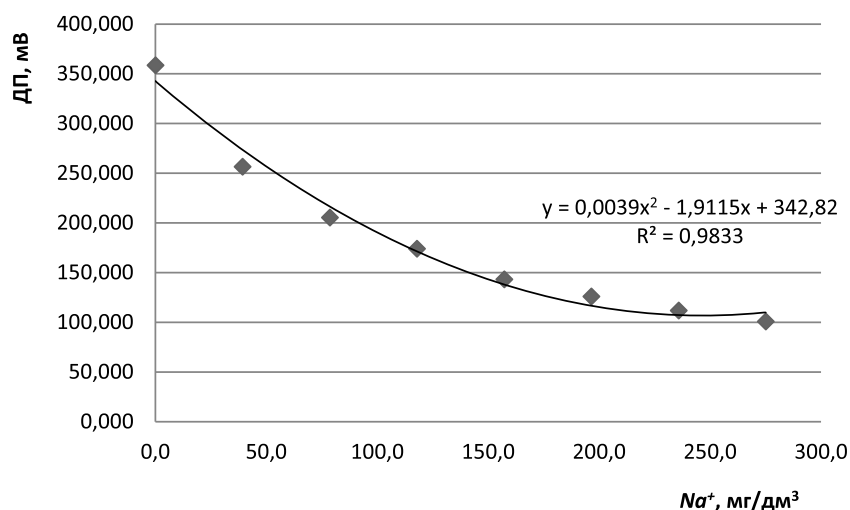


Рис. 7. Зависимость значений дзета-потенциала от содержания ионов Na<sup>+</sup> в воде

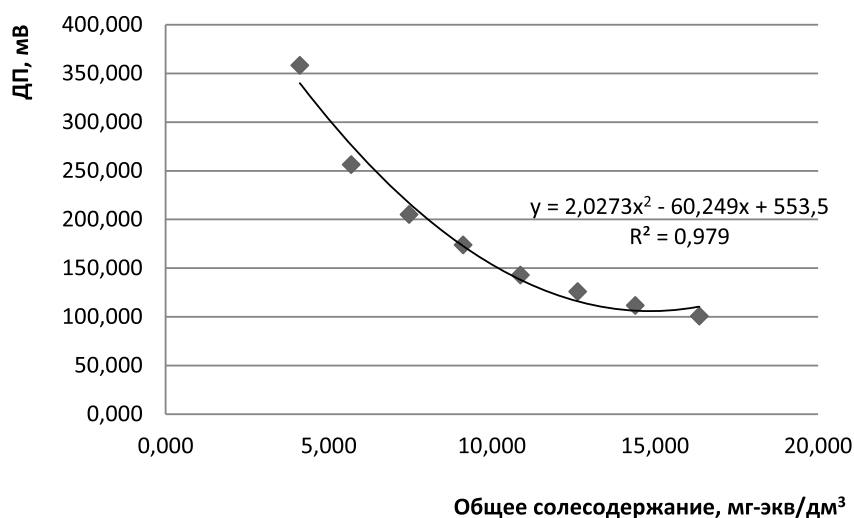


Рис. 8. Зависимость значений дзета-потенциала от общего солесодержания воды

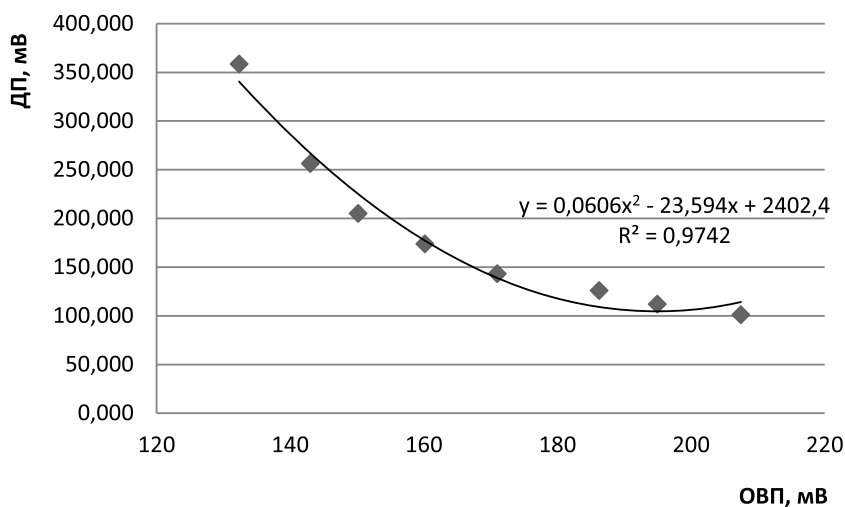


Рис. 9. Зависимость значений дзета-потенциала от ОВП

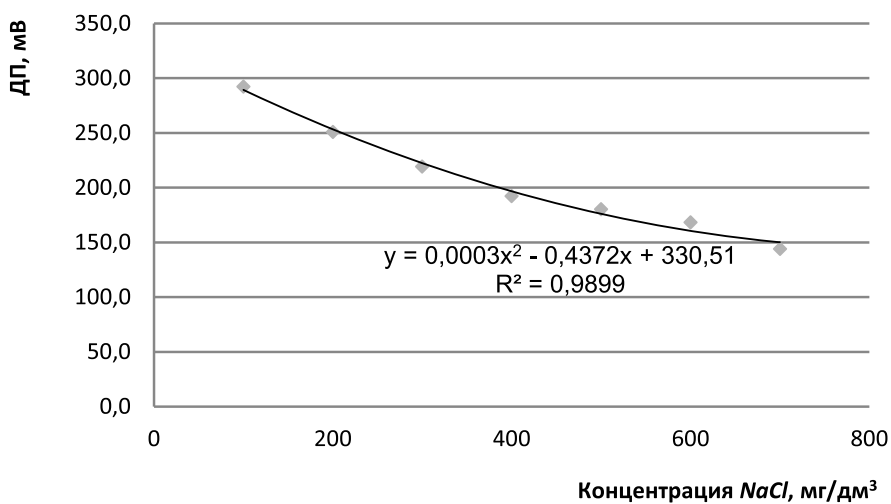


Рис. 10. Зависимость значений дзета-потенциал от концентрации NaCl в воде

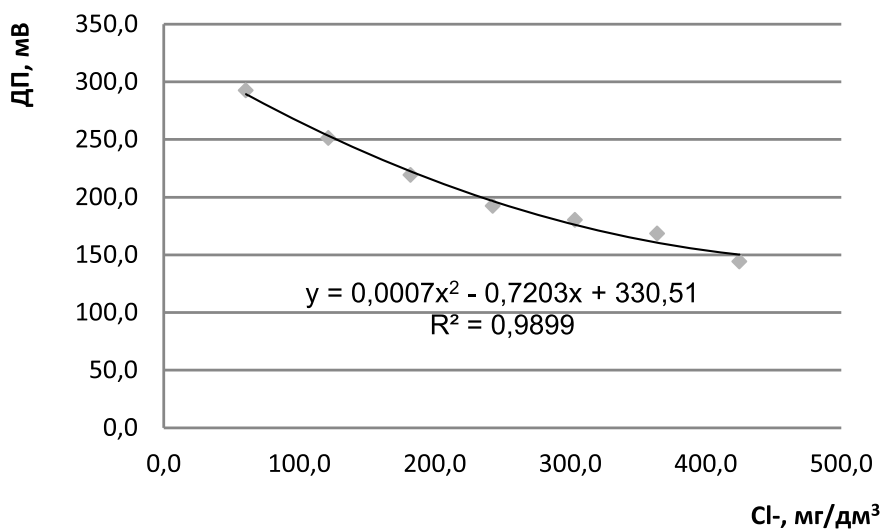


Рис. 11. Зависимость дзета-потенциала от концентрации ионов Cl<sup>-</sup> в воде

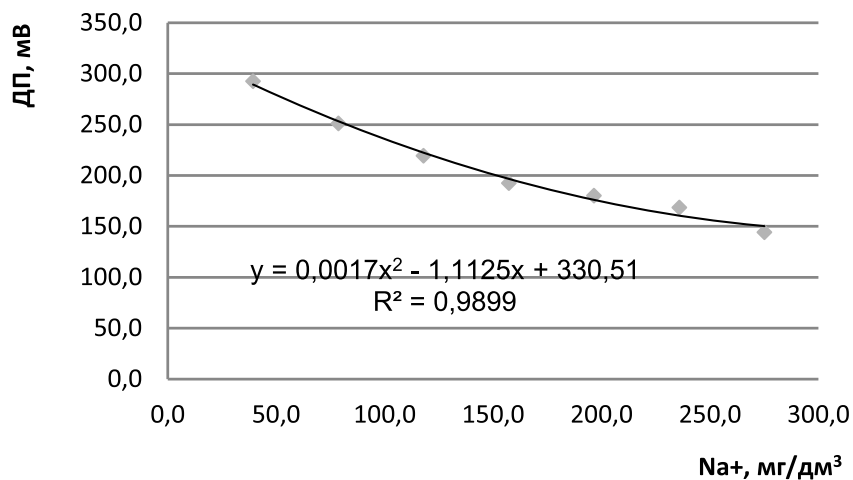


Рис. 12. Зависимость дзета-потенциала от концентрации ионов Na<sup>+</sup> в воде

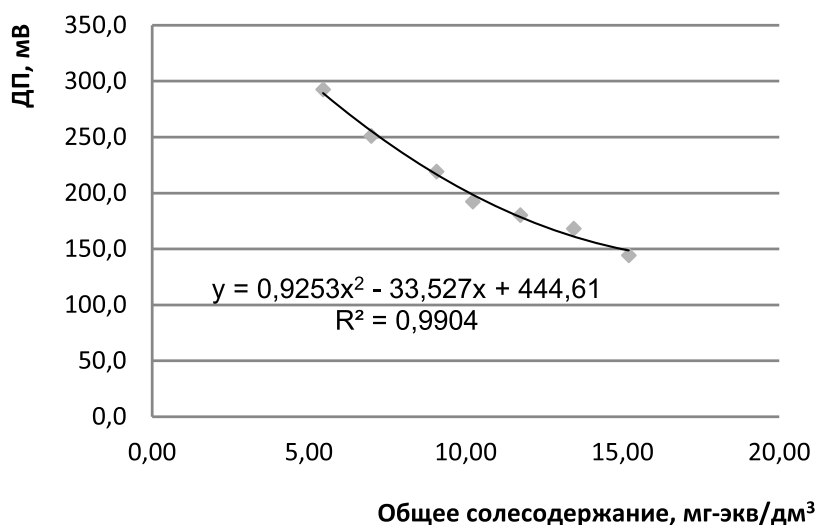


Рис. 13. Зависимость значений дзета-потенциала от общего солевого содержания воды

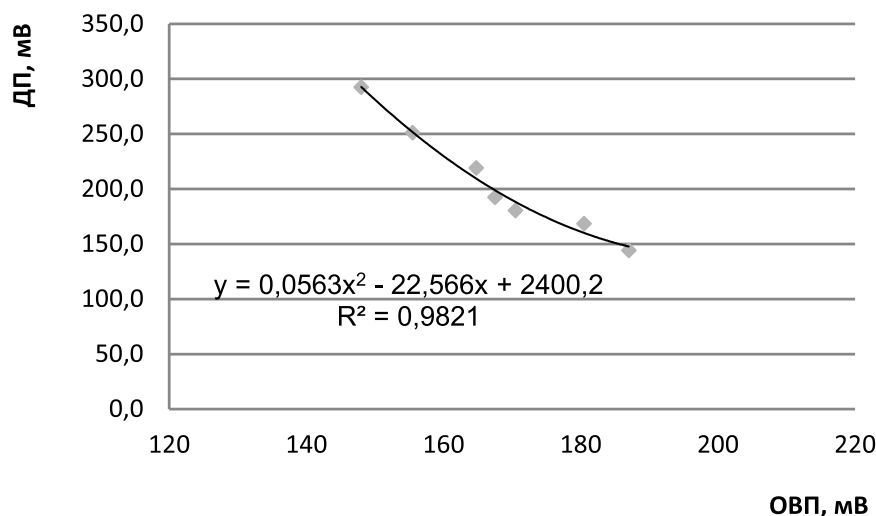


Рис. 14. Зависимость значений дзета-потенциала от ОВП

**Выводы.** 1. Установлено соответствие всех изучаемых показателей воды нормам СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения». В ходе сбора органолептических показателей качества воды были выявлены отдельные отклонения от нормативов ПДК показателя цветности исходных проб на один–три градуса. Это может быть связано с высоким содержанием железа и его соединений или гуминовых веществ в эти дни, а также с качеством трубопроводов в сетях и общим ростом цветности воды в Саратовском водохранилище в районе Самары за последние годы.

2. Обнаружены устойчивые связи между значениями дзета-потенциала, ОВП, общей

жесткостью воды, катионами  $Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}$  при величине достоверности аппроксимации во всех случаях больше 0,83.

3. Выявлена тенденция к уменьшению величины дзета-потенциала как при увеличении концентрации соли, так и при увеличении содержания катионов  $Na^+$  и анионов  $Cl^-$ . Это объясняется приближением к порогу растворимости и повышением вероятности выпадения соли в осадок, что подтверждает теорию о пороговом значении дзета-потенциала в 30 мВ, при котором теряется устойчивость коллоидной систем.

4. Результатами «контрольной» серии исследований, проведенных на подобной исходной воде, но в период с 18.02 по 26.02. 2019 г. была установлена большая сходимость одно-

именных зависимостей. Так сравнительный попарный анализ данных табл. 1 и 3; 2 и 4 подтвердил тенденцию к уменьшению величины дзета-потенциала как при увеличении концентрации соли, так и при увеличении катионов Na<sup>+</sup> и анионов Cl<sup>-</sup>. Высокая сходимость полученных результатов была выявлена и при попарном сравнении данных, приведённых на рис. 5 и 10; 6 и 11; 7 и 12; 8 и 14.

4. *Закс Л.* Статистическое оценивание / пер. с нем. В.Н. Варьгина; под ред. Ю.П. Адлера и В.Г. Горского. М.: Статистика, 1976. 599 с.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Атанов Н.А., Волков И.Н., Кичигин В.И.* Устройство для измерения величины дзета-потенциала // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 70-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2013. 880 с.

2. *Чудновский С.М.* Приборы и оборудование по контролю за состоянием природных и сточных вод. Вологда: ВоГТУ, 2011. 88 с.

3. *Савицкая Т. А., Котиков Д.А., Шичкова Т.А.* Коллоидная химия: строение двойного электрического слоя, получение и устойчивость дисперсных систем. Минск: БГУ, 2011. 82 с.

Об авторах:

### **КИЧИГИН Виктор Иванович**

доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-14-11 E-mail: kichigin.viktr@rambler.ru

### **KICHIGIN Viktor I.**

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Waste Water Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 194, tel. (846)339-14-11 E-mail: kichigin.viktr@rambler.ru

### **ГАЗИЗОВ Наиль Ахтямович**

магистрант 2-го года обучения по кафедре водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-14-11

### **GAZIZOV Nail A.**

Master's Degree Student of the Water Supply and Waste Water Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 194, tel. (846)339-14-11

### **САЛИХОВА Альфия Рафиковна**

магистрант 2-го года обучения по кафедре водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-14-11

### **SALIKHOVA Alfia R.**

Master's Degree Student of the Water Supply and Waste Water Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 194, tel. (846)339-14-11

Для цитирования: *Кичигин В.И., Газизов Н.А., Салихова А.Р.* Исследование влияния изменения ионного состава воды на величины ее окислительно-восстановительного потенциала и дзета-потенциала // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 35–46. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.7.

For citation: *Kichigin V.I., Gazizov N.A., Salikhova A.R.* Study of the effect of Changes in ionic water composition on the value of its redox potential and zeta-potential // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 35–46. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.7.

**В. Д. НАЗАРОВ**  
**И. С. ЕРИЛИН**  
**М. В. НАЗАРОВ**  
**О. В. СМОРОДОВА**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДООКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОФЛОТАТОРА**

**USE OF SOLID OXIDE FUEL CELL FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY  
OF THE ELECTROFLOTATOR**

*Предложена схема функционирования электрофлотатора совместно с твердооксидным топливным элементом. Проведены экспериментальные исследования топливного элемента на водородном топливе с получением вольтамперной характеристики и построением кривой зависимости КПД топливного элемента от удельной мощности и тока. Была построена поверхность КПД системы электрофлотатор-топливный элемент и сделаны выводы об экономии электроэнергии и оптимальных площадях активной поверхности исследуемого топливного элемента при работе с электрофлотаторами производительностью до 3 м<sup>3</sup>/ч.*

**Ключевые слова:** твердооксидный топливный элемент, электрофлотатор, водород, очистка сточных вод, стоимость топливных элементов

Достижения в области топливных элементов в последние годы позволяют применять их с высокой эффективностью в различных областях инженерии. Электрофлотатор представляет собой устройство для очистки воды, в котором в результате электролиза воды вырабатываются газообразные водород и кислород. Данные газы впоследствии используются для адсорбции частиц дисперсной фазы из очищаемой воды. Захваченные частицы вместе с пузырьками газа образуют стойкую пену, которая перемещается в емкость, называемую накопителем флотошлама.

Для увеличения эффективности очистки воды электрофлотатор объединяют с каталитическим блоком, в который поступает вода на доочистку. Доочистка производится путем окисления растворенных органических веществ кислородом, образующимся на анодах в процессе электролиза [1].

Однако процесс электрофлотации является энергозатратным, кроме того, существует вероятность образования взрывоопасной смеси кислорода с водородом. Для решения данных проблем существует вариант объединения электрофлотатора с топливным элементом, при этом водород, выделяющийся в процессе элек-

*Advances in fuel cells in recent years have made it possible to apply them with high efficiency in various engineering fields. In this paper, a scheme of functioning of an electroflotator was proposed in conjunction with a solid oxide fuel cell. Experimental studies of a hydrogen fuel cell were carried out to obtain a current-voltage characteristic and a curve for the dependence of the fuel cell efficiency on the specific power and current was obtained. The surface efficiency of the electroflotator-fuel cell system was built and conclusions were drawn about energy savings and optimal areas of the active surface of the fuel cell under investigation when working with electroflotators with a capacity of up to 3 m<sup>3</sup> / h.*

**Keywords:** solid oxide fuel cell, electroflotator, hydrogen, wastewater treatment, fuel cell cost

трофлотации, утилизируется в топливном элементе с генерацией электрической энергии [1].

Топливным элементом (ТЭ) называется устройство генерации электрической энергии в процессе электрохимического окисления топлива. Любой ТЭ состоит из трех основных элементов: анод, катод и электролит. На аноде происходит окисление топлива, на катоде – восстановление окислителя, при этом электроны перемещаются по внешней электрической цепи, а ионы – через электролит. В зависимости от вида ТЭ различается и механизм его работы.

Наиболее эффективными видами топливных элементов являются ТЭ с твердым электролитом, к ним относятся протонообменные полимерные ТЭ (PEMFC), твердооксидные ТЭ (SOFC), протонокерамические ТЭ (PCFC).

В табл.1 представлены основные характеристики твердоэлектролитных ТЭ различных типов.

В ходе работы электрофлотатора из него будет выделяться водород и непрореагировавший в каталитическом блоке кислород, данные газы могут быть успешно поданы в ТЭ, а электрическая связь ТЭ замкнута через электроды электрофлотатора. Таким образом, одновре-



Таблица 1

Основные характеристики твердоэлектrolитных ТЭ

Показатель	PEMFC	SOFC	PCFC (нет промышленных образцов)
Вид топлива	Водород	Водород, синтез. газ, метан, метанол, природный газ	
Температура работы, °C	20 – 100	650 – 1200	400 – 650
КПД по низшей теплоте существующих ТЭ, %	50	60	60 – 65

менно будут решены две задачи: утилизация водорода и повышение энергетической эффективности электрофлотатора.

Рассмотрим схему работы системы на базе SOFC ячейки как на наиболее эффективной, надежной и устойчивой к загрязнениям топлива из промышленно выпускаемых видов топливных элементов.

Предлагаемая схема работы электрофлотатора с SOFC представлена на рис. 1. Принцип работы предлагаемой системы заключается в следующем. Водород, отработавший в электрофлотаторе, поступает в SOFC блок, где он смешивается с рециркулирующим водородом, отсепарированным из выхлопов с анода SOFC, далее он подогревается до температуры, определяемой из условия максимально допустимых температурных напряжений в структуре SOFC

и подается на анод ТЭ. Разность температур между входящими и выходящими из ТЭ потоками обычно не должна превышать 200 – 250 °C [2]. Количество кислорода, уходящего из каталитического блока, недостаточно для окисления всего поступающего на анод водорода, так как часть кислорода была использована при доочистке воды, кроме того, работа ТЭ всегда осуществляется с некоторым избытком кислорода для поддержания высокого парциального давления кислорода на катоде и, следовательно, большего смещения термодинамического равновесия в сторону продуктов химической реакции. Степень утилизации кислорода обычно составляет не более 60 % [3]. В связи с этим необходимо предусмотреть дополнительную подачу воздуха на катод. Таким образом, кислород, непрореагировавший в каталитическом блоке флотатора, смешивается с воздухом и проходит через конденсатор, где из уходящих с анода потоков сепарируется водород и дистиллированная вода в жидком виде. После всех ступеней подогрева обогащенный кислородом воздух подается на катод SOFC. В топливных элементах протекают электрохимические реакции (1) – (3) с генерацией постоянного электрического тока, который частично обеспечивает энергией электродные блоки флотатора, таким образом повышая эффективность системы.

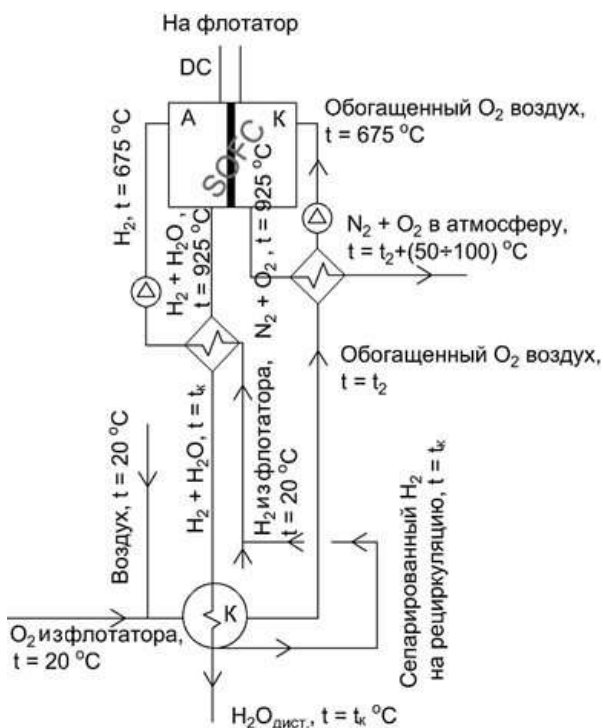
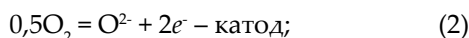
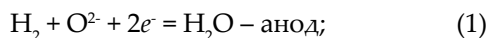


Рис. 1. Схема утилизации водорода из электрофлотатора на базе SOFC



Для целей определения энергетической эффективности работы SOFC на водороде из электрофлотатора проводилось экспериментальное измерение вольтамперной характеристики единичной SOFC ячейки, представленной Институтом высокотемпературной электрохимии УрО РАН при средней температуре работы в 800 °C. Результаты эксперимента представлены на рис. 2.

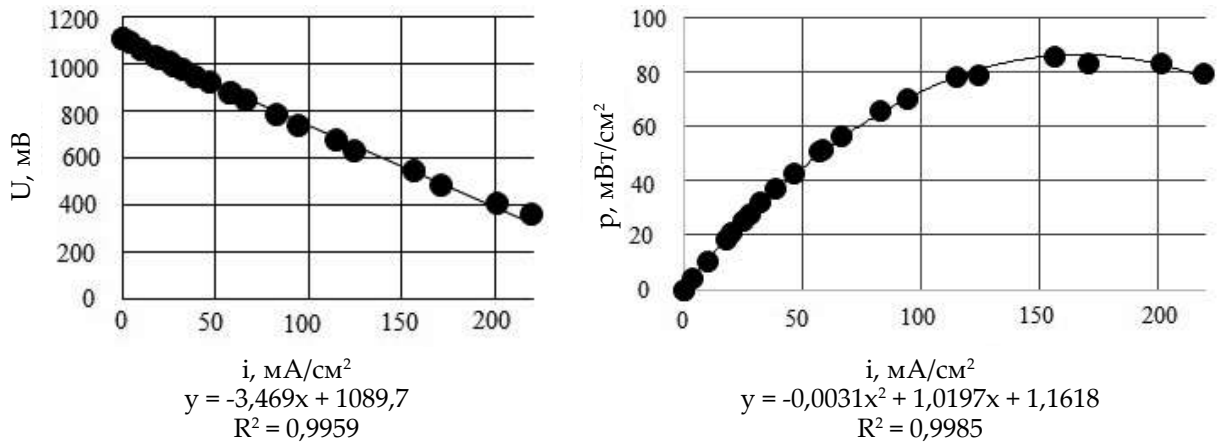


Рис. 2. Вольтамперная и мощностная характеристики ячейки SOFC

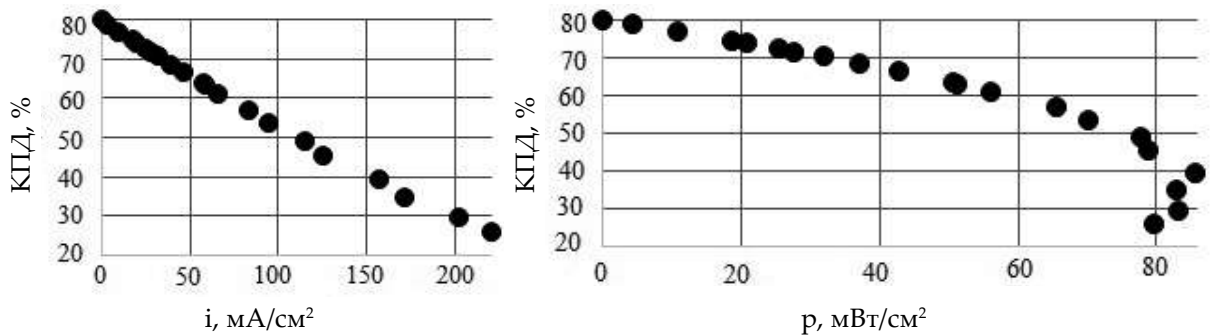


Рис. 3. Зависимость КПД SOFC от тока и мощности

В диапазоне исследуемого значения токов получена линейная вольтамперная характеристика, что указывает на преимущественно омический характер падений напряжения в ТЭ [2]. Мощностная характеристика представляет собой полином второй степени с экстремумом при значении плотности тока 150 мА/см², однако точка максимальной мощности ТЭ не всегда является оптимальным значением для работы, так как следует учитывать КПД топливного элемента, который снижается с ростом мощности.

Исходя из полученной вольтамперной характеристики, электрический КПД топливного элемента  $\eta_e$ , %, может быть найден по формуле [2]:

$$\eta_e = \frac{V_{cell}}{E_{OCV}^{max}} \cdot 100\%,$$

где  $V_{cell}$  – напряжение единичного топливного элемента, В;

$E_{OCV}^{max}$  – ЭДС разомкнутой цепи идеального топливного элемента, В.

С учетом того, что необратимость при токах, близких к нулю, у ТЭ весьма низкая, примем:

$$E_{OCV}^{max} = E_{OCV},$$

где  $E_{OCV}$  – ЭДС разомкнутой цепи исследуемого топливного элемента, В [2].

Действительный электрический КПД топливного элемента  $\eta_e^{real}$ , %, с учетом неиспользованной энергии топлива определяется из уравнения

$$\eta_e^{real} = \eta_e \cdot U_{H_2},$$

где  $U_{H_2}$  – степень утилизации водорода.

Задавшись степенью утилизации  $U_{H_2} = 0,8$  [4], построим зависимости КПД SOFC от тока и мощности (рис. 3).

Если при объединении элементарных топливных ячеек используются металлические интерконнекты, то мощность, ток и напряжение являются аддитивными параметрами для систем невысокого напряжения, так как сопротивление металлических интерконнектов пренебрежимо мало [5].

Из рис. 3 определено, что исследуемый SOFC демонстрирует стабильную работу без скачкообразного падения КПД до значений удельной мощности в 70 мВт/см<sup>2</sup>, поэтому эксплуатацию ТЭ целесообразно проводить, не превышая данное значение.

Исходя из измеренного значения тока, по закону Фарадея может быть найден расход топлива  $\dot{m}_{H_2}$ , г/с, проходящего через активную поверхность SOFC:

$$\dot{m}_{H_2} = \frac{I \cdot \mu_{H_2}}{2 \cdot F \cdot U_{H_2}},$$

где  $I$  – ток топливного элемента, А;

$\mu_{H_2}$  – молярная масса водорода, г/моль;

$F$  – постоянная Фарадея, Кл/моль.

Тогда подбор SOFC может быть проведен исходя из заданного значения расхода водорода, площади активной поверхности топливного элемента и соответствующего значения КПД. Значение площади SOFC не всегда будет выбираться из условий максимальной мощности, так как с увеличением площади будут расти и капитальные затраты на ТЭ, поэтому окончательный выбор ТЭ определяется технико-экономическим обоснованием. На рис. 4 показана поверхность значений КПД ТЭ при различных расходах водорода и площадях активной поверхности ТЭ. Поверхности подобного рода могут быть построены для любого топливного

элемента при любых коэффициентах утилизации топлива. Исследуемый диапазон расходов водорода выбирался для однокамерных электрофлотаторов производительностью по очищаемой воде до 3 м<sup>3</sup>/ч, с удельными затратами энергии 0,3 кВт·ч/м<sup>3</sup> и напряжением 15 В [1, 6]. В зависимости от планируемой мощности ТЭ необходимо предусмотреть несколько последовательно соединенных ячеек для увеличения напряжения до рабочего. Для эффективной работы ТЭ совместно с электрофлотатором напряжение на зажимах ТЭ должно соответствовать требуемому напряжению электрофлотатора. Однако вопрос максимально возможного количества подключаемых последовательно ячеек требует отдельного рассмотрения в связи со сложностями создания необходимого парциального давления водорода на аноде SOFC каждой элементарной ячейки.

КПД SOFC будет равно отношению экономии электроэнергии электрофлотатор-SOFC системы к электрофлотатору без использования ТЭ (без учета потерь энергии при электролизе). Следует отметить, что затраты электроэнергии на привод вентиляторов влияют на эффективность системы в незначительной степени, так как в случае отсутствия ТЭ необходимо предусмотреть систему вытяжной вентиляции для разбавления выделяющегося водорода [7].

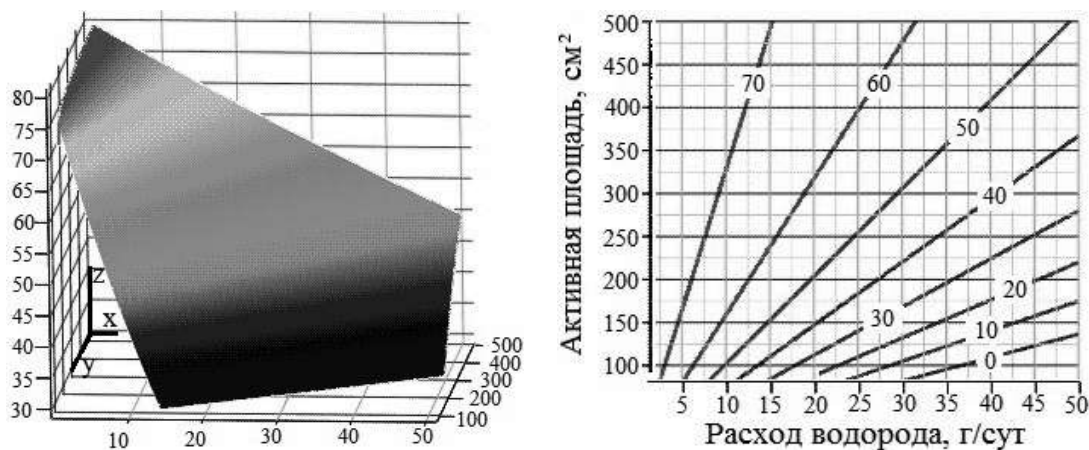


Рис. 4. Поверхность КПД исследуемой электрофлотатор-SOFC системы: z – КПД SOFC, %; x – расход водорода, г/сут; y – активная площадь SOFC, см<sup>2</sup>.

**Выводы.** В результате исследования была доказана возможность применения SOFC российского производства для целей повышения энергетической эффективности и обеспечения безопасности работы электрофлотационной установки. При этом особенностью данной системы является стабильная работа в широком диапазоне расходов водорода из флотационной установки без значительного паде-

ния КПД или мощности топливного элемента. Оптимальным вариантом для однокамерных электрофлотаторов производительностью по очищаемой воде до 3 м<sup>3</sup>/ч являются SOFC с площадью активной поверхности в 250 – 500 см<sup>2</sup>. Так, для установки производительностью по очищаемой воде 3 м<sup>3</sup>/ч (45 г/сут водорода) SOFC с напряжением на зажимах в 15 В и КПД 50 % будет обеспечивать мощность в 500 Вт, что

эквивалентно 55 % мощности рассматриваемого электрофлотатора.

**Благодарности:** Благодарим коллектив Института высокотемпературной электрохимии УрО РАН за помощь в предоставлении оборудования и образцов для исследования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Назаров В.Д., Зенцов В.Н., Назаров М.В. Водоснабжение в нефтедобыче. Уфа: Нефтегазовое дело, 2010. 400 с.

2. Dicks A., Rand D.A.J. Fuel cell systems explained. Wiley, 2018.

3. Milewski J., Świrski K., Santarelli M., Leone P. Advanced methods of solid oxide fuel cell modeling. Springer Science & Business Media, 2011.

4. Kupecki J., Motylinski K., Milewski J. Dynamic analysis of direct internal reforming in a SOFC stack with electrolyte-supported cells using a quasi-1D model. Applied Energy, 2018. Pp.198–205.

5. Jin L., Guan W., Niu J., Ma X., Wang W.G. Effect of contact area and depth between cell cathode and interconnect on stack performance for planar solid oxide fuel cells. Journal of Power Sources, 2013. Pp.796–805.

6. Павлов Д.В., Вараксин С.О., Колесников В.А. Оборотное водоснабжение промышленных предприятий // Сантехника. 2010. №2. С. 30–39.

7. Назаров В.Д., Назаров М.В., Хабибуллина М.Р. Очистка производственных сточных вод электрофлотацией // Градостроительство и архитектура. 2011. № 2. С. 72–79.

Об авторах:

### НАЗАРОВ Владимир Дмитриевич

доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
Архитектурно-строительный институт  
450080, Россия, г. Уфа, ул. Менделеева, 195  
E-mail: ugntu-vv@mail.ru

### NAZAROV Vladimir D.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Waste Water Chair  
Ufa State Petroleum Technical University  
Institute of Architecture and Civil Engineering  
450080, Russia, Ufa, Mendeleeva str., 195  
E-mail: ugntu-vv@mail.ru

### ЕРИЛИН Иван Сергеевич

магистрант кафедры промышленной теплоэнергетики  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450062, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов 8/3  
E-mail: ivanerilin@yandex.ru

### ERILIN Ivan S.

Master's Degree Student of the Industrial Heat and Power Chair  
Ufa State Petroleum Technical University  
450080, Russia, Ufa, Kosmonavtov str., 8/3  
E-mail: ivanerilin@yandex.ru

### НАЗАРОВ Максим Владимирович

кандидат технических наук, директор ООО «МИП УГНТУ Аквита»,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
Архитектурно-строительный институт  
450080, Россия, г. Уфа, ул. Менделеева, 195  
E-mail: aqvita@mail.ru

### NAZAROV Maxim V.

PhD in Engineering Science, Director of LLC «MIP UGNTU Aquita»  
Ufa State Petroleum Technical University  
Institute of Architecture and Civil Engineering  
450080, Russia, Ufa, Mendeleeva str., 195  
E-mail: aqvita@mail.ru

### СМОРОДОВА Ольга Викторовна

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленной теплоэнергетики  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
450062, Россия, г. Уфа, ул. Космонавтов 8/3  
E-mail: olga\_smorodova@mail.ru

### SMORODOVA Olga V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Industrial Heat and Power Chair  
Ufa State Petroleum Technical University  
450080, Russia, Ufa, Kosmonavtov str., 8/3  
E-mail: olga\_smorodova@mail.ru

Для цитирования: Назаров В.Д., Ерилин И.С., Назаров М.В., Смородова О.В. Использование твердооксидного топливного элемента для увеличения энергоэффективности электрофлотатора // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 47–51. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.8.

For citation: Nazarov V.D., Erilin I.S., Nazarov M.V., Smorodova O.V. Use of a Solid Oxide Fuel Cell for Increasing the Energy Efficiency of the Electroflotator // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 47–51. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.8.

С. В. СТЕПАНОВ  
О. Н. ПАНФИЛОВА  
К. К. АБДУГАФФАРОВА

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВОГО СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ГЛИН

### PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF A NEW CLAY-BASED SORBENT

Рассмотрены основные физические и химические параметры нового сорбента, разработанного на основе полезных ископаемых Самарского региона: глин, торфа и доломита. Размер частиц глин после размола на этапе предварительной подготовки составил менее 1 нм, что относит их к высокодисперсным материалам. Проведенный химический анализ состава компонентов показал высокое содержание оксидов кремния и алюминия, обладающих ионообменными свойствами, а также позволил отнести глины к монтмориллонитовым породам. Модификацию сорбента проводили термическим способом. Плотность готового образца составила 1,8 г/см<sup>3</sup>. Метод сканирующей электронной микроскопии показал, что структура готового образца относится к губчатым телам. Методом ИК-спектроскопии подтверждено наличие функциональных групп в кристаллической решетке сорбента, которые обуславливают не только физический, но ионообменный и химический характер сорбции.

**Ключевые слова:** доочистка сточных вод, модифицированная глина, ионы тяжелых металлов, сорбция

Высокие сорбционные и ионообменные свойства глин, возможность модификации и наличие крупных месторождений в Самарском регионе определили их как основу для получения нового сорбента, применяемого для доочистки воды от ионов тяжелых металлов. Однако из-за отсутствия технологических схем использования и физических особенностей (низкая механическая прочность) глины не нашли широкого применения в нашей стране в качестве сорбентов. В то же время многочисленные отечественные и зарубежные исследования природных глин и их модификаций подтверждают эффективность и универсальность по удалению разнообразных загрязняющих веществ из водных растворов [1–3]. Целью данного исследования было использование местных материалов для создания нового сорбента, изучение его физических, химических и сорбционных свойств по доочистке сточных вод от ионов тяжелых металлов.

Методика приготовления сорбентов включала в себя отмучивание глин и доломита для отделения от тяжелых минеральных включений, затем образец центрифугировали и вы-

*The main physical and chemical parameters of a new sorbent developed on the basis of the minerals of the Samara region: clays, peat and dolomite are considered. The particle size of the clay after grinding at the stage of preliminary preparation was less than 1 nm, which relates them to highly dispersed materials. A chemical analysis of the composition of the components showed a high content of silicon and aluminum oxides, which possess ion-exchange properties, and also made it possible to assign clays to montmorillonite rocks. The modification of the sorbent was carried out by thermal method. The density of the finished sample was 1.8 g / cm<sup>3</sup>. The method of scanning electron microscopy showed that the structure of the finished sample belongs to spongy bodies. The method of IR spectrometry confirmed the presence of functional groups in the crystal lattice of the sorbent, which cause not only the physical, but also the ion-exchange and chemical nature of sorption.*

**Keywords:** tertiary treatment of wastewater, modified clay, heavy metal ions, sorption

сушивали в печи до постоянного веса при температуре 105 °С, измельчали в фарфоровой ступке, потом – в шаровой мельнице Retsch PM 100 с частотой вращения 3000 об/мин в течение 30 мин. Торф подсушивали в муфельной печи SNOL 8,2/110 при температуре 105 °С. Все компоненты смешивались с связующим поливинилацетатом. Полученную массу отправляли на отжиг в муфельную печь в кислородсодержащей среде. Печь программировали на постепенный нагрев в течение 2 ч до 700 °С, выдерживали 4 ч и еще 2 ч масса остывала в печи с постепенным снижением температуры.

Ранее проведенные исследования десяти образцов на основе глин позволили определить оптимальный состав сорбента [4]. Образец из 10 частей желтой глины, 10 частей белой глины, 10 частей отожженного торфа, 1 части доломита и 20-30 массовых частей поливинилацетата показал высокие кинетические свойства и большие сорбционные емкости по изучаемым металлам (см. таблицу).

Положительные результаты по применению предложенных сорбентов для удаления

Результаты исследований кинетики и статики сорбции  
из многокомпонентного раствора

Ион	Кинетика сорбции				Статика сорбции (T=150 мин)			ПДК <sub>р.х</sub> мг/л
	C <sub>исх</sub> , мг/л	C <sub>вых</sub> , мг/л	T, мин	СОЕ, мг/г	C <sub>исх</sub> , мг/л	C <sub>вых</sub> , мг/л	СОЕ*, мг/г	
Медь	0,66	0,001	90	0,132	3,8	0,000	0,75	0,001
Железо	1,14	0,009	5	0,227	9,87	0,006	1,95	0,1
Марганец	0,82	0,005	60	0,163	0,066	0,01	0,011	0,01
Цинк	1,61	0,008	20	0,321	2,36	0,008	0,464	0,01
Свинец	0,9	0,001	5	0,313	3,893	0,001	0,77	0,006

*Примечание.* C<sub>исх</sub> – исходная концентрация ионов металлов

C<sub>вых</sub> – концентрация металлов после взаимодействия с сорбентом

T – продолжительность контакта раствора с сорбентом

СОЕ – статическая обменная емкость

СОЕ\* – статическая обменная емкость, соответствующая ПДК<sub>р.х</sub>

ПДК<sub>р.х</sub> – предельно допустимая концентрация вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения

ионов тяжелых металлов вызвали необходимость более подробного изучения их свойств. Ниже представлены физико-химические характеристики исходных компонентов и полученного из них сорбента.

Химический состав компонентов был определен методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии на аппарате EDX 8000 Shimadzu. Основными составляющими белой, желтой глин и доломита являлись соответственно:

- оксид кремния SiO<sub>2</sub> – 68,7; 59,9; 17,2 %;
- оксид кальция CaO – 13,6; 0,55; 70,2 %;
- оксид железа Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 8,6; 1,6; 8,3 %;
- оксид алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – отс., 35,2 %, отс.
- оксид калия K<sub>2</sub>O – 3,73; 1,3; 1,79 %.

Также в состав желтой глины входил оксид алюминия Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 35,2 %.

Из данных химического анализа следует, что белая глина относится к железисто-кальциевой форме монтмориллонита, а желтая глина – к алюминиевой разновидности монтмориллонита. Наличие оксидов K<sub>2</sub>O свидетельствует о существенной доле гидрослюд в сырье. Согласно классификации ГОСТ 9169-92 «Сырье глинистое для керамической промышленности», желтая глина по содержанию оксидов Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> относится к основным, а белая глина – к кислым.

Анализ частиц белой и желтой глин после размолла методом лазерной дифракции на аппарате SALD-2300 Shimadzu показал, что их средний размер составил 0,4 нм (рис. 1). Размер практически всех частиц лежал в диапазоне от

0,2 до 3 нм, и 94 % частиц имели размер менее 1 нм. По классификации ГОСТ 9169-92 такие глины относят к высокодисперсным.

Для определения плотности готового сорбента использовали метод гидростатического взвешивания на весах НТ 224RCE с комплектом НТР. Для этого гранулу сорбента сначала взвешивали на воздухе, а затем в жидкости (в воде), по разности масс рассчитывали плотность материала. При этом учитывали температуру жидкости. Плотность образца составила 1,8 г/см<sup>3</sup>.

Для исследования структуры и особенностей морфологии нового сорбента использовали метод сканирующей электронной микроскопии на аппарате JEOL 6000. Визуально определенный размер макропор составил не более 1 мкм (рис. 2). Можно сказать, что образец по своей структуре пор относится к губчатым телам, так как невозможно выделить отдельные первичные частицы, а их слияние создало сеть каналов и полостей различной формы и перемного сечения.

Важной особенностью образца являлось то, что после взаимодействия с водой сорбент не сохранял свою гранулированную форму. В течение 5–10 мин гранулы увеличивались в размере, набухали и рассыпались. Для отделения частиц сорбента от воды использовался бумажный фильтр – синяя лента.

Для химического анализа поверхности готового сорбционного образца использовали спектрометр IRTracer-100 Shimadzu. ИК-спектры представлены на рис. 3.

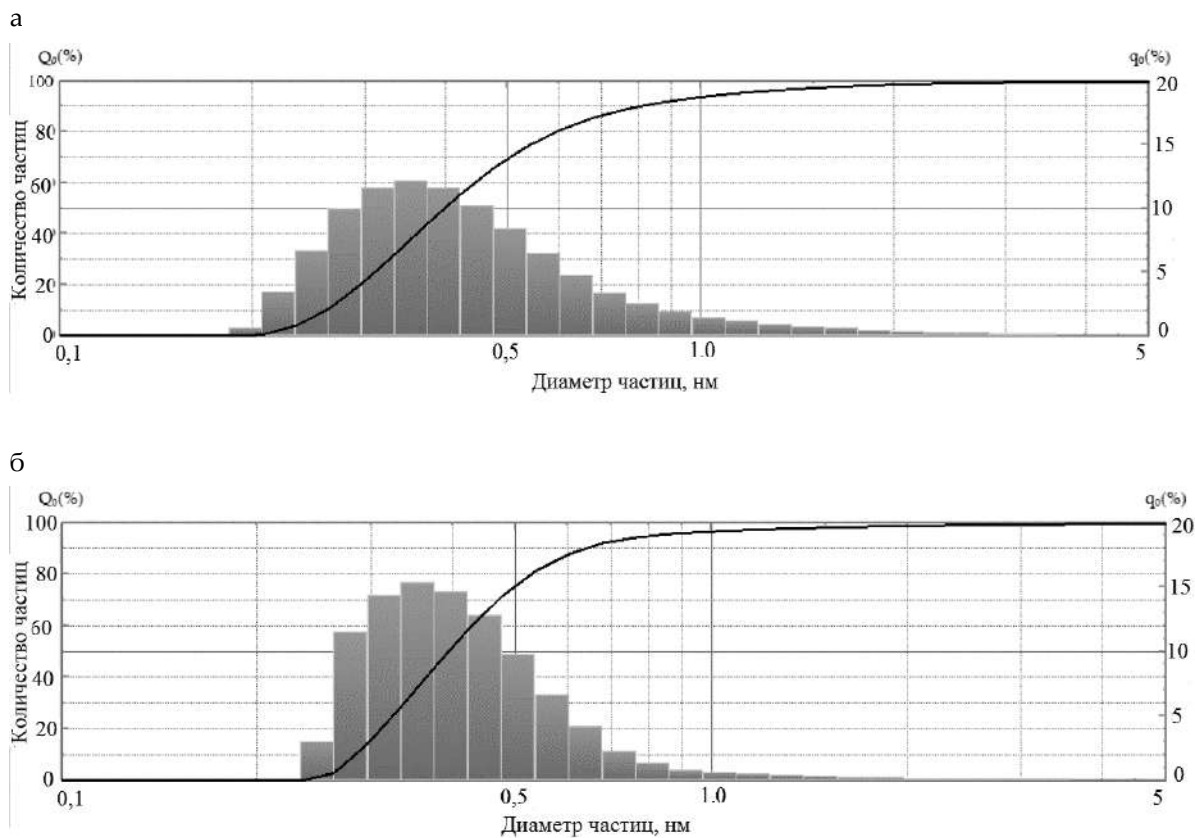


Рис. 1. Результаты распределения частиц белой (а) и желтой глин (б) по размерам частиц

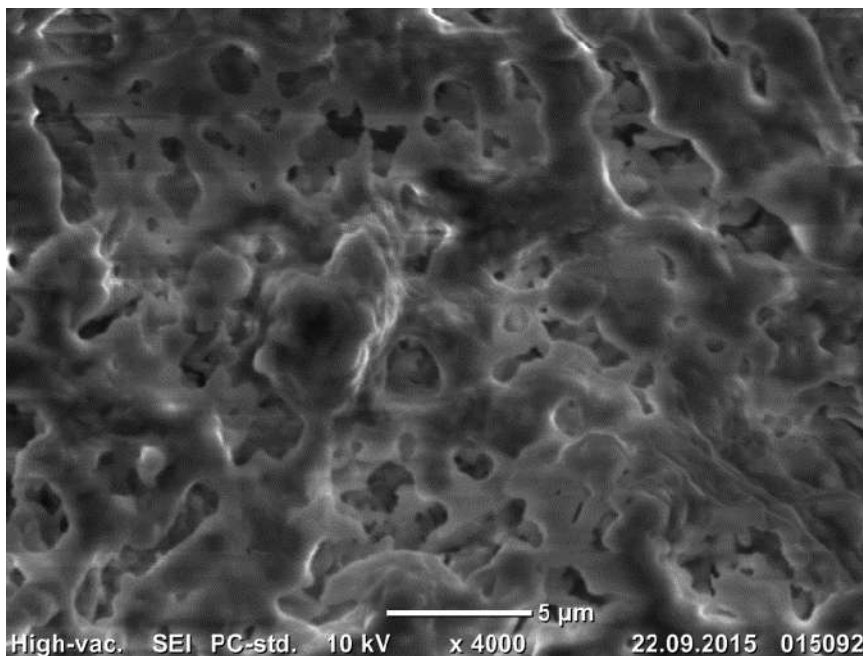


Рис. 2. Микрофотография поверхности гранулированного сорбента на основе модифицированной глины, увеличение 4×103

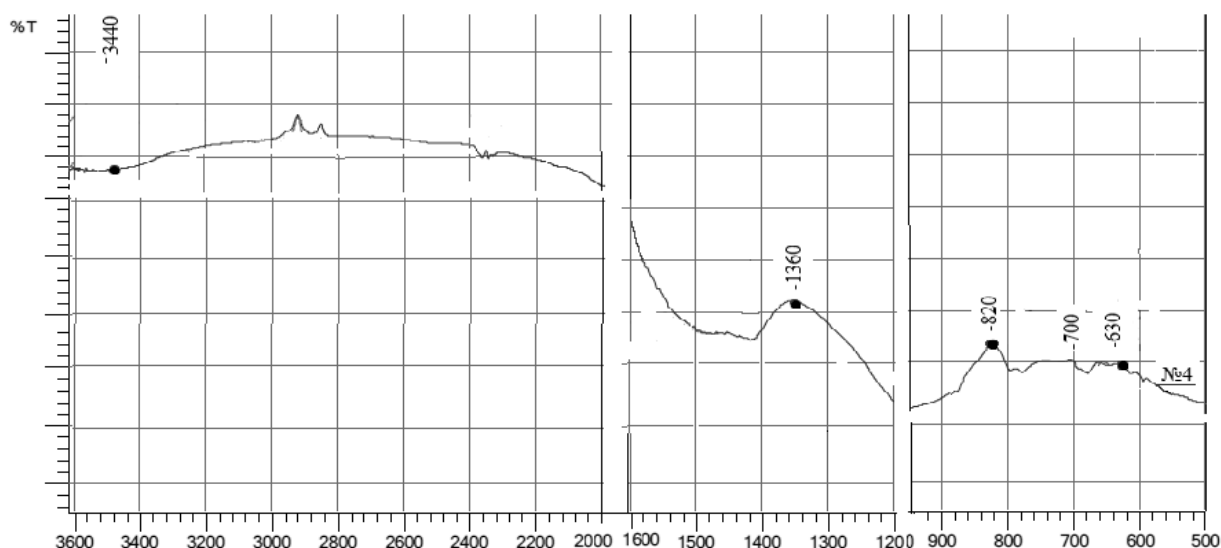


Рис. 3. ИК-спектры сорбционных материалов

Для образца были характерны спектры повышенного поглощения в диапазоне 600–650, 700, 820, 1360  $\text{см}^{-1}$  и пониженного поглощения в области 900 – 1200  $\text{см}^{-1}$  и 3400  $\text{см}^{-1}$  (на рис. 3 выделены точками). Форма полос и интенсивность говорят о наличии определенных силикатных и алюмосиликатных молекулярных группировок в различных состояниях. Основные полосы относятся к валентным связям кремния с кислородом и водорода с кислородом. Выраженная широкая полоса (плечо) от 900 до 1200  $\text{см}^{-1}$  соответствует валентным колебаниям Si-O-Si в тетраэдрах кремнекислородного каркаса. Появление слабой полосы поглощения при 630  $\text{см}^{-1}$  может соответствовать колебаниям связи Fe-OH в FeO-OH. Пики в области 800  $\text{см}^{-1}$  в образцах можно объяснить связями Si-O-Si (Al) с искажением тетраэдрических и октаэдрических слоев. Полоса в интервале 780-820  $\text{см}^{-1}$  отвечает колебаниям Si-O-Si колец из  $\text{SiO}_4$  тетраэдров. Сниженное поглощение ~1420  $\text{см}^{-1}$ , соответствующее деформационным колебаниям групп  $\text{OH}^-$  в вершинах кремнекислородных тетраэдров, является отличительной особенностью силикатов. Растянутая полоса со снижением в интервале 3400  $\text{см}^{-1}$  относится к валентным и деформационным колебаниям свободной и связанной воды молекулы  $\text{OH}^-$ .

Можно сказать, что размол исходных компонентов в шаровой мельнице увеличивает нарушенные связи на краях алюмосиликатных групп, увеличивает число нескомпенсированных зарядов, которые уравновешиваются адсорбированными катионами (630  $\text{см}^{-1}$  спектр излучения, свойственный для связей Si-O-Si (Al)). Замещение внутри

структуры четырехвалентного кремния в тетраэдрических слоях алюминием, с последующим замещением трехвалентного алюминия в октаэдрических слоях катионами низшей валентности, увеличивает отрицательные заряды в структурной ячейке, которые в свою очередь хорошо присоединяют катионы металлов из растворов (820  $\text{см}^{-1}$  спектр излучения). Характерный спектр излучения 1360  $\text{см}^{-1}$  отвечает за наличие наружного гидроксила, который переходит в раствор, увеличивая pH среды.

**Выводы.** 1. Химический состав исходных компонентов показал, что желтая глина относится к алюмосиликатной, а белая – к железисто-кальциевой формам монтмориллонита. Средний размер частиц глин после предварительной подготовки и размола – 0,1 нм, что относит их к высокодисперсным материалам. Плотность готового гранулированного образца составила  $1,8 \pm 0,02 \text{ г/см}^3$ .

2. Проведенные химические исследования исходных компонентов и ИК-спектроскопия готового образца показали высокое процентное содержание оксидов кремния и алюминия, способных к ионному обмену, что наряду с развитой удельной поверхностью исходных компонентов подтвердили ионообменный и физический характер сорбции ионов тяжелых металлов.

3. Размол компонентов приводил к разрушению мостиковых связей кристаллических решеток и к появлению дополнительных нескомпенсированных отрицательных зарядов на ее концах, что увеличивало сорбционную способность и скорость взаимодействия сорбента с раствором. Также отрицательным зарядом



полученного образца можно объяснить избирательность к положительно заряженным ионам тяжелых металлов.

4. Отсутствие механической прочности при взаимодействии гранул сорбента с водой требует последующего отделения частиц материала от очищенной воды.

4. Степанов С.В., Панфилова О.Н., Абдугаффарова К.К. Доочистка сточных вод от ионов тяжелых металлов на основе модифицированных глин // Водоснабжение и санитарная техника. 2018. №1. С. 46–50.

5. Гельфман М.И., Ковалевич О.В., Юстратов В.П. Коллоидная химия. М.: Лань, 2017. 336 с.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Wu X.L., Zhao D., Yang S.T. Impact of solution chemistry conditions on the sorption behavior of Cu(II) on Lin'an montmorillonite // Desalination. 2011. n. 2. Pp. 84.

2. Rajani Srinivasan. Advances in Application of Natural Clay and Its Composites in Removal of Biological, Organic, and Inorganic Contaminants from Drinking Water. Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering Volume. 2011. Pp. 17.

3. Yan L., Shan X., Wen B., Owens G. Adsorption of cadmium onto Al13-pillared acid activated montmorillonite // Journal of Hazardous Materials. 2008. № 156. Pp. 499.

Об авторах:

### СТЕПАНОВ Сергей Валериевич

доктор технических наук, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)242-37-63  
E-mail: stepanovsv3@yandex.ru

### STEPANOV Sergey V.

Doctor of 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)242-37-63  
E-mail: stepanovsv3@yandex.ru

### ПАНФИЛОВА Ольга Николаевна

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)333-56-76  
E-mail: samoliasgsy@yandex.ru

### PANFILOVA Olga N.

Postgraduate Student 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)333-56-76  
E-mail: samoliasgsy@yandex.ru

### АБДУГАФФАРОВА Кристина Камильевна

инженер НИО-5 НИИПТ Тольяттинский государственный университет 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел. (8482)539-421  
E-mail: a.abdugaffarova@gmail.com

### ADDUGAFFAROVA Kristina K.

Engineer, NIO-5 NIIPТ Togliatti State University 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14, tel. (8482)539-421  
E-mail: a.abdugaffarova@gmail.com

Для цитирования: Степанов С.В., Панфилова О.Н., Абдугаффарова К.К. Физико-химические свойства нового сорбента на основе глин // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 52–56. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.9.

For citation: Stepanov S.V., Panfilova O.N., Abdugaffarova K.K. Physico-chemical properties of a new clay-based sorbent // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 52–56. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.9.

**А. К. СТРЕЛКОВ  
Ю. Н. ЗОТОВ  
И. Ю. МИХАЙЛОВА**

## **КВАРТИРНЫЙ РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ С УЛУЧШЕННОЙ ВОДОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ**

HOUSING PRESSURE REGULATOR WITH IMPROVED WATER-SAVING CHARACTERISTICS

*Рассмотрены вопросы, связанные с проблемой уменьшения непроизводительных потерь воды в системах холодного и горячего водоснабжения многоквартирных домов. Показана недостаточная эффективность применения известных водосберегающих устройств, снижающих непроизводительные расходы, причиной которых является противоречие между требованиями рациональности и обеспечения максимальной потребности в коммунальной услуге водоснабжения. Разработаны рекомендации по совершенствованию конструкции поршневого квартирного регулятора давления «после себя», обеспечивающего снижение непроизводительных расходов. Приведены результаты экспериментального исследования регулятора давления с улучшенной водосберегающей характеристикой.*

**Ключевые слова:** квартирный регулятор давления, непроизводительные расходы, многоквартирный дом

*The issues related to the problem of reducing unproductive water losses in the systems of cold and hot water supply of apartment buildings are considered in the article. The insufficient efficiency of application of known water-saving devices, reducing overhead costs, the cause of which is the contradiction between the requirements of rationality and ensuring the maximum demand for a public water supply service, is shown. The recommendations for improving the design of the piston apartment pressure regulator "after itself", ensuring a reduction in non-productive costs are developed. The results of an experimental study of a pressure regulator with an improved water-saving characteristic are presented.*

**Keywords:** housing pressure regulator, overhead costs, multi-family house

Рациональное использование воды и энергетических ресурсов во внутренних системах холодного и горячего водоснабжения многоквартирных домов (МКД) достигается посредством реализации энергосберегающих мероприятий, конечной целью которых является рациональное использование воды и энергетических ресурсов.

Водопотребление в МКД принято разделять на полезное использование и потери воды. Потери воды формируются под влиянием различных факторов, имеющих технический, временной и социальный характер [1]. Основными видами потерь воды технического характера являются: утечки воды, сливы недогретой или остывшей горячей воды, непроизводительные расходы.

Наиболее существенным видом потерь в МКД, исследование которых имеет значение для конструирования санитарно-технической арматуры и оборудования, а также проектирования внутренних систем холодного и горячего водоснабжения, являются непроизводительные расходы воды. Непроизводительные расходы, являющиеся неотъемлемой частью общего расхода через санитарно-техническую арматуру, – это объем воды, вытекающий из излива арматуры, который не участвует в удовлетворении потребителя в воде. Основной причиной образования этих расходов являются величины

давления перед санитарно-технической арматурой, превышающие проектные величины давления [1, 2]. Повышенное давление перед арматурой приводит к снижению ее регулирующей способности и существенному увеличению бесполезных расходов воды. На рис. 1 представлены графики изменения расхода воды через кран при его открытии и различных давлениях [1].

Все известные технические мероприятия, уменьшающие непроизводительные расходы, предусматривают применение:

- устройств (аэраторы, шайбы и пр.), устанавливаемых на подводках перед водоразборным устройством, которые повышают их гидравлические сопротивления, снижая при этом производительность арматуры;
- квартирных регуляторов давления (КРД), которые снижают давление перед водоразборными приборами и выравнивают давление на входах в квартиры, расположенных на разных этажах МКД.

Применение устройств, снижающих производительность водоразборной арматуры, противоречит требованию к внутренним системам водоснабжения как части коммунальной инфраструктуры, так как располагаемая производительность систем должна обеспечивать

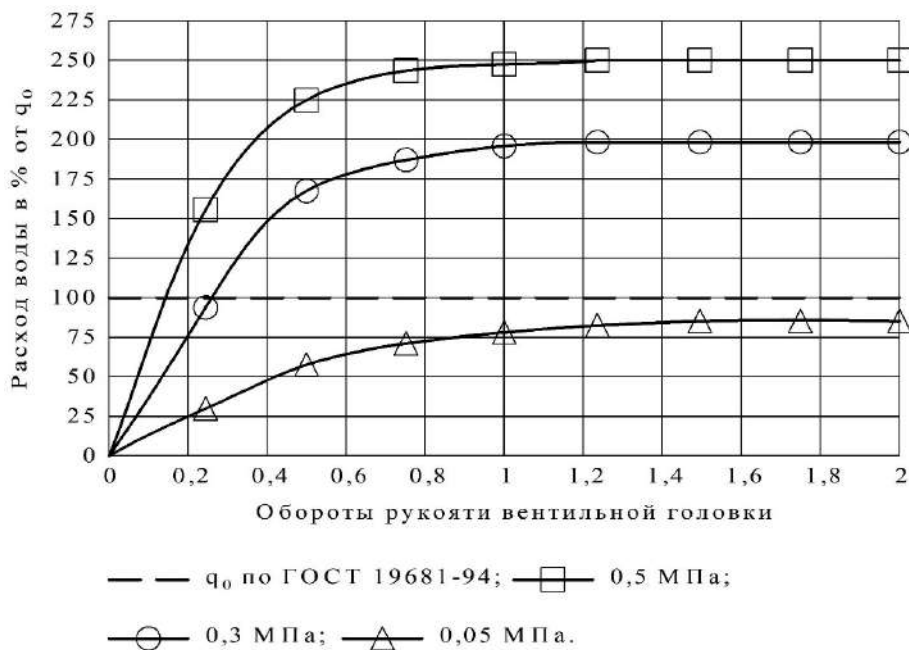


Рис. 1. Графики изменения расхода воды через кран при постепенном его открывании и различных давлениях

удовлетворение максимальной потребности в соответствующей коммунальной услуге в любой момент времени [3–6].

Применение КРД, имеющих фиксированную настройку исходя из максимальных расходов в системах водоснабжения МКД, эффективно только для периодов водопотребления в часы утреннего или вечернего максимумов – с 7.00 до 9.00 или с 19.00 до 22.00 соответственно. В остальное время (при величинах расходов меньше максимального значения) избыточное давление у водоразборных приборов будет больше нормативных величин, а непроизводительные расходы воды возрастают.

Квартирные регуляторы давления (регуляторы давления «после себя») работают по принципу выравнивания усилий (рис. 2): усилие, создаваемое давлением воды на золотник и поршень, уравновешивается усилием, оказываемым пружиной на поршень:

$$(S_3 + S_n) \cdot p_{\text{вых}} = (L_0 - L_x) \cdot k,$$

где  $S_3$  и  $S_n$  – площади золотника и поршня соответственно;  $p_{\text{вых}}$  – давление после регулятора;  $L_0$  и  $L_x$  – длины пружины в ненагруженном и нагруженном состояниях соответственно;  $k$  – жесткость пружины.

Вода, имеющая давление  $p_{\text{вх}}$ , попадая во входную камеру, воздействует с одинаковой силой на золотник и на нижнюю поверхность поршня [7]. Сила упругости пружины поддер-

живает редуктор в открытом положении до тех пор, пока давление воды  $p_{\text{вых}}$ , воздействующее на верхнюю поверхность поршня и золотник, не сравняется с настроечным давлением КРД. В этот момент золотник начинает перекрывать отверстие между входной и выходной камерами, увеличивая местное сопротивление и снижая величину выходного давления до заданного уровня.

При проектировании величина выходного давления (настроечное давление КРД) определяется исходя из величин: статического давления на входе в регулятор; гидравлических потерь в системе после регулятора до расчетных водоразборных приборов при максимальном расходе воды; требуемого (максимального) избыточного давления у диктующего водоразборного прибора.

Рекомендации по выбору величин основных параметров квартирных регуляторов давления, обеспечивающих выполнение нормативных показателей объемных расходов и давлений при эксплуатации систем водоснабжения и безопасности использования сантехнических приборов, установлены ГОСТ Р 55023-2012 «Арматура трубопроводная. Регуляторы давления квартирные. Общие технические условия»: выходное давление в диапазоне рабочих объемных расходов от 0,05 до 0,5 л/с и рабочих давлений от 0,4 МПа до номинального давления (PN)  $p_{\text{вых}} = 0,27 \pm 0,02$  МПа; градиент изменения давления за регулятором при изменении расхода на величину 0,05 л/с в диапазоне рабочих объемных

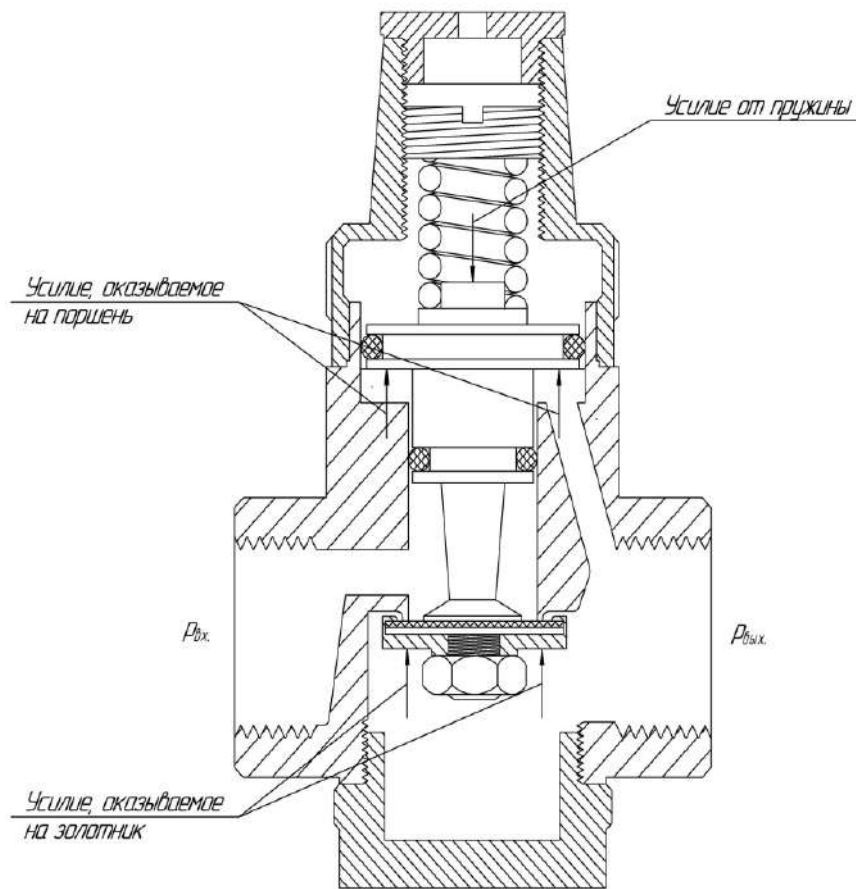


Рис. 2. Схема КРД в положении «закрыто»

расходов от 0,05 до 0,5 л/с и рабочих давлений от 0,3 МПа до номинального давления ( $P_N$ )  $\Delta p_{\text{вых}} < 0,004$  МПа; давление за регулятором при безрасходном режиме  $p_{\text{ор}} = 0,35$  МПа.

Следует отметить, что для всех известных поршневых КРД величины площадей затворника и поршня, а также величина жесткости пружины для каждого типоразмера являются постоянными величинами, что является их существенным с точки зрения водосбережения недостатком, так как большее давление после регулятора при расходах меньше настроечного (максимального) снижает эффект водосбережения.

Проведенные на кафедре водоснабжения и водоотведения Академии строительства и архитектуры Самарского государственного технического университета (АСА СамГТУ) теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать КРД «после себя» с улучшенной водосберегающей характеристикой [8] (рис. 3).

В отличие от существующих КРД предложенный (модифицированный) регулятор содержит в верхней части корпуса 1, в плоскости, перпендикулярной оси поршня 4, кольцевую канавку 14, в которой установлено эластичное

кольцо 15. Такое конструктивное решение позволяет изменять площадь поршня, на которую оказывается давление воды после регулятора при величинах расходов меньше максимального значения. Как следствие этого, снижается величина давления за регулятором. Кольцевая канавка при этом выполнена таким образом, чтобы обеспечивать заданную деформацию эластичного кольца при полностью открытом клапане. Сила деформации эластичного кольца, в силу ее малости по сравнению с силами, действующими на поршень, в уравнении равновесия регулятора не учитывается.

У КРД с улучшенной водосберегающей характеристикой возможно три характерных положения поршня:

- поршень находится в верхнем положении и не соприкасается с эластичным кольцом (рис. 4, а);
- поршень находится в промежуточном положении и касается верха эластичного кольца, но не деформирует его (рис. 4, б);
- поршень находится в нижнем положении и полностью деформирует эластичное кольцо (рис. 4, в).

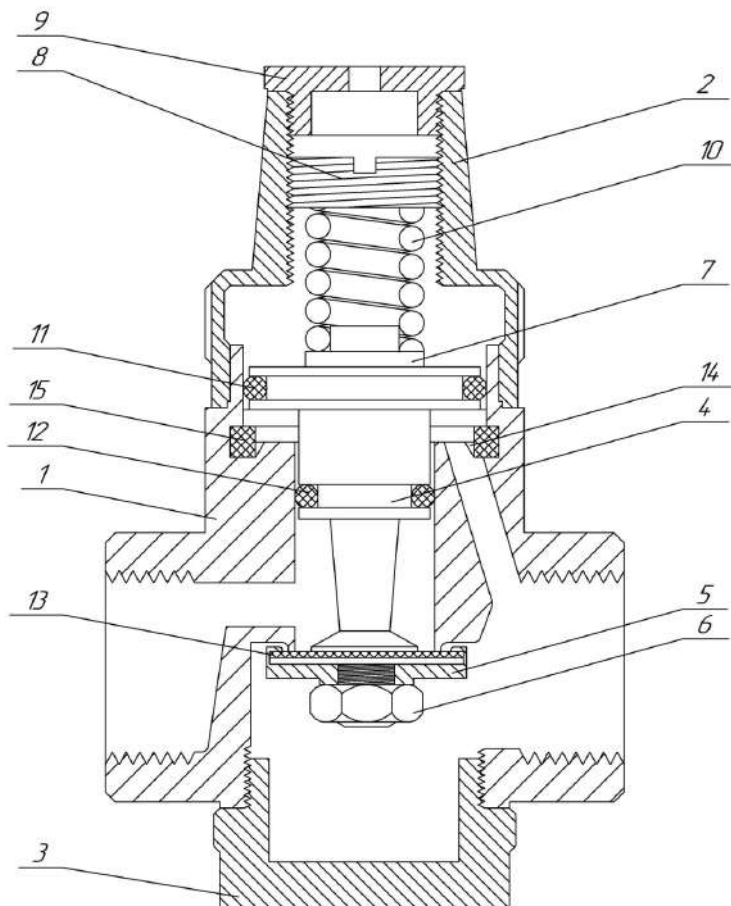


Рис. 3. Квартирный регулятор давления:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – пробка; 4 – поршень; 5 – золотник; 6 – гайка; 7 – упорный конус; 8 – гайка настройки; 9 – защитный колпачок; 10 – пружина; 11 – уплотнительное кольцо большое; 12 – уплотнительное кольцо малое; 13 – прокладка золотника; 14 – кольцевая канавка; 15 – эластичное кольцо

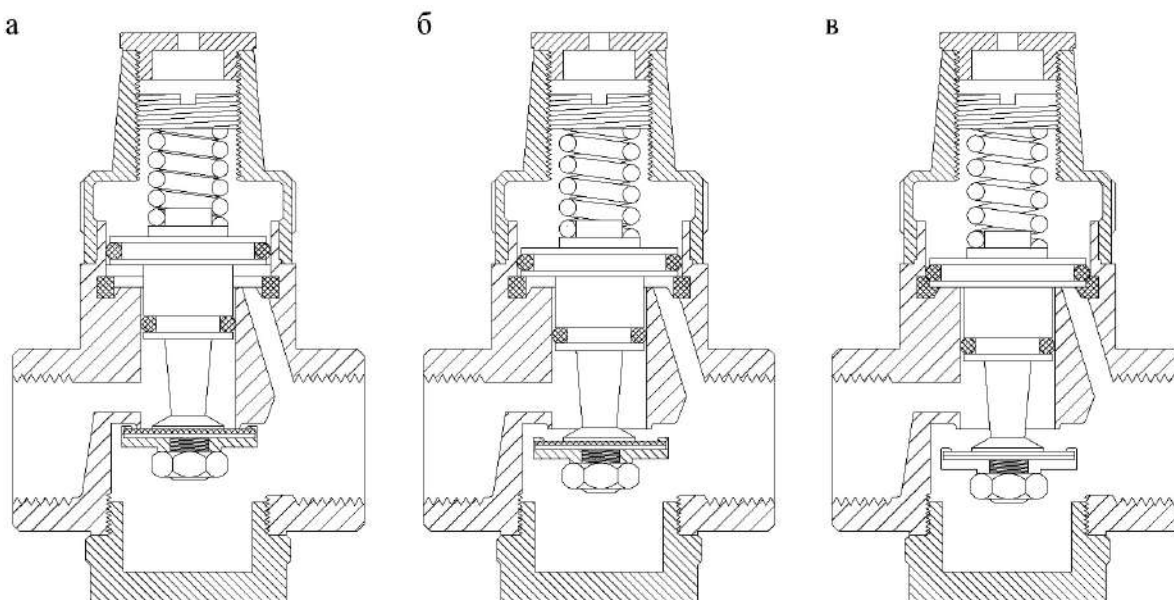


Рис. 4. КРД с улучшенными водосберегающими характеристиками:

а – регулятор закрыт; б – регулятор приоткрыт; в – регулятор полностью открыт

Квартирный регулятор давления с улучшенной водосберегающей характеристикой при открытии и закрытии работает следующим образом.

**Фаза открытия.** При увеличении расхода воды (открытие водоразборного прибора) давление воды за клапаном будет уменьшаться, при этом усилие, оказываемое водой на поршень (см. рис. 3), также будет снижаться, что обеспечит перемещение штока вниз в сторону открытия. В промежутке между первым и вторым характерными положениями поршня уравнение равновесия регулятора будет выглядеть следующим образом:

$$(S_3 + S_n) \cdot p_{\text{вых}} = (L_0 - L_x) \cdot k.$$

Как только поршень достигнет верха эластичного кольца, то величина площади поршня, на которую оказывается давление воды, уменьшится на величину площади эластичного кольца  $S_{\text{э.к.}}$ . Усилие, которое создает вода на поршень, уменьшится на величину произведения площади эластичного кольца на давление воды ( $S_{\text{э.к.}} \cdot p_n$ ). Уравнение равновесия регулятора будет выглядеть следующим образом:

$$(S_3 + S_n - S_{\text{э.к.}}) \cdot p_{\text{вых}} = (L_0 - L_x) \cdot k.$$

Уменьшение усилия, создаваемого давлением воды на золотник и поршень, приведет к удлинению пружины, а вместе с ней и открытию клапана, при этом клапан при дальнейшем открытии будет работать с большим давлением «после себя» при том же расходе.

В промежутке между вторым и третьим характерными положениями поршня уравнение равновесия регулятора будет выглядеть следующим образом:

$$(S_3 + S_n - S_{\text{э.к.}}) \cdot p_{\text{вых}} = (L_0 - L_x) \cdot k.$$

**Фаза закрытия.** При уменьшении расхода воды через регулятор давления (закрытие водоразборного прибора) давление воды за клапаном будет увеличиваться, при этом уравнение равновесия поршня будет выглядеть следующим образом:

$$(S_3 + S_n - S_{\text{э.к.}}) \cdot p_{\text{вых}} = (L_0 - L_x) \cdot k.$$

Вместе с ростом давления будет происходить смещение поршня вверх и закрытие клапана. Когда поршень дойдет до верха эластичного кольца, то в этот момент вода попадет в пространство между верхней частью кольца и поршнем и при этом усилие, которое создает вода на поршень, возрастет на величину произведения

площади эластичного кольца на давление воды ( $S_{\text{э.к.}} \cdot p_n$ ). Уравнение равновесия регулятора будет выглядеть следующим образом:

$$(S_3 + S_n) \cdot p_{\text{вых}} = (L_0 - L_x) \cdot k.$$

В результате, при достижении положения поршня до момента отрыва от эластичного кольца, произойдет резкое перемещение поршня вместе с золотником вверх, вплоть до момента уравнивания силы упругости пружины усилием на поршень и золотник, что будет соответствовать меньшему давлению после регулятора.

Оценка эффективности конструктивного решения была проведена при испытании двух КРД – стандартного и модифицированного (содержащего эластичную вставку, выполненную в соответствии с патентом на полезную модель № 185578) регулятора давления прямого действия поршневого VT.087 фирмы VALTEC.

На рис. 5 представлена фотография корпуса модифицированного КРД.

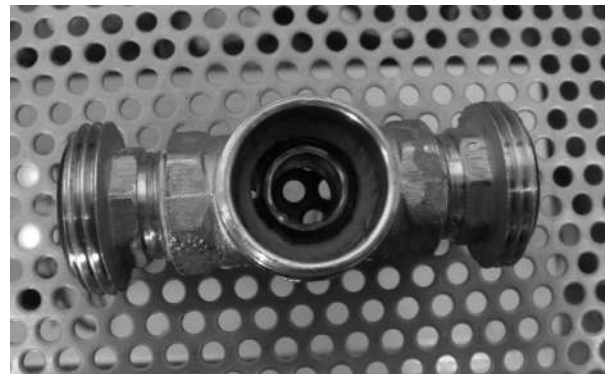


Рис. 5. Корпус модифицированного КРД

Испытания стандартного и модифицированного КРД проведены на гидравлическом стенде (рис. 6).

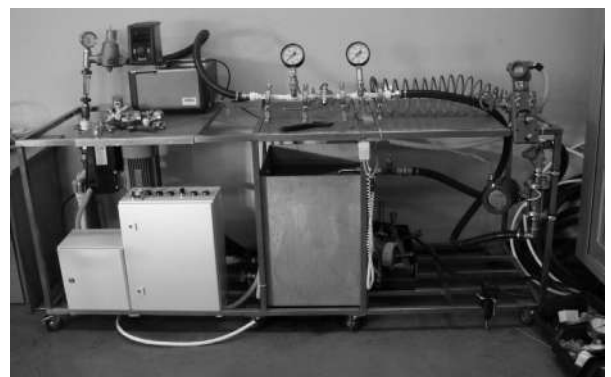


Рис. 6. Испытательный стенд фирмы VALTEC

Принципиальная схема участка испытательного стенда и его фотография представлены на рис. 7 и 8.

Испытания КРД проведены по стандартной методике (ГОСТ Р 55023-2012) с учетом норматива UNI EN 1576-2002 в следующей последовательности:

– на входе КРД устанавливалось давление воды  $P_{вх} = 0,6$  МПа;

– на выходе КРД проводилось измерение воды  $P_{вых}$  при фиксированных расходах через регулятор: 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,45; 0,40; 0,35; 0,30; 0,25; 0,20; 0,15; 0,10; 0,05 л/с.

В целях корректного доказательства результата технического решения, оба сравниваемых регулятора были настроены на выходное давление  $p_{вых} = 0,2$  МПа. По результатам испытаний были построены зависимости  $p_{вых} = f(q)$  при  $p_{вх} = 0,6$  МПа (рис. 9).

Результаты экспериментального исследования подтвердили правильность выбранного конструктивного решения по доработке КРД в части снижения давления за ним при величинах расходов, меньших максимального расхода.

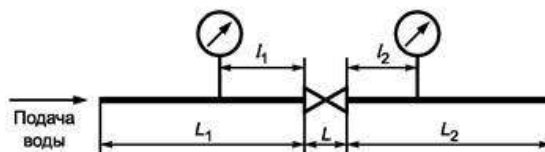


Рис. 7. Схема участка испытательного стенда:  $L_1 \geq 5 \cdot d$ ;  $L_2 \geq 10 \cdot d$ ;  $l_1 = 2 \cdot d$ ;  $l_2 = 4 \cdot d$



Рис. 8. Участок испытательного стенда

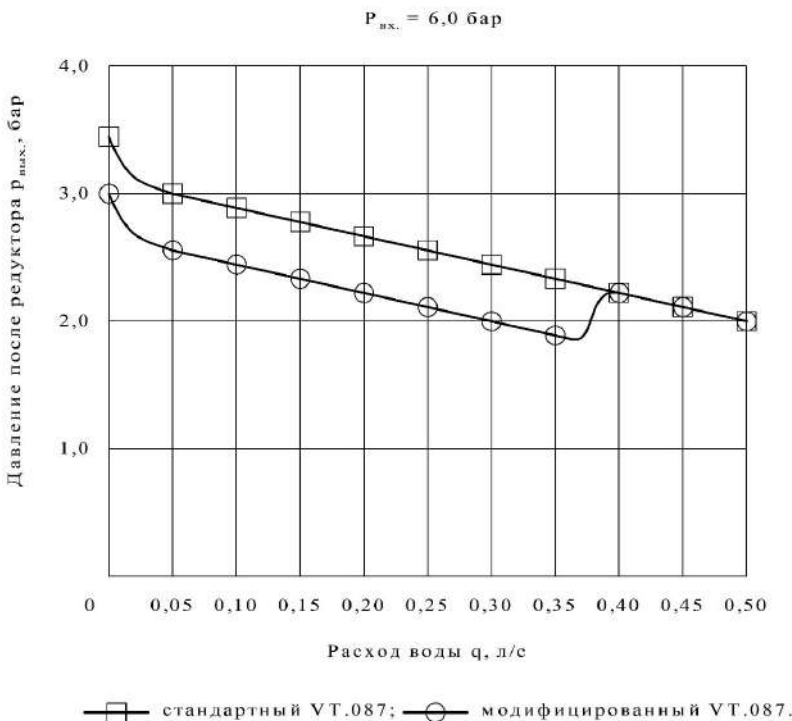


Рис. 9. Графики зависимости давления за КРД от расхода при постоянном входном давлении (фаза закрытия)

**Выводы.** 1. Нормативное требование к внутренним системам водоснабжения в части необходимости обеспечения удовлетворения максимальной потребности в соответствующей коммунальной услуге в любой момент

времени нивелирует эффективность применения известных технических решений, уменьшающих непроизводительные расходы воды через водоразборные приборы в процессе их эксплуатации.

2. Использование предложенного КРД с улучшенной водосберегающей характеристикой позволяет снизить давление при расходах меньше максимального и, как следствие этого, уменьшить непроизводительные расходы воды через водоразборные приборы в процессе их эксплуатации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Свинцов А.П.* Устранение потерь воды в системах водоснабжения жилых зданий. М.: Изд-во РУДН, 2001. 139 с.
2. *Свинцов А.П., Мукарзель С.А., Рысьев Д.А.* Расходные характеристики водоразборной арматуры // Сантехника. 2005. № 6. С. 62 – 67.
3. *Сиваков С.Б., Трутнев Э.К., Прокофьев В.Н.* Государственная поддержка жилищного строительства и развитие коммунальной инфраструктуры. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2013. 264 с.
4. *Ларин С.Н.* Жилищно-коммунальные услуги: специфические свойства и экономическая сущность // Бюллетень науки и практики. 2017. № 6 (19). С. 231 – 238.

5. *Шувалов М.В.* Диалектика совокупности теоретических, методологических и нормативных положений, применяемых для проектирования канализаций поселений // Градостроительство и архитектура. 2018. № 2. С. 35 – 45. DOI:10.17673/Vestnik.2018.02.6.

6. *Стрелков А.К., Зотов Ю.Н., Михайлова И.Ю.* Взаимосвязь технического регулирования в строительстве с правовым регулированием деятельности в сфере жилищно-коммунального хозяйства // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей /под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2018. С. 201 – 204.

7. Технический паспорт изделия VALTEC модель VT.087 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.valtec.ru/document/technical/VT.087-0717.pdf>. (дата обращения: 12.05.2018).

8. Пат. на полезную модель № 185578 Российская Федерация, МПК G05D 16/08. Регулятор давления квартирный / А.К. Стрелков, Ю.Н. Зотов, И.Ю. Михайлова; заявитель и патентообладатель СамГТУ. № 2018124426; заявл. 03.07.2018; опубл. 11.12.2018, бюл. № 35-2018. 1 с.

Об авторах:

### СТРЕЛКОВ Александр Кузьмич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 339-14-11  
E-mail: a19400209@yandex.ru

### STRELKOV Alexander K.

Doctor of 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) 339-14-11  
E-mail: a19400209@yandex.ru

### ЗОТОВ Юрий Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 339-14-76  
E-mail: nauka\_zotov@mail.ru

### ZOTOV Yury 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. (846) 339-14-76  
E-mail: nauka\_zotov@mail.ru

### МИХАЙЛОВА Ирина Юрьевна

инженер общепольничного немедицинского персонала Самарская областная детская клиническая больница имени Н.Н. Ивановой 443079, Россия, г. Самара, ул. Карла Маркса, 165-А, тел. (846) 207-30-43  
E-mail: vk-sgasu.zotova@yandex.ru

### MIKHAYLOVA Irina Yu.

Engineer, General Hospital Nonmedical Staff Samara Regional Children's Clinical Hospital named after N.N. Ivanova tel. (846) 207-30-43  
E-mail: vk-sgasu.zotova@yandex.ru

Для цитирования: *Стрелков А.К., Зотов Ю.Н., Михайлова И.Ю.* Квартирный регулятор давления с улучшенной водосберегающей характеристикой // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 1. С. 57–63. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.10.

For citation: *Strelkov A.K., Zotov Yu.N., Mikhaylova I.Yu.* Housing Pressure Regulator with Improved Water-Saving Characteristics // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 57–63. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.10.



М. В. ШУВАЛОВ

## ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ ПОСЕЛЕНИЯ И ЕЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ

STRUCTURE TOPOLOGICAL MODEL OF SEWAGE SYSTEMS SETTLEMENT AND ITS FUNCTIONAL DESCRIPTION

*Предложена топологическая модель структуры технической системы канализации поселения, которая отображена с помощью графов. Функциональное описание технической системы канализации поселения выполнено вербально и отражает многоуровневую иерархию функций системы канализации. Предложенная топологическая модель технической системы и ее функциональное описание позволяют выполнять анализ реальной системы канализации поселения и моделирование по решению задач модернизации и определения направления ее перспективного развития. Подробно описаны факторы, оказывающие влияние на совершенствование всех комплексов технологий системы канализации поселения, а также на выбор технологических решений на стадии архитектурно-строительного проектирования этих систем.*

**Ключевые слова:** бытовые (хозяйственно-фекальные) сточные воды, городские сточные воды, технологии сбора, отведения и очистки сточных вод, утилизации и захоронения их компонентов, топологическая модель системы канализации поселения, функциональное описание системы канализации поселения

Система канализации поселения является специализированной сложной технической системой, созданной человеком для удаления городских и поверхностных сточных вод, как правило за границы поселения, а также их обезвреживания. Общепринято рассматривать систему канализации поселения как совокупность взаимосвязанных элементов – инженерных сооружений: санитарно-технические приборы и приемники сточных вод, сети внутренней канализации зданий, наружные сети канализации, насосные станции, станции очистки сточных вод (в том числе сооружения для обеззараживания сточных вод и обработки осадков), выпуски сточных вод в водные объекты и другие сооружения. Наличие в поселениях промышленных предприятий обуславливает строительство на их территории станций очистки производственных сточных вод для возврата их на повторное использование и/или сброса в сети коммунальной канализации поселения или водные объекты.

Главная цель системы канализации поселения заключается в обеспечении благополу-

*A topological model of the structure of the technical system of sewage settlement, which is displayed using graphs, is proposed. The functional description of the settlement technical system is verbally executed and reflects a multi-level hierarchy of sewer system functions. The proposed topological model of a technical system and its functional description allow the analysis of the real sewerage system of a settlement and modeling to solve its modernization problems and determine the direction of its prospective development, taking into account the many internal and external factors and relations with the surrounding knowledge space and technology complexes. The factors influencing the improvement of all complexes of the settlement sewerage system, as well as the choice of technological solutions at the stage of architectural and construction design of these technical systems are described in detail.*

**Keywords:** household (household and faecal) wastewater, urban wastewater, technologies for collecting, diverting and treating wastewater, recycling and disposal of their components, topological model of the settlement sewage system, functional description of the settlement sewage system

чатных условий жизнедеятельности человека и относится к числу основных принципов охраны окружающей среды, установленных в Федеральном законе «Об охране окружающей среды» и в Водном кодексе РФ, в котором указано, что главным (первым по списку) принципом водного законодательства является «значимость водных объектов в качестве основы жизни и деятельности человека ...». Понятие «благоприятные условия жизнедеятельности человека – состояние среды обитания, при котором отсутствует вредное воздействие ее факторов на человека (безвредные условия) и имеются возможности для восстановления нарушенных функций организма человека» применяется в Федеральном законе № 52-ФЗ, который регулирует отношения в области обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения РФ.

Для получения возможности осуществлять моделирование процесса модернизации системы канализации поселения и определять перспективное направление развития технологий

канализования, систему канализации поселения предлагается рассматривать как совокупность взаимосвязанных компонентов – комплексов технологий:

- 1) сбора сточных вод;
- 2) отведения (или транспортирования) сточных вод;
- 3) очистки сточных вод и обработки осадков;
- 4) утилизации компонентов сточных вод;
- 5) захоронения компонентов сточных вод (в том числе сброс очищенных сточных вод в водные объекты).

На рис. 1 представлена топологическая модель структуры системы канализации поселения, состоящая из пяти отдельных взаимосвязанных компонентов – комплексов технологий. Технологии обеззараживания очищенных сточных вод и осадков, а также технологии по обработке осадков, образующихся в процессе очистки сточных вод, в данной модели входят в компонент (комплекс технологий), обозначаемый *очистка сточных вод и обработка осадков*, так как перечисленные процессы реализуются, как правило, на едином объекте – станции очистки сточных вод.

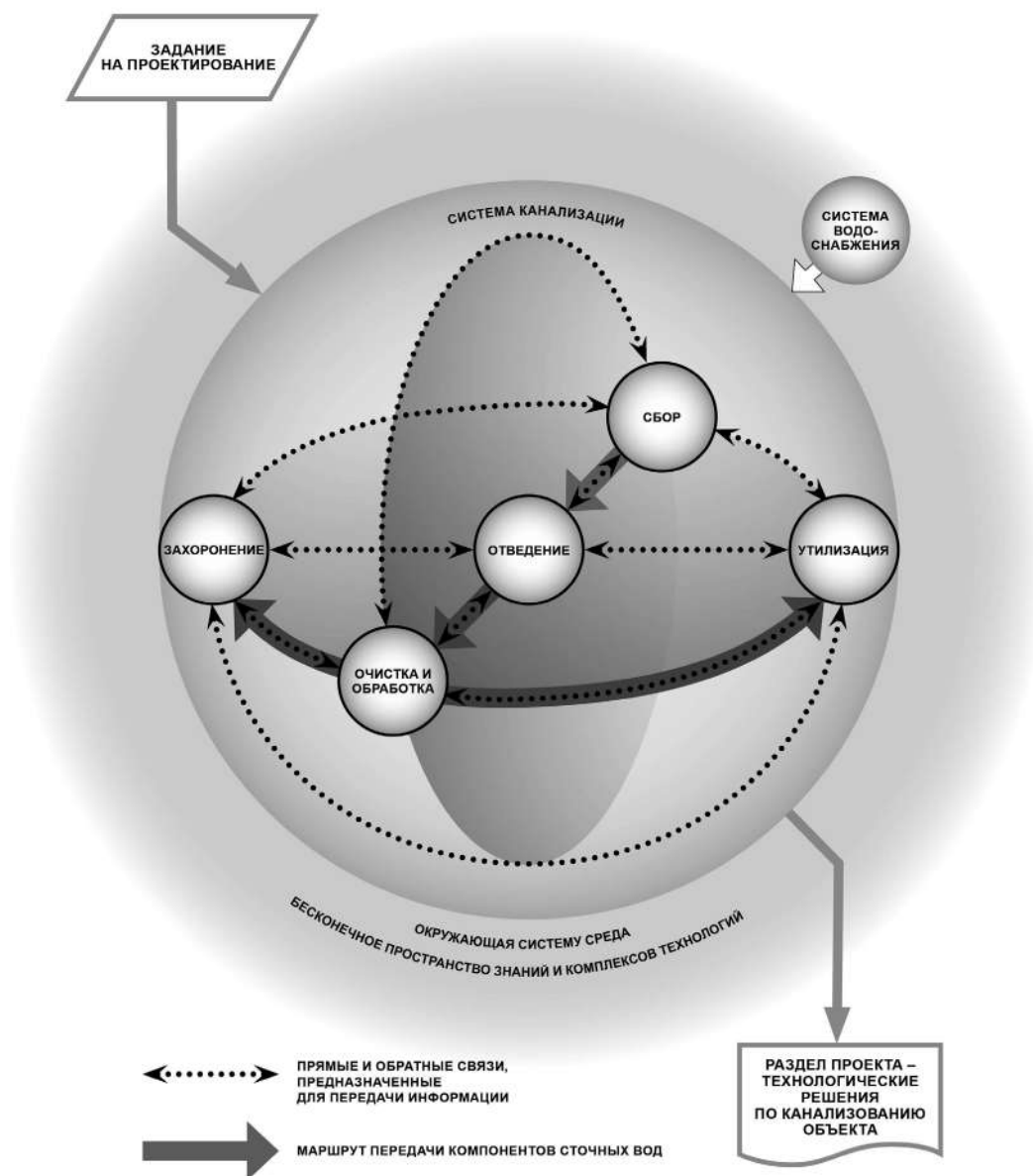


Рис. 1. Топологическая модель структуры системы канализации поселения

Разделение предложенной технической системы на составные компоненты выполнено на основе декомпозиции функций системы канализации поселения. Каждый компонент в модели технической системы представляет собой подсистему комплексов технологий, которые выполняют определенную функцию в границах целевой функции системы. Основная функция каждого компонента системы отражена непосредственно в названии соответствующего комплекса технологий. На рис. 2 представлено символическое отображение основных функций системы канализации поселения в виде лепестковой диаграммы.

Формирование многоуровневой модели функций системы канализации поселения выполнено на основе декомпозиции целевой функции и множества основных функций на более элементарные – вспомогательные функции системы, реализуемые на последующих уровнях декомпозиции за счет выбора и применения на стадиях архитектурно-строительного проектирования и эксплуатации системы канализации определенных конструктивных и технологических решений.

Описание системы канализации поселения на языке функций предлагается рассматривать в форме вербального описания иерархичной структуры следующих модулей функций.

*Целевая функция* системы канализации – обеспечение благоприятных условий жизнедеятельности человека при соблюдении принципов охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

*Основные (n) и вспомогательные (n.i) функции* системы канализации поселения:

1 Сбор сточных вод с помощью санитарно-технических приборов и внутренней канализации зданий с выпуском их в наружные сети и сооружения канализации.

1.1 Разделение и объединение потоков сточных вод по категориям и видам с целью обеспечения возможности применения на централизованных и/или локальных станциях технологий очистки воды и обработки осадков, позволяющих максимально утилизировать компоненты сточных вод.

1.2 Обеспечивать безопасность для здоровья людей при эксплуатации внутренней канализации зданий.



Рис. 2. Основные функции системы канализации поселения

1.3 Предотвращать утечки сточных вод из внутренней канализации зданий в окружающую среду.

1.4 Предотвращать утечки газов и запахов из внутренней канализации в помещениях зданий.

1.5 Создавать комфортные условия для потребителей при использовании санитарно-техническим оборудованием.

1.6 Обеспечивать для потребителей доступность по стоимости монтажа и эксплуатации санитарно-технического оборудования.

1.7 Обеспечивать надежность работы внутренней канализации зданий.

1.8 Обеспечивать ремонтпригодность всех элементов внутренней канализации зданий.

2 *Отводить (или транспортировать) сточные воды на станции очистки сточных вод и обработки осадков.*

2.1 Обеспечивать безопасность для здоровья людей при отведении сточных вод по наружным сетям канализации и транспортировании компонентов сточных вод иным способом.

2.2 Предотвращать утечки и эксфильтрацию сточных вод и их компонентов из элементов транспортной системы канализации (трубопроводных сетей и сооружений на них, транспортных средств и оборудования) в окружающую среду.

2.3 Обеспечивать для потребителей (абонентов) доступность по технологическим условиям подключения к транспортной системе канализации, а также по стоимости монтажа и эксплуатации нового оборудования.

2.4 Минимизировать ресурсоемкость и энергозатраты на транспортировку сточных вод.

2.5 Обеспечивать надежность (бесперебойность) работы наружных сетей канализации поселения и других элементов транспортной системы канализации.

2.6 Обеспечивать ремонтпригодность всех элементов транспортной системы канализации.

3 *Очищать сточные воды и обрабатывать осадки.*

3.1 Обеспечивать нормативное качество очистки сточных вод для повторного использования очищенных сточных вод или сброса их в водные объекты.

3.2 Минимизировать объемы отходов (осадков), получаемых в процессе обработки и очистки сточных вод.

3.3 Минимизировать негативное воздействие на окружающую природную и социальную среду.

3.4 Обеспечивать уровень (качество) обработки сточных вод и выделенных из них осадков, позволяющий применять технологии производства вторичной продукции из компонентов сточных вод.

3.5 Минимизировать ресурсоемкость и энергозатраты на осуществление очистки сточных вод и обработки осадков.

3.6 Обеспечивать рациональное использование природных ресурсов.

7 Обеспечивать надежность (бесперебойность) работы станций очистки сточных вод и обработки осадков в нормальных условиях и чрезвычайных ситуациях.

8 Минимизировать размеры санитарно-защитной зоны станций очистки сточных вод и обработки осадков.

9 Обеспечивать техническую возможность для планомерной модернизации станций очистки в условиях эволюции законодательных требований.

10 Обеспечивать ремонтпригодность всех видов оборудования, инженерных сетей, сооружений, строений и зданий на станциях очистки сточных вод и обработки осадков.

4 *Утилизировать компоненты сточных вод.*

4.1 Минимизировать негативное воздействие на окружающую природную и социальную среду.

4.2 Обеспечивать получение экологически безопасной вторичной продукции из компонентов сточных вод.

4.3 Минимизировать ресурсоемкость и энергозатраты на реализацию процессов утилизации компонентов сточных вод.

4.4 Содействовать внедрению технологий по повторному использованию очищенных сточных вод для водоснабжения объектов на сельской территории и промышленных предприятиях.

4.5 Максимизировать утилизацию осадков сточных вод в сельском хозяйстве и производстве строительных материалов, а также при производстве энергоресурсов.

5 *Осуществлять захоронение компонентов сточных вод, в том числе сброс очищенных сточных вод в водные объекты.*

5.1 Минимизировать опасное воздействие на незащищенных людей и окружающую природную среду.

5.2 Минимизировать ресурсоемкость и энергозатраты на реализацию процессов захоронения компонентов сточных вод.

5.3 Минимизировать размеры санитарно-защитной зоны объектов, предназначенных для захоронения компонентов сточных вод и выпусков сточных вод в водные объекты.

Символическое отображение структуры модели технической системы канализации поселения (см. рис. 1) выполнено с помощью графов. В предлагаемой модели графа принято пять вершин (компонентов структуры системы) и множество дуг (связи компонентов).

На иконографической модели (см. рис. 1) изображено два вида связей:

– прямые связи от одного компонента к другому в виде маршрута передачи вещества (сточных вод и/или их компонентов) в соответствии с последовательностью выполняемых функций;

– прямые и обратные связи, предназначенные для *передачи информации*:

а) о параметрах и свойствах сточных вод и их компонентов на определенном этапе технологического цикла ликвидации отходов;

б) о граничных условиях эффективного применения определенного типа технологии и оборудования для обработки сточных вод и их компонентов.

Все компоненты системы канализации поселения имеют прямую и обратную связь потока информации, обмен которой происходит на стадиях поиска перспективных технологических решений и архитектурно-строительного проектирования на этапе составления полного комплекса наиболее доступных технологий для канализования реального поселения.

Все компоненты системы канализации поселения составляют целое, которое обладает собственной главной целью – обеспечение благоприятных условий жизнедеятельности человека при соблюдении принципов охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов. Главное свойство системы канализации, характеризующее ее как комплекс технологий, заключается в том, что совместное функционирование компонентов системы обеспечивает достижение определенного уровня комфортной среды обитания человека, а также защиту окружающей среды от загрязнений, содержащихся в сточных водах.

Внешней средой системы канализации является потенциально бесконечное пространство знаний и сформированных на их основе комплексов технологий, которые в свою очередь условно объединены в бесконечное число систем и подсистем по совокупности функций. Взаимодействие ее с другими техническими системами носит активный характер по обмену научной и технической информацией. Взаимодействие технической системы канализации поселения с «системой водоснабжения поселения» является наиболее тесным, так как между ними происходит обмен не только информацией в блоке технологий обработки воды, но и передача вещества. В систему канализации поступает загрязненная в хозяйственной и производственной деятельности человека вода из технической системы водоснабжения, а возвращается в нее очищенная сточная вода, которая

после очистки повторно используется для нужд ирригации в сельском хозяйстве в соответствии с действующими нормами, а также в городском хозяйстве (в ряде стран, реализующих на практике концепцию Decentralized Sanitation and Reuse) для смыва в туалетах, ландшафтной ирригации, мойки дорожных покрытий и в качестве технической воды.

Внешняя среда, окружающая реальную систему канализации поселения, оказывает активное воздействие на ее развитие в направлении улучшения функциональных и эксплуатационных свойств технической системы в целом и отдельных ее компонентов. На процесс развития технической системы в первую очередь оказывают воздействие новые знания из области физических, химических, биологических, медицинских и других отраслей науки. Особенно большое влияние на развитие системы канализации поселений оказывают инновационные технологические решения, разработанные в смежных отраслях технических наук и промышленном производстве, а также политические и социальные решения и другие факторы.

Факторы, оказывающие влияние на совершенствование всех комплексов технологий системы канализации поселения и развитие отрасли науки и техники «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов», а также на выбор технологических решений на стадии архитектурно-строительного проектирования, предлагается классифицировать следующим образом:

#### *1 Теории и понятия.*

1.1 Теории и законы из области фундаментальных наук и способы приложения этих знаний к решениям задач инженерной практики.

1.2 Теории и законы из области прикладных технических наук.

1.3 Теории и законы из области экономических наук.

1.4 Понятие о том, что компоненты сточных вод и отходы, полученные в результате воздействия на питьевую воду или сточные воды, должны быть максимально утилизированы в качестве сырья для производства вторичной продукции или захоронены в земле и/или в океанах и морях с учетом экологических требований (дампинг) как закон природы.

#### *2 Физические факторы, не зависящие от воли проектировщика.*

2.1 Рост численности населения в городах и на планете.

2.2 Рост промышленного производства.

2.3 Состояние уровня финансирования научных исследований и опытно-конструкторских работ в области науки и техники «Водоснабжение, канализация, строительные системы охра-

ны водных ресурсов» за счет государственных и муниципальных программ и инвестиционных программ предприятий коммунального комплекса, а также за счет научных конкурсов и грантов.

2.4 Состояние уровня государственного финансирования программ подготовки в учебных учреждениях техников, бакалавров, магистров, специалистов и научно-педагогических кадров по укрупненной группе специальностей «Техника и технологии строительства» и направлению «Строительство».

2.5 Изменения нормативных положений для проектирования канализации поселений и повышение уровня гигиенических и экологических норм.

2.6 Географическое местоположение проектируемого объекта капитального строительства.

2.7 Гидрогеологические и климатические условия на территории проектируемого объекта.

2.8 Состояние экономики в отрасли жилищно-коммунального хозяйства региона, в котором планируется осуществлять проектирование объекта капитального строительства.

2.9 Состояние уровня информативности общественности о воздействии загрязнений сточных вод на окружающую природную и социальную среду и о технической доступности и затратах на мероприятия, снижающих антропогенное воздействие на окружающую среду.

2.10 Эволюция ожиданий потребителей.

2.11 Изменение климата на планете.

3 *Физические факторы, определяемые проектом и зависящие от воли проектировщика.*

3.1 Повышение степени благоустройства жилищ и территории поселений.

3.2 Оптимизация нормирования эмиссии загрязняющих веществ в окружающую среду.

3.3 Оптимизация методологии проектирования посредством внедрения новых методов проектирования и эффективного менеджмента инноваций.

3.4 Оптимизация технологических решений по канализованию проектируемого объекта капитального строительства, направленная на снижение ресурсоемкости и повышение энергоэффективности систем канализации и водоснабжения.

3.5 Формирование проектной группы из числа наиболее компетентных и опытных инженеров-проектировщиков.

3.6 Оптимизация инвестиционной программы финансового обеспечения реализации проекта.

Прогноз о перспективном развитии системы канализации поселения в направлении постепенного перехода от централизованной

к децентрализованной раздельной системе канализации для хозяйственных и фекальных сточных вод, за счет интенсивного поиска и внедрения модифицированных технологий разделения экскрементов и хозяйственных сточных вод с целью раздельной их обработки с утилизацией компонентов сточных вод, является логически обоснованным фактом, полученным, во-первых, на основе анализа современных проблем в области гигиены и охраны окружающей природной среды от загрязнений, содержащихся в сточных водах [1]. И во-вторых, на основе предлагаемого положения о необходимости выполнять модернизацию технологий, применяемых на практике, параллельно во всех компонентах системы канализации поселения, так как при анализе предложенной модели технической системы установлена их тесная взаимосвязь.

Анализ статистических данных [2–4] о фактическом состоянии существующих систем канализации в городах и сельских поселениях показывает, что необходимо принимать кардинальные решения в этой сфере деятельности. Техническое перевооружение внутренней канализации существующих зданий при переходе на двухтрубную канализацию с целью внедрения технологии повторного использования хозяйственных сточных вод после очистки их на локальных очистных сооружениях безусловно требует больших капитальных затрат. В то же время официально признанный в Российской Федерации значительный масштаб физического износа существующих внутренних и наружных сетей канализации и оборудования на станциях очистки позволяет смотреть с оптимизмом на возможность принятия государственными институтами этого направления по модернизации систем канализации в поселениях.

**Выводы.** 1. Для получения возможности осуществлять моделирование процесса модернизации системы канализации поселения и определять перспективное направление развития технологий канализования, *систему канализации поселения* предлагается рассматривать как совокупность взаимосвязанных компонентов – *комплексов технологий*: сбора сточных вод; отведения (или транспортирования) сточных вод; очистки сточных вод и обработки осадков; утилизации компонентов сточных вод; захоронения компонентов сточных вод (в том числе сброс очищенных сточных вод в водные объекты).

2. Предложенная топологическая модель технической системы канализации поселения и ее функциональное описание позволяют выполнять анализ реальной системы канализации поселения и осуществлять процесс моделирования для решения задач модернизации и определения направления ее перспективного развития

с учетом множества внутренних и внешних факторов и связей с окружающим пространством знаний и комплексов технологий.

3. Предложенную топологическую модель технической системы канализации поселения рекомендуется использовать для анализа и обобщения информации об эволюции развития всего комплекса технологий канализования поселений и изучения взаимосвязанного их развития под влиянием конкретных запросов общественно-исторической практики и новых знаний в области фундаментальных и прикладных технических наук.

4. Прогноз о перспективном развитии системы канализации поселения в направлении постепенного перехода от централизованной к децентрализованной раздельной системе канализации для хозяйственных и фекальных сточных вод, за счет интенсивного поиска и внедрения модифицированных технологий разделения экскрементов и хозяйственных сточных вод с целью раздельной их обработки с утилизацией компонентов сточных вод, является логически обоснованным фактом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шувалов М.В. Диалектика совокупности теоретических, методологических и нормативных положений, применяемых для проектирования канализации поселений // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 2. С. 35–45. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.6.

2. Федеральная целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012 – 2020 годах» (утв. постановлением Правительства РФ от 19 апреля 2012 г. № 350).

3. Положение о плане снижения сбросов загрязняющих веществ, иных веществ и микроорганизмов в поверхностные водные объекты, подземные водные объекты и на водосборные площади (утв. постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2013 г. № 317).

4. ИТС 10–2015. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов. М.: Бюро НДТ, 2015. 377 с.

Об авторе:

### ШУВАЛОВ Михаил Владимирович

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения, директор АСА СамГТУ, Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)242-41-70  
E-mail: ekos240@gmail.com

### 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

Для цитирования: Шувалов М.В. Топологическая модель структуры системы канализации поселения и ее функциональное описание // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 64–70. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.11.

For citation: Shuvalov M.V. Structure topological model of sewage systems settlement and its functional description // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 1. Pp. 64–70. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.11.



**Т. А. НИЗИНА  
Д. И. КОРОВКИН  
А. С. БАЛЫКОВ  
В. В. ВОЛОДИН**

## **АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДИФИЦИРОВАННЫХ И НЕМОДИФИЦИРОВАННЫХ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ВЛАЖНОСТНОГО СОСТОЯНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАНИЙ**

**ANALYSIS OF CHANGES IN THE ELASTIC-STRENGTH CHARACTERISTICS OF MODIFIED  
AND UNMODIFIED FINE-GRAINED CONCRETES DEPENDING ON THEIR WET STATE  
AND TEST TEMPERATURE**

На примере модифицированных и немодифицированных цементных композитов изучено влияние температурно-влажностных эксплуатационных факторов на прочностные показатели мелкозернистых бетонов. Выявлено, что для немодифицированного бетона варьирование температуры испытаний приводит к существенному изменению прочностных показателей цементных композитов, повышаясь (с учетом их влагосодержания) при испытаниях на изгиб и сжатие в области отрицательных температур. Наибольшее повышение упруго-прочностных показателей наблюдается у влагонасыщенных образцов. Для образцов в сухом состоянии изменение прочностной характеристики при сжатии с понижением температуры с +40 до -40 °C составляет 17 %, на растяжение при изгибе – 22 %. По результатам исследований установлено, что для модифицированных высокопрочного и дисперсно-армированного бетонов наблюдается значительное повышение предела прочности на растяжение при изгибе на всем диапазоне исследуемых температур для водонасыщенных образцов по сравнению с образцами в сухом и равновесно-влажностном состоянии. Существенные различия в характере влияния температуры испытания и влажностного состояния на изменение физико-механических характеристик модифицированных и немодифицированных цементных бетонов объясняются, в первую очередь, различиями в их структуре и, как следствие, видом содержащейся влаги. В частности, в структуре модифицированных композитов преобладает адсорбционная и кристаллизационно-связанная вода, отличающаяся высокой энергией связи, а в структуре «традиционного» бетона присутствует большое количество капиллярно-насыщенной и свободной воды, которая слабо связана с твердой фазой немодифицированных композитов.

Using the example of unmodified and modified cement composites, the effect of temperature and humidity operating factors on the strength characteristics of fine-grained concretes was studied. It was revealed that for unmodified concrete, varying the test temperature leads to a significant change in the strength characteristics of cement composites, increasing (taking into account their moisture content) during bending and compression tests in the region of negative temperatures. The greatest increase in the elastic strength characteristics is observed in moisture-saturated samples. For samples in the dry state, the change in the strength characteristics under compression with a decrease in temperature from +40 to -40 °C is 17 %, and 22 % for bending stretching. According to the research results, it has been established that for modified high-strength and dispersion-reinforced concrete there is a significant increase in tensile strength in bending throughout the entire range of temperatures studied for water-saturated samples compared to samples in a dry and equilibrium-moisture state. These differences in the nature of the influence of the test temperature and the moisture content of the samples on the change in the physicomachanical characteristics of the modified and unmodified concretes are explained by the difference in the structure and the type of moisture contained in them. In particular, the structure of modified composites is dominated by adsorption and crystallization-related water, characterized by high binding energy, and in the structure of “traditional” concrete there is a large amount of capillary-saturated and free water, which is weakly associated with the solid phase of unmodified composites.



**Ключевые слова:** мелкозернистый бетон, полифункциональные добавки, температурно-влажностный режим, трещиностойкость, эффект Ребиндера

Технологии изготовления бетона в современном мире постоянно развиваются. За последние 25 лет созданы бетоны нового поколения с прочностью при сжатии 150 – 200 МПа и более, которые возможно производить на современных бетонных заводах в промышленных масштабах [1]. Помимо традиционной рецептуры мелкозернистого бетона (цемент – песок – вода), одним из приоритетных направлений мирового бетоноведения является использование высокопрочных и ультравысокопрочных цементных бетонов, так называемых High-Strength Concretes (HSC) и Ultra-High-Strength Concretes (UHSC), отличительными особенностями которых являются более высокая дисперсность зернистых компонентов, повышенные значения площадей поверхности раздела фаз, существенно увеличенное число физических и физико-химических контактов в единице объема материала, возросшая плотность, преобладание мелко- и скрытокристаллических сростков новообразований [2, 3].

Особую роль в многокомпонентном составе высокопрочного цементного бетона имеет применение высокоактивных добавок-разжижителей, в том числе суперпластификаторов IV поколения. Это ПАВ-пластификаторы (поверхностно-активные вещества) на основе поликарбоксилатов и акрилатов, обеспечивающих возможность значительного снижения водоцементного отношения и водопотребности бетонных смесей (до 35–40 %), что обеспечивает улучшенные упруго-прочностные характеристики [3].

Авторы работ [4, 5] отмечают, что вследствие особенностей строения высокотехнологичные многокомпонентные бетоны могут быть потенциально более неравновесными и активными по отношению к воздействиям среды в отличие от традиционных трех-четырехкомпонентных бетонов. Особенно это касается температурно-влажностного воздействия в природных климатических условиях, поскольку при постоянных колебаниях температуры и влажности воздуха нарушается формирование структуры композита, происходит интенсивная гидратация и обезвоживание бетона. В результате снижается его прочность и модуль упругости, возрастают деформации усадки и ползучести. Значительный перепад температуры в течение суток также вызывает неравномерное распределение температурных деформаций и напряжений по сечениям бетона, что сказывается на снижении их трещиностойкости, несущей способности и жесткости,

**Keywords:** fine-grained concrete, polyfunctional additives, temperature and humidity conditions, crack resistance, Rehbinder's effect

а в целом и на эксплуатационной надежности [2, 4–8].

Из этого следует, что анализ изменения упруго-прочностных характеристик мелкозернистых цементных бетонов различных видов (начиная от «традиционных» трехкомпонентных и заканчивая высокофункциональными бетонами и фибробетонами) с учетом комплексного влияния рецептуры композитов и эксплуатационных температурно-влажностных факторов является актуальной задачей.

Для проведения экспериментальных исследований, основываясь не предыдущих работах, были выбраны следующие три вида мелкозернистых бетонов [3, 9–11]:

– «традиционный» трехкомпонентный бетон (состав № 1). В качестве вяжущего использовался портландцемент со шлаком класса ЦЕМ II/A-III 42,5Н производства «Азия Цемент» Никольского района Пензенской области. Его активность на стандартном вольском песке на момент испытаний составляла 47,9 МПа; мелкозернистый заполнитель – природный кварцевый песок Новостепановского карьера (п. Смольный, Ичалковский район, Республика Мордовия) с размером зерна менее 5 мм – 75 % от массы твердой фазы; водоцементное отношение 0,4;

– фибробетон (состав № 2). В качестве вяжущего использовался портландцемент со шлаком класса ЦЕМ II/A-III 42,5Н производства «Азия Цемент» Никольского района Пензенской области; мелкозернистый заполнитель – природный кварцевый песок Новостепановского карьера с размером зерна менее 5 мм – 63,4 % от массы твердой фазы; микрокремнезем конденсированный неуплотненный (МК-85) – 11 % от массы вяжущего; полипропиленовое мультифиламентное волокно – 0,62 % от массы вяжущего; суперпластификатор Melflux 6681 F – 1 % от массы вяжущего; водоцементное отношение 0,33;

– высокопрочный бетон (состав № 3). В качестве вяжущего использовался портландцемент класса ЦЕМ I 42,5Б производства ПАО «Мордовцемент»; мелкозернистый заполнитель – природный кварцевый песок Новостепановского карьера с размером зерна менее 0,63 мм – 49 % от массы твердой фазы; микрокальцит (МКМ) – 45 % от массы вяжущего; МК-85 – 11 % от массы вяжущего; суперпластификатор Melflux 6681 F – 1 % от массы вяжущего; водоцементное отношение 0,318.

Экспериментальные исследования проводились на образцах в виде призм с размерами

40×40×160 мм. После твердения в нормальных условиях в течение 28 суток образцы были разделены на три группы (по 90 образцов). Первая группа образцов высушивалась до постоянной массы в течение 14 суток при температуре 105 °С, вторая – выдерживалась этот же временной промежуток в нормальных лабораторных условиях (температура воздуха 20 ± 3 °С, влажность – 50 ± 5 %), третья – помещалась в воду для насыщения до постоянной массы.

Прочностные характеристики (предел прочности при сжатии и на растяжение при изгибе) определялись на установке WilleGeotechnik® (модель 13PD/401) для испытания строительных материалов [12]. Наличие климатической камеры в указанном прессе позволяет регулировать влажность (от 10 до 96 %) и температуру (от - 40 до + 100 °С) среды испытания. Фиксация полученных в ходе эксперимента результатов и настройка параметров среды испытания осуществлялись с применением программного обеспечения GEOSYS 8.7.8. Полученные результаты экспериментального исследования обрабатывались с помощью методов статистического анализа.

При проведении экспериментальных исследований варьируемыми факторами являлись: температура испытаний (-40, -20, 0, +20, +40 °С), влажностное состояние образцов (сухое, равновесно-влажностное, влагонасыщенное) и вид мелкозернистого бетона («традиционный» трехкомпонентный, фибробетон и высокопрочный бетон). Для того чтобы избежать возникновения внутренних напряжений в образцах из-за резких перепадов температуры, композиты перед испытанием помещали в климатическую камеру и устанавливали требуемую для испытания температуру, а также относительную влажность (10, 50 или 90 %). После достижения требуемого уровня климатических факторов композиты дополнительно выдерживались в камере еще в течение часа.

По результатам проведенных исследований установлено (рис. 1), что при испытании «традиционного» трехкомпонентного бетона в диапазоне отрицательных температур отмечается заметный прирост прочностных показателей с увеличением влагосодержания бетонных образцов. Предел прочности влагонасыщенных образцов (с содержанием влаги около 6,32 %) на растяжение при изгибе при - 40 °С, соответственно, на 91 и 71 % выше, чем у образцов в сухом и равновесно-влажностном состоянии (с содержанием влаги 2,06 %). Подобное явление в первую очередь связано с образованием в структуре бетона криофазы, вследствие чего сопротивлению развития трещины препятствует не только сам материал, но и образовав-

шийся в порах лед. Упрочнение происходит за счет затрат дополнительной энергии на разрушение и деформирование ледяных включений, отрыв льда от твердой фазы и т. д. [8, 13]. Кривые изменения прочностных показателей мелкозернистого бетона при воздействии сжимающих нагрузок при температуре испытаний -40 и -20 °С носят подобный характер, однако повышение прочностных показателей происходит, соответственно, всего на 20 и 16 %.

Напротив, при испытании цементных композитов при нулевой и положительных температурах наблюдается снижение прочностных показателей с повышением содержания влаги в бетонных образцах (см. рис. 1). Для равновесно-влажностных и влагонасыщенных цементных композитов увеличение температуры способствует усилению эффекта падения прочности, так как из-за снижения вязкости жидкости и облегчения условий смачивания вода, являющаяся адсорбирующим веществом, быстрее проникает к поверхности разрушения в момент образования трещин.

Стоит отметить, что композиты в сухом состоянии гораздо меньше подвержены воздействию температурного режима – прочностные показатели практически не изменяются на всем диапазоне исследуемых температур (см. рис. 1). Повышение прочности сухих образцов как при сжатии, так и на растяжение при изгибе с понижением температуры с + 40 до - 40 °С составляет, соответственно, всего 17 и 22 %.

При введении в состав цементного композита микрокремнезема конденсированного неуплотненного и суперпластификатора на поликарбоксилатной основе наблюдается значительное повышение предела прочности на растяжение при изгибе для влагонасыщенных образцов по сравнению с образцами в сухом и равновесно-влажностном состоянии. В частности, повышение влажности фибробетона (состав № 2) с 2,38 до 3,76 % приводит к увеличению прочностных показателей для всех исследуемых температур (в ряду от + 40 до - 40 °С) от 1,8 до 2,25 раза (рис. 2, а). Для высокопрочного бетона аналогичный прирост предела прочности на растяжение при изгибе (в 1,8–2,3 раза) наблюдается при повышении влагосодержания образцов с 1,97 до 2,24 % (рис. 3, а).

Более низкие значения прочностных показателей при изгибе для образцов в равновесно-влажностном и сухом состоянии, на наш взгляд, объясняются пересушиванием поверхности композитов, возникновением неравновесного температурно-влажностного состояния во внутренних и наружных слоях образцов и, как следствие, появлением в их поверхностных слоях дополнительных растягивающих напряжений.

Существенное различие в характере кривых изменения предела прочности на растяжение при изгибе трех исследуемых видов бетона, испытанных в интервале температур от 0 до 40 °С, предположительно объясняется различием в структуре модифицированных и немодифицированных композитов и, как следствие, различным соотношением содержащейся в образцах видов влаги. В частности, в структуре модифицированных мелкозернистых бетонов составов № 2 и 3 преобладает адсорбционная

и кристаллизационно-связанная вода, отличающаяся высокой энергией связи со структурой. Напротив, в образцах состава № 1 присутствует большое количество капиллярно-насыщенной и свободной воды, которая слабо связана с твердой фазой немодифицированных композитов.

При высушивании образцов «традиционного» трехкомпонентного бетона в сушильном шкафу при температуре 105 °С наблюдается значительное испарение свободной внутренней влаги из всего объема композита. При

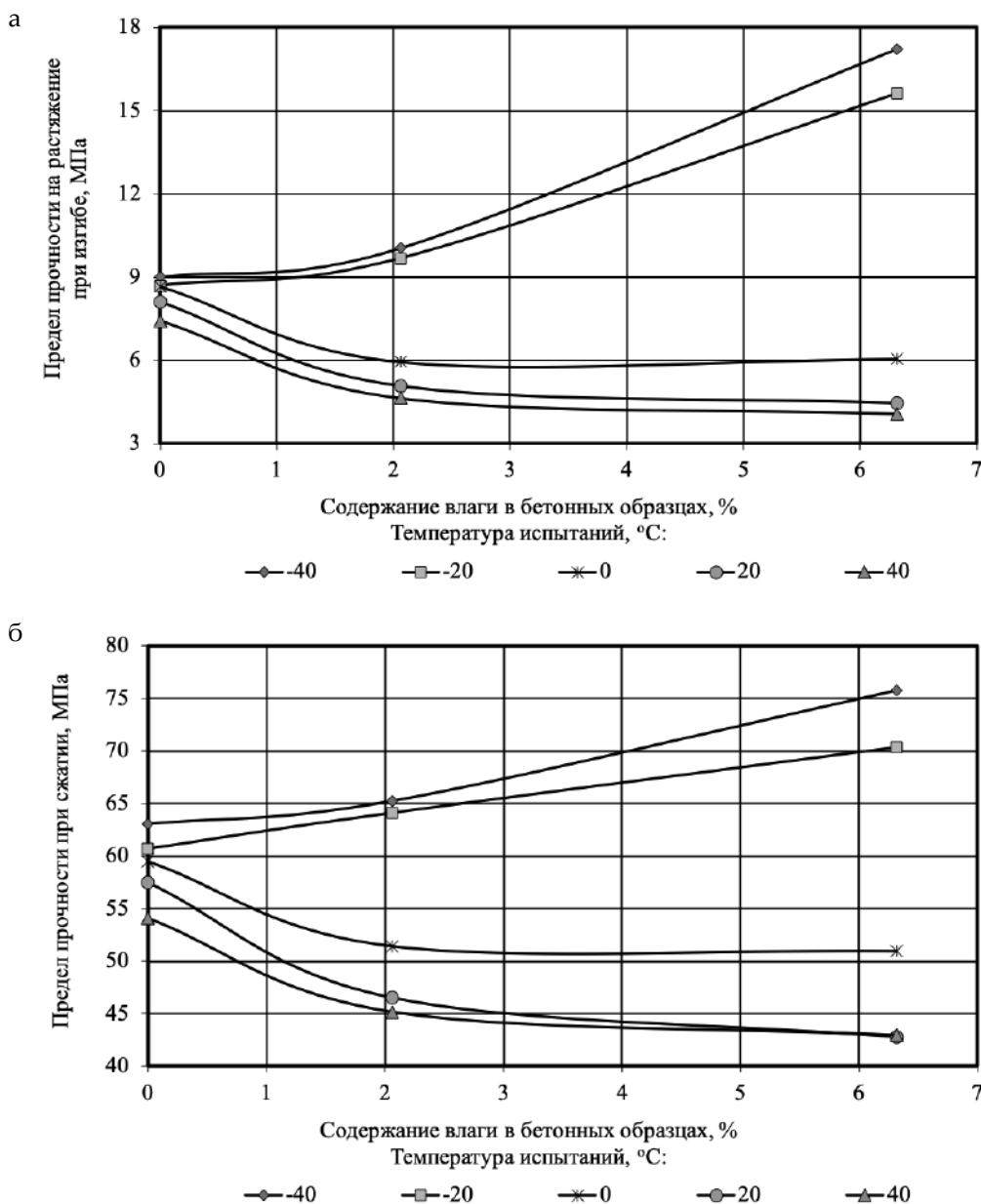


Рис. 1. Изменение предела прочности на растяжение при изгибе (а) и сжатии (б) цементных композитов «традиционного» трехкомпонентного бетона (состав № 1) в зависимости от температуры испытаний и влажностного состояния

этом происходит выравнивание температурно-влажностного состояния по объему бетона, что предотвращает возникновение концентраций растягивающих напряжений в поверхностных слоях, обуславливающих падение предела прочности при изгибе с уменьшением влажности образцов в модифицированных композициях составов № 2 и 3.

Анализ изменения предела прочности при сжатии высокопрочного бетона и фибробетона в зависимости от температурно-влажност-

ных условий показал (рис. 2, б; 3, б), что прочность влагонасыщенных образцов на 5–20 % ниже, чем у сухих и равновесно-влажностных на всем диапазоне температур (рис. 2, б; 3, б). Это объясняется тем, что при введении в состав ультрадисперсного микрокремнезема и суперпластификатора, позволяющего снизить водосодержание бетонных смесей при сохранении высокого уровня их удобоукладываемости, в структуре бетона увеличивается количество наноразмерных пор. При этом сила связи

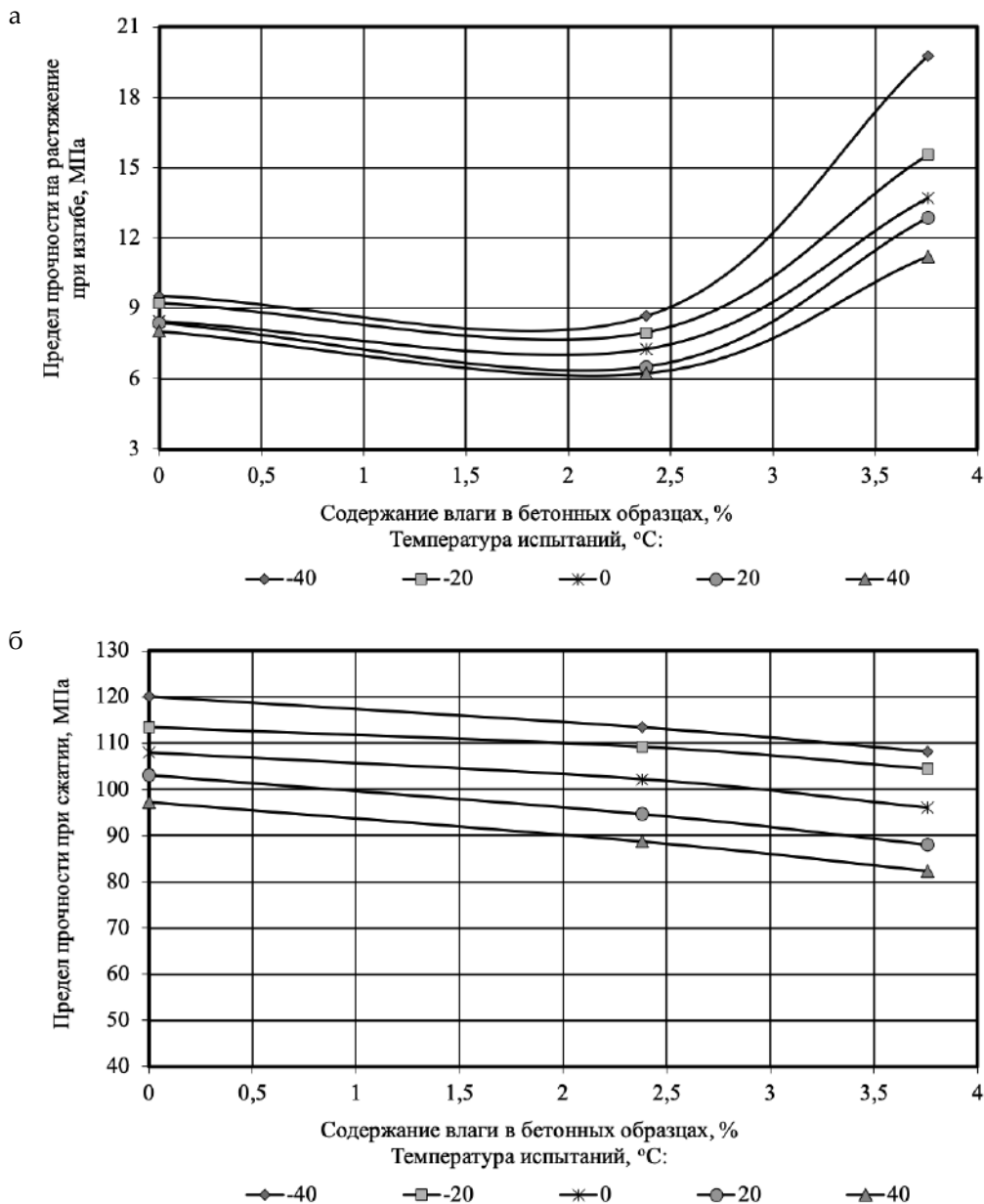


Рис. 2. Изменение предела прочности на растяжение при изгибе (а) и сжатии (б) цементных композитов фибробетона (состав № 2) в зависимости от температуры испытаний и влажностного состояния

структуры с водой в порах такого размера настолько высока, что вода в них не замерзает в исследуемом диапазоне отрицательных температур и не принимает на себя часть нагрузки, как у состава № 1.

Падение предела прочности при сжатии для фибробетона (состав № 2) в диапазоне температур от -40 до +40 °С в цементных композитах составляет для сухих образцов 19 %, для равномерно-влажностных – 22 %, для влагонасыщенных – 24 % (рис. 2, б). Для высокопрочного

бетона падение предела прочности составляет, соответственно, для сухих, равномерно-влажностных и влагонасыщенных – 15, 16 и 18 % (рис. 3, б).

Несколько меньшее падение прочностных показателей высокопрочного бетона состава № 3 при увеличении температуры с - 40 до + 40 °С по сравнению с дисперсно-армированным композитом № 2 объясняется, на наш взгляд, рядом рецептурно-технологических отличий – сниженным водосодержанием при

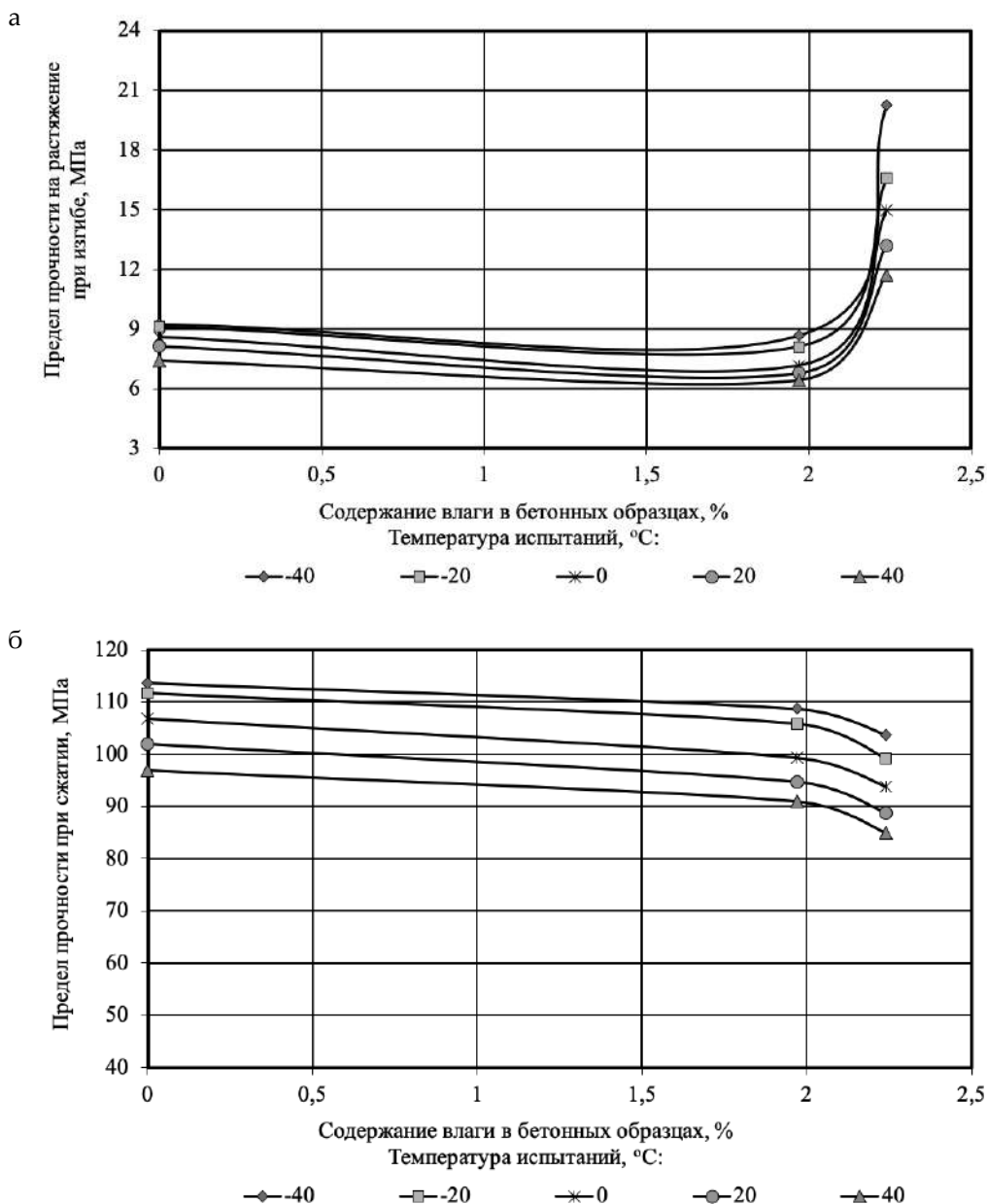


Рис. 3. Изменение предела прочности на растяжение при изгибе (а) и сжатии (б) цементных композитов высокопрочного бетона (состав № 3) в зависимости от температуры испытаний и влажностного состояния

лучшей удобоукладываемости бетонной смеси, а также более сбалансированным гранулометрическим составом, позволяющим обеспечить повышение плотности упаковки частиц. В связи с этим еще больше по сравнению с немодифицированным бетоном (состав № 1) снижается объем открытых капиллярных пор и, как следствие, уменьшается количество свободной влаги в структуре высокопрочного бетона.

**Выводы.** Проведенный анализ влияния температуры и влажностного состояния образцов при испытании бетонов трех различных составов показал существенное различие в характере влияния на «традиционный» трехкомпонентный и модифицированные цементные бетоны, что необходимо учитывать при проектировании составов цементных бетонов, эксплуатируемых в условиях воздействия природных климатических факторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-29-12036

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калашников В. И. Эволюция развития составов и изменение прочности бетонов. Бетоны настоящего и будущего // Строительные материалы. 2016. № 1–2. С. 96–103.
2. Коротких Д.Н. Повышение прочности и трещиностойкости структуры современных цементных бетонов: дис. ... док. техн. наук / Воронеж. гос. архитектур.-строит. ун-т. Воронеж, 2014. 359 с.
3. Низина Т.А., Селяев В.П., Балыков А.С., Володин В.В., Коровкин Д.И. Оптимизация составов многокомпонентных мелкозернистых фибробетонов, модифицированных на различных масштабных уровнях // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2017. Т.9. №2. С. 43–65.
4. Чернышов Е.М., Славчева Г.С., Ким Л.В. О конструкционном потенциале структуры высокотехнологичных бетонов с учетом температурно-влажностных эксплуатационных состояний // Строительные материалы. 2015. №9. С. 3–17.
5. Славчева Г.С. Структура высокотехнологичных бетонов и закономерности проявления их свойств при эксплуатационных влажностных воздействиях: автореф. дис. ... док. техн. наук. Воронеж, 2009. 44 с.
6. Славчева Г.С. Влажностное состояние цементных и силикатных бетонов в связи с их структурой // Научный журнал строительства и архитектуры. 2008. №4. С. 119–131.
7. Низина Т.А., Коровкин Д.И., Макарова Л.В., Балыков А.С., Володин В.В. Исследование влияния температурно-влажностного режима на физико-механические свойства бездобавочного мелкозернистого бетона // Региональная архитектура и строительство. 2018. №1. С. 68–73.
8. Коровкин Д.И., Низина Т.А., Макарова Л.В., Балыков А.С., Володин В.В. Анализ изменения прочностных показателей мелкозернистых бетонов в зависимости от влажностного состояния и температуры испытаний // Известия ВУЗов. Строительство. 2018. № 3. С. 43–51.
9. Nizina T.A., Balykov A.S., Volodin V.V., Koroovkin D.I. Fiber fine-grained concretes with polyfunctional modifying additives. Magazine of Civil Engineering. 2017. No. 4. Pp. 73–83. Doi: 10.18720/MCE.72.9.
10. Балыков А.С., Низина Т.А., Макарова Л.В. Критерии эффективности цементных бетонов и их применение для анализа составов высокопрочных композитов // Строительные материалы. 2017. №6. С. 69–75.
11. Балыков А.С., Низина Т.А., Коровкин Д.И., Володин В.В., Каишанов А.А., Каишанова Е.А. Высокопрочные мелкозернистые бетоны на основе природного и техногенного сырья [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/vysokoprochnye-melkozernistyebetonu-na-osnove-prirodnogo-i-texnogennogo-syrya> (дата обращения: 16.11.2018).
12. Низина Т.А., Селяев В.П. Материальная база вуза как инновационный ресурс развития национального исследовательского университета // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. С. 115–121.
13. Пирадов К.А. Исчерпание ресурса бетона при температурно-влажностных и силовых воздействиях // Бетон и железобетон. 1997. №6. С. 26–28.

Об авторах:

**НИЗИНА Татьяна Анатольевна**

доктор технических наук, советник РААСН,  
профессор кафедры строительных конструкций  
Национальный исследовательский Мордовский  
государственный университет  
430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68  
E-mail: nizinata@yandex.ru

**NIZINA Tatiana A.**

Doctor of Engineering Science, Professor of the  
Building Structures Chair  
National Research Mordovia State University  
430005, Russia, Saransk, Bolshevistskaya str., 68  
E-mail: nizinata@yandex.ru

**КОРОВКИН Дмитрий Игоревич**

аспирант кафедры строительных конструкций  
Национальный исследовательский Мордовский  
государственный университет  
430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68  
E-mail: asfkorovkin@yandex.ru

**KOROVKIN Dmitry I.**

Postgraduate Student of the Building Structures  
Chair  
National Research Mordovia State University  
430005, Russia, Saransk, Bolshevistskaya str., 68  
E-mail: asfkorovkin@yandex.ru

**БАЛЫКОВ Артемий Сергеевич**

младший научный сотрудник кафедры  
строительных конструкций  
Национальный исследовательский Мордовский  
государственный университет  
430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68  
E-mail: artbalrun@yandex.ru

**BALYKOV Artemy S.**

Junior Researcher of the Building Structures Chair  
National Research Mordovia State University  
430005, Russia, Saransk, Bolshevistskaya str., 68  
E-mail: artbalrun@yandex.ru

**ВОЛОДИН Владимир Владимирович**

аспирант кафедры строительных конструкций  
Национальный исследовательский Мордовский  
государственный университет  
430005, Россия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68  
E-mail: volodinvv1994@gmail.com

**VOLODIN Vladimir V.**

Postgraduate Student of the Building Structures  
Chair  
National Research Mordovia State University  
430005, Russia, Saransk, Bolshevistskaya str., 68  
E-mail: volodinvv1994@gmail.com

Для цитирования: Низина Т.А., Коровкин Д.И., Балыков А.С., Володин В.В. Анализ изменения упруго-прочностных характеристик модифицированных и немодифицированных мелкозернистых бетонов в зависимости от их влажностного состояния и температуры испытания // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 71–78. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.12.

For citation: Nizina T.A., Korovkin D.I., Balykov A.S., Volodin V.V. Analysis of changes in the elastic-strength characteristics of modified and unmodified fine-grained concretes depending on their wet state and test temperature // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 71–78. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.12.

Уважаемые читатели!

Научно-технический центр «АРХИГРАД» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

- градостроительство; градостроительная реконструкция;
- территориальное планирование;
- архитектурное и ландшафтное проектирование;
- реконструкция зданий и сооружений;
- экспертная деятельность;
- повышение квалификации руководителей и специалистов организаций.

Руководитель Вавилонская Татьяна Владимировна

Контакты: 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, корпус 13, каб. 0102  
тел. (846) 242-52-21, E-mail: baranova1968@mail.ru

# ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА



УДК 691.327:620.1

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.13

**В. П. ПОПОВ  
А. Ю. ДАВИДЕНКО  
Д. В. ПОПОВ**

## О ВЛИЯНИИ ВЛАЖНОСТИ НА ПОВЕРХНОСТНУЮ ЭНЕРГИЮ БЕТОНА

### INFLUENCE OF HUMIDITY ON THE SURFACE ENERGY OF CONCRETE

*Рассматриваются результаты исследования влияния влажности на значения поверхностной энергии бетона. Показано, что величина последней в значительной мере зависит от влажности материала и меняется в широких пределах, иногда в несколько раз, в зависимости от этапа разрушения. Выделены две группы показателей, влияющих на процесс разрушения: физико-механические и кинетические. Показано, что поверхностная энергия, отнесенная к первой группе, является одним из параметров, определяющих прочностные и эксплуатационные характеристики бетона. Сделан вывод, что учет влажности материала позволяет объяснить поведение бетона при его замачивании.*

**Ключевые слова:** разрушение бетона, поверхностная энергия, модуль упругости, коэффициент Пуассона, влажность материала

*The results of the study of the effect of humidity on the surface energy of concrete are considered. It is shown that the value of the latter largely depends on the moisture content of the material and varies widely, sometimes several times, depending on the stage of destruction. Two groups of indicators affecting the process of destruction are identified: physico-mechanical and kinetic. It is shown that the surface energy referred to the first group is one of the parameters determining the strength and performance characteristics of concrete. It is concluded that taking into account the moisture content of the material allows us to explain the behavior of concrete when it is soaked.*

**Keywords:** concrete destruction, surface energy, elastic modulus, Poisson's ratio, material moisture

Широкое распространение бетона и железобетона в практике строительства, объясняемое рядом параметров, из которых главным является то, что это местный строительный материал и исходное сырье можно найти в любом регионе России, потребовало дополнительных исследований в области совершенствования его структуры и методов контроля качества выпускаемой продукции. При этом особое место занимают исследования, объясняющие поведение материала при его работе в условиях различного вида внешних воздействий. Как показали многочисленные исследования, несущая способность бетона и его долговечность зависят от кинетики процессов его разрушения. Современная наука, называемая «механика разрушения», позволяет не только объяснить физическую картину работы материалов при внешнем воздействии, но и построить математические модели, описыва-

ющие особенности разрушения материала при силовом, температурном и других видах воздействий. Математическое описание процессов разрушения материалов, в том числе и бетонов, позволяет выделить их начальные характеристики, контроль которых в процессе изготовления конструкции или изделия позволяет выпускать продукцию требуемого качества.

Современные конструкционные бетоны работают в широком диапазоне внешних воздействий, таких как силовые, температурные, влажностные и др. Причем последние могут носить как статичный, так и циклический характер действия. Следует отметить, что, как правило, внешнее воздействие на бетон носит комплексный характер. Так, любая бетонная конструкция, работающая вне зданий или сооружений, воспринимает силовое, влажностное и температурное воздействия, и на процесс ее разрушения



оказывают влияние все эти три вида. При этом необходимо определить, какие из начальных характеристик наиболее чувствительны к каждому из видов внешнего воздействия.

В данной работе приводятся результаты исследования процессов разрушения бетона при различных видах внешнего воздействия и их математическое описание [1, 2]. Показано, что при любых видах разрушения существует ограниченное число начальных характеристик бетона. Оценено влияние влажности на значения последних.

Исследования, выполненные авторами данной работы, показали, что бетон разрушается, как и другие конструкционные материалы, – хрупко, лавинообразно. Это позволило использовать для математического описания процессов его деструкции энергетическую теорию механики разрушения, основанную на работах А. А. Гриффитса [3], и кинетическую концепцию механики разрушения С. Н. Журкова [4]. При этом необходимо учесть, что с точки зрения энергетической концепции бетон, как любой другой хрупкий материал, имеет три стадии разрушения, отличающиеся энергией трещинообразования.

На первой стадии, при незначительных по величине внешних воздействиях, в бетоне развивается сеть мелких трещин, небольших по величине. Как правило, при этом увеличиваются площади начальных дефектов структуры материала и они превращаются в плоские дефекты в виде микротрещин. Энергия трещинообразования ничтожно мала и практически не поддается приборной регистрации.

На второй стадии, называемой «этапом подготовки разрушения», по мере роста величины внешнего воздействия микротрещины объединяются в макротрещины и намечаются направления развития магистральных трещин. Энергия разрушения в этом случае четко фиксируется аппаратурой, и по величине она на несколько порядков выше энергии, фиксируемой на первом этапе.

На третьем этапе разрушения, называемом собственно «разрушение», происходит слияние макротрещин и превращение их в магистральные трещины. Последние разделяют бетонный элемент на отдельные части, не способные воспринимать внешние воздействия. Величина энергии трещинообразования на текущем этапе на несколько порядков превышает величины, зафиксированные на втором этапе разрушения.

Используемые авторами математические модели позволяют описать все три стадии разрушения материала и выявить комплекс параметров, отвечающих за кинетику их развития [5–8]. Было установлено, что все характеристи-

ки процессов разрушения бетона, независимо от вида внешнего воздействия, можно разделить на две группы: начальные, определяемые как структурные характеристики материала, и кинетические, зависящие от интенсивности внешних воздействий. К первой группе авторами отнесены: поверхностная энергия, модуль упругости и коэффициент Пуассона, ко второй – склонность бетона к трещинообразованию и интенсивность трещинообразования.

Исследования выполнялись на шестнадцати составах бетона, отличающихся технологическими параметрами изготовления, видом и расходом цемента, составом бетонной смеси по массе и водоцементным отношением, а также наличием химической добавки. Составы исследуемых бетонов приведены в табл. 1

Этими же исследованиями было установлено, что значения всех трех начальных физико-механических характеристик находятся в прямой зависимости от влажности материала, что было выявлено при сравнении результатов испытаний образцов в воздушно-сухом и водонасыщенном состояниях. При этом наименее чувствительной характеристикой к действию влаги является коэффициент Пуассона, а наиболее чувствительной – поверхностная энергия.

Определение значений модуля упругости и коэффициента Пуассона выполняли акустическим методом, практически реализованным путем измерения скоростей прохождения продольных и сдвиговых ультразвуковых волн по методике [9].

Поскольку авторами впервые в практику расчетов параметров бетона введена характеристика, называемая «поверхностной энергией», и отсутствовала методика её определения, ими же она и была разработана. В частности, было предложено определять значения поверхностной энергии на образцах бетона в виде пластин, имеющих в центре отверстие, через которое на образец передавалось усилие растяжения. Образец испытывался на устройстве, похожем на разрывную машину. При этом фиксировались усилия разрушения и замерялась площадь разрушенной поверхности образца.

С целью исследования оценки влияния влажности на значения модуля упругости, коэффициента Пуассона и поверхностной энергии испытания выполнялись в несколько этапов [10,11]. На первом этапе образцы-пластины после твердения в течение 28 суток с момента изготовления в нормальных условиях высушивались в сушильном шкафу до стабилизации массы, затем помещались в воду и по мере насыщения их влагой на них определялись значения модуля упругости, коэффициента Пуассона и поверхностной энергии. Испытания

заканчивались тогда, когда образцы в процессе замачивания достигали стабилизации массы. Полученные значения физико-механических характеристик приведены в табл. 2.

Результаты исследования показали следующее. Изменения значений коэффициента Пуассона были незначительными, по сравнению с другими характеристиками, и не превышали 5 %. Изменения значений модуля упругости были более существенными и достигали 35 %

в меньшую сторону. Наиболее чувствительной к наличию влаги в структуре бетона оказалась поверхностная энергия; ее значения, полученные на отдельных образцах, изменялись в 6–8 раз по отношению к первоначальным, определенным в сухом состоянии, и так же в меньшую сторону. Это наглядно можно увидеть на графиках зависимости прочности бетона на сжатие от поверхностной энергии в сухом и водонасыщенном состояниях, которые представлены на рис. 1, 2.

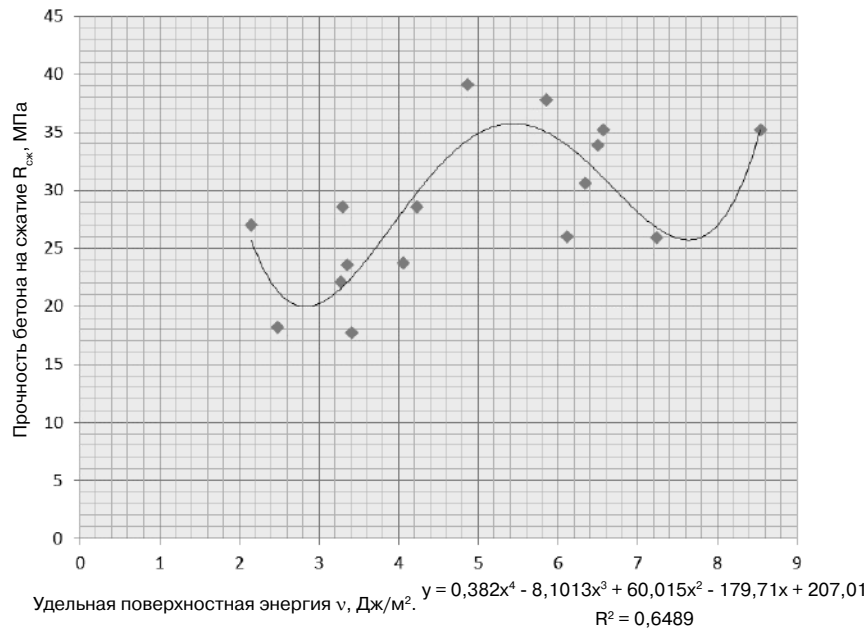


Рис. 1. Зависимость прочности бетона от поверхностной энергии для образцов в воздушно-сухом состоянии

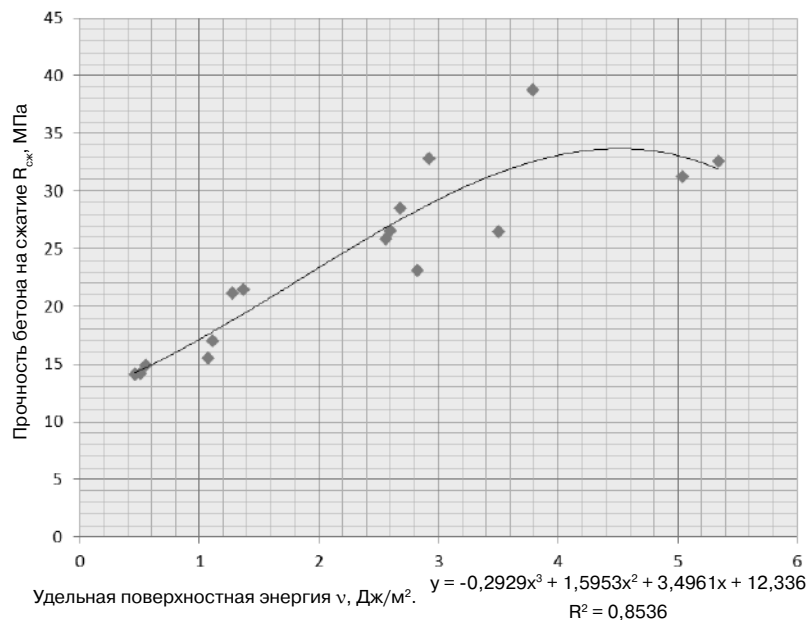


Рис. 2. Зависимость прочности бетона от поверхностной энергии для образцов в водонасыщенном состоянии

Таблица 1

## Составы исследуемых бетонов

№ п/п	Вид цемента	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Водоцементное отношение В/Ц	Состав бетонной смеси по массе Ц:П:Щ	Расход химической добавки ПАЩ-1, %
1	Быстротвердеющий портландцемент	375	0,4	1:1,59:3,18	-
2		375	0,6	1:1,52:3,03	-
3		625	0,4	1:0,78:1,57	-
4		625	0,6	1:0,72:1,44	-
5	Алюминатный портландцемент	375	0,4	1:1,59:3,18	-
6		375	0,6	1:1,52:3,03	-
7		625	0,4	1:0,78:1,57	-
8		625	0,6	1:0,72:1,44	-
9	Шлакопортландцемент	500	0,7	1:0,83:1,67	-
10		300	0,7	1:1,81:3,62	-
11		500	0,5	1:1,90:1,80	-
12		300	0,5	1:1,94:3,88	-
13		500	0,7	1:0,83:1,67	0,4
14		300	0,7	1:1,81:3,62	0,2
15		500	0,5	1:1,90:1,80	0,4
16		300	0,5	1:1,94:3,88	0,2

Таблица 2

## Значения физико-химических характеристик в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии

№ п/п	Модуль упругости E, МПа		Коэффициент Пуассона $\mu$		Удельная поверхностная энергия $v$ , Дж/м <sup>2</sup>		Прочность на сжатие $R_{сж}$ , МПа	
	Воздушно-сухие	Водонасыщенные	Воздушно-сухие	Водонасыщенные	Воздушно-сухие	Водонасыщенные	Воздушно-сухие	Водонасыщенные
1	30561,3	37167,6	0,220	0,219	4,87	3,79	39,1	38,8
2	21818,2	26113,3	0,221	0,210	7,24	1,28	25,9	21,2
3	22862,3	32295,7	0,218	0,155	8,54	2,68	35,2	28,5
4	25382,4	27897,5	0,187	0,206	6,11	2,82	26,0	23,1
5	20374,2	26337,7	0,248	0,235	2,15	1,37	27,0	21,5
6	17118,0	22790,6	0,254	0,243	3,41	0,55	17,7	14,9
7	22522,6	29504,6	0,196	0,212	3,35	0,46	19,4	14,1
8	22007,1	24651,6	0,237	0,233	2,48	0,51	18,2	14,2
9	21138,3	25160,6	0,229	0,221	4,06	1,11	23,7	17,0
10	15481,9	18469,9	0,237	0,243	3,27	1,07	22,1	15,5
11	26189,5	29894,3	0,218	0,204	6,34	2,56	30,6	25,9
12	22894,6	25990,4	0,234	0,221	5,85	2,92	37,8	32,8
13	22815,6	24457,1	0,217	0,174	4,23	3,50	28,6	26,5
14	22561,9	24064,0	0,198	0,212	3,30	2,60	28,6	26,6
15	25174,0	26801,1	0,201	0,163	6,50	5,04	33,9	31,3
16	24367,3	25266,9	0,220	0,219	6,57	5,34	35,2	32,6

На наш взгляд, проведенные исследования объясняют наличие эффекта снижения прочности бетона при его замачивании и явления, наблюдаемого при замачивании других природных каменных материалов и называемого «размягчением». Кроме того, проведенные исследования убеждают в необходимости учета влияния влажности бетонов на прочностные и эксплуатационные характеристики материала при проектировании и подборе составов. Такой учет позволит продлить сроки эксплуатации конструкций и изделий.

**Выводы.** Выполненные исследования показали, что скорость разрушения бетонных и железобетонных конструкций и изделий при различных видах внешнего воздействия в значительной мере зависит от влажности материала, поскольку последняя меняет значения всех трех начальных параметров бетона: поверхностной энергии, модуля упругости и коэффициента Пуассона, отвечающих за его прочность и долговечность. Выявлено, что значения этих характеристик меняются в сторону уменьшения. Наиболее чувствительной к количеству влаги в структуре бетона признана поверхностная энергия.

Выполненные исследования объясняют наблюдаемый многими исследователями факт снижения прочности бетона по мере его водонасыщения. Приведенные данные также позволяют рекомендовать учитывать потерю прочностных и эксплуатационных параметров при подборе состава бетона тех конструкций, которые в процессе эксплуатации будут подвергаться регулярному замачиванию.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов В.П., Давиденко А.Ю., Попов Д.В. Особенности описания процессов разрушения бетона при различных видах внешнего воздействия // Научное обозрение. 2015. №7. С. 123–127.
2. Истомин А.Д., Беликов Н.А. Зависимость границ микротрещинообразования бетона от его прочности и вида напряженного состояния // Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 159–162.
3. Griffith A.A. The phenomena of rupture and flow in solids // Phil.Trans.Ray.Soc. 1921. Series A-221. Pp. 163–198.
4. Журков С.Н. Проблемы прочности твердых тел // Вестник АН СССР. 1957. № 11. С.78–82.
5. Попов В.П., Коренькова С.Ф., Попов Д.В. Моделирование процесса разрушения бетона гидростатическим давлением на базе механики разрушения // Известия ВУЗов. Строительство. 2010. № 10. С.5–7.
6. Фурса Т.В., Петров М.В., Данн Д.Д., Лыков А.Е. Разработка комплексного метода оценки процессов трещинообразования при одноосном сжатии армированного бетона // Дефектоскопия. 2017. № 6. С. 63–69.
7. Василевская Н.Г., Енджиевская И.Г., Дружинкин С.В., Зубенко В.А., Зырянов Е.В. Структурные факторы управления прочностью высокопрочного монолитного бетона // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 151.
8. Попов В.П., Давиденко А.Ю. Разрушение бетона одноосным сжатием с точки зрения механики разрушения // Строительные материалы. 2012. №3. С. 16–17.
9. Методика определения прочностных и деформативных характеристик при одноосном кратковременном сжатии. МИ 11-74. М.: Изд-во стандартов, 1975. 68 с.
10. Мосесов М.Д. Акустические методы определения долговечности материалов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей. Самара: СамГТУ, 2017. С. 61–65.
11. Фурса Т.В., Оситов К.Ю., Данн Д.Д. Разработка нового неразрушающего метода контроля процесса трещинообразования в бетоне под воздействием климатических факторов // Технологии бетонов. 2013. № 2 (79). С. 36–38.

Об авторах:

**ПОПОВ Валерий Петрович**

доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: npc-ria@yandex.ru

**POPOV Valery P.**

Doctor of Engineering Science, Professor of the Engineering Geology, Foundations and Foundations Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: npc-ria@yandex.ru

**ДАВИДЕНКО Анна Юрьевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: aezg@mail.ru

**DAVIDENKO Anna Yu.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Technology and Organization of Construction Production Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: aezg@mail.ru

**ПОПОВ Дмитрий Валерьевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: popov38@yandex.ru

**POPOV Dmitry V.**

PhD in Engineering Science, Professor of the Engineering Geology, Foundations and Foundations Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: popov38@yandex.ru

Для цитирования: Попов В.П., Давиденко А.Ю., Попов Д.В. О влиянии влажности на поверхностную энергию бетона // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 79–84. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.13.

For citation: Popov V.P., Davidenko A.Yu., Popov D.V. Influence of Humidity on the Surface Energy of Concrete // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 79–84. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.13.

---

Уважаемые читатели!

Научно-технический центр «Геотехника» с лабораторией «Механика грунтов» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

- инженерные изыскания;
- обследования зданий и сооружений;
- судебная экспертиза;
- консультационные услуги.

Руководитель Мальцев Андрей Валентинович

Контакты: 443001, Россия, г. Самара, Молодогвардейская, 194, корпус 13, каб. 0304 Б  
тел. (846) 339-14-69, E-mail: geotechnika@ya.ru

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ



УДК 711.4.01

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.14

Д. А. КОЛЕВАТЫХ

УРБОТРОПИЯ

URBOTROPY

*Рассматривается гипотеза о фенотипологических причинах градообразования. Предлагается взглянуть на «город» как на самую удобную модель выживания современного человека. Параллельно автор объясняет причину возникновения этой модели, воспринимая самого человека как представителя одного из биологических видов нашей планеты. Поднимается тема профессиональной этики в работе современных архитекторов и градостроителей относительно историко-архитектурной среды города. Автор вводит ряд терминов, чтобы описать наблюдаемые явления. Исследуемая тема подкреплена иллюстративным материалом. Изложенные в статье аргументы формулируют общий тезис о необходимости интеграции смежных дисциплин широкого спектра в профессиональное поле архитекторов, решающих современные градостроительные задачи.*

**Ключевые слова:** архитектура, градостроительство, урботропия, реконструкция, фенотипология, градообразование, ордер, городской синтаксис, урбокинетика, биологический вид

Изучая организмы, населяющие нашу планету, мы можем понять и самих себя как часть этого живого мира. Архитектура как дисциплина, в своей специфике решающая самые разные задачи, находится на пересечении научных областей, попеременно обращаясь как к гуманитарным, так и к техническим наукам. Анализируя процессы градообразования, автору данной статьи хотелось взглянуть на параллели, которые встречаются в животном мире, соответственно полагая, что человек является частью этого мира. Согласно исследованиям известного датского генетика Вильгельма Иогансена, фенотип является совокупностью внешних и внутренних признаков организма, приобретенных в результате онтогенеза [1, 2].

*The hypothesis of phenotypological causes of city formation is considered. It is proposed to look at the "city" as the most convenient model for the survival of modern man. In parallel, the author explains the reason for the emergence of this model, perceiving man himself as a representative of one of the biological species of our planet. The topic of professional ethics in the work of modern architects and city planners regarding the historical and architectural environment of the city is raised. The author introduces a number of terms to describe the observed phenomena. The study topic is supported by illustrative material. The arguments set forth in the article formulate a general thesis about the need to integrate related disciplines of a wide range into the professional field of architects solving modern urban planning tasks.*

**Keywords:** architecture, urban planning, urbotropy, restructuring, phenotypology, town-planning, order, urban syntax, urbokinetics, species

Фенотип формируется на основе генотипа, опосредованного рядом внешнесредовых факторов. Фенотип можно определить как «вынос» генетической информации вовне навстречу факторам среды. Примерами фенотипических «выносов» могут служить плотины у бобров, муравейники у муравьев, дупла и гнезда у птиц, норы у грызунов, раковины у моллюсков и т. д. Удивительной особенностью является то, что фенотипический «вынос», как правило, улучшает или структурирует коммуникацию среди представителей вида либо представляет собой «конструкцию», защищающую живой организм от внешних неблагоприятных факторов.

Анализируя исследования Вильгельма Иогансена, автору данной статьи хотелось бы

выдвинуть гипотезу, что человек как составная часть живого мира тоже имеет свой фенотипологический «вынос», но он более сложноорганизован и имеет более сложную структурную составляющую.

В частности, фенотипом человека можно считать «город» как модель, которая обеспечивает набор опций и услуг, которые необходимы человеку для его функционирования и развития. Любопытно отметить, что из всех живых организмов, населяющих нашу планету, только человек имеет наиболее долгий путь становления к самостоятельности с последующей интеграцией в общество, к примеру, детеныши антилопы после рождения могут самостоятельно передвигаться уже спустя 20 минут и присоединяются к общему стаду. В случае человека, путь, который он проходит с момента рождения до обретения независимости и самостоятельности, может занимать десятилетия. Безопасность и защита от неблагоприятных факторов подталкивает его к строительству поселений и городов, если рассматривать «город» как эволюционирующее «поселение». Далее автор хотел бы ввести ряд терминов, описывающих изучаемые явления.

*Урботропия* – процесс наполнения структуры города индивидуальными фенотипологическими моделями и проекциями, которые определяют дизайн города и его характер (рис. 1).

*Урбокинетика* – движение и распространение архитектурных моделей в пространственной ткани города в рамках реакции приживаемости и востребованности.

*Урбанистическая трасса (тропа)* – индивидуальный след, который оставляет после себя человек в модели города за период цикла своей жизни (рис. 2).

*Индекс урбокинетики* – частота появления и повторяемости в структуре города архитектурных моделей.

*Реконструкция урботропических трасс (троп)*.

Рассматривая принципы формирования урботропической трассы (тропы), нужно отметить, что на индивидуальность данной тропы [3] влияют ордерные принадлежности жителя города. Под «ордером» подразумевается совокупность импортируемых и самостоятельно созданных образцов, которые определяют «дизайн» индивидуума [4]. Кроме того, влияние оказывает среда, в которой житель города развивался [1, 2, 4–6], а также многие незначительные ситуативные факторы, которые корректируют вышеописанные направления.

Воспринимая «город» в том числе и как совокупность урботропических трасс, остав-

ленных человеком, мы можем увидеть более детализированную картину, занимаясь реконструкцией, (контекстным) проектированием и обновлением городских объектов [6]. Любопытно отметить, что в некоторых аспектах деятельности человека (к примеру, автомобилестроение) заложен в какой-то мере подсознательно, а в какой-то мере намеренно путь антропогенной проекции. Иными словами, человек, обладая парным набором сенсорных органов, наделяет по вполне понятным причинам парными деталями и свои «проекты». Автор статьи считает, что возможное трактование явления как парейдолия (разновидность зрительных иллюзий) в техническом аспекте может быть связана с тем, что человек подсознательно «выносит» свою антропоморфную модель в конструкции различных изделий, которыми насыщает свою фенотипическую среду обитания (рис. 3). Рассматривая по аналогии понятия доминантных и рецессивных признаков, которые «борются» между собой за право существовать, мы можем видеть, как фенотипические модели жителей города также проявляют признаки такой борьбы. Они выражаются в превалировании ордерных и полиэтнических течений внутри городской структуры, отстаивающих свое право на существование в долгосрочной проекции города [1, 2, 4, 6]. Задача архитектора в области реконструкции и реставрации историко-архитектурного наследия заключается в поддержании баланса этих признаков, ограждении от исчезновения более неустойчивых и рецессивных течений, для поддержания многообразия городской модели. Борьба за сохранение той или иной «исторической постройки» в действительности выглядит как борьба представителей определенного биологического вида за право отстоять свою внешнюю фенотипическую проекцию, отражающую аутентичную морфологию индивидуума в соответствии с его ордером [4, 6].

На фоне негласной борьбы и конкуренции за «ресурсы» стоит отметить те эпизоды, когда индивидуумы объединяются для того, чтобы усилить жизнеспособность своих фенотипических моделей. В истории современной России образование синтезов фенотипов можно сопоставить с качеством жизни. Чем выше качество жизни, тем меньше встречаются коллаборации. Это обусловлено стремлением индивидуума к самостоятельности и независимости. Данное явление, охватывающее временной период становления Российской Федерации, более детально рассмотрено в статье «Архитектурный ордер и люди. Трайболизм и средовая замкнутость жителей России», в которой описываются случаи трансформаций городского пространства,



Рис. 1. Урботропия и человек





Рис. 2. Урбанистические трассы в модели города (коллаж)

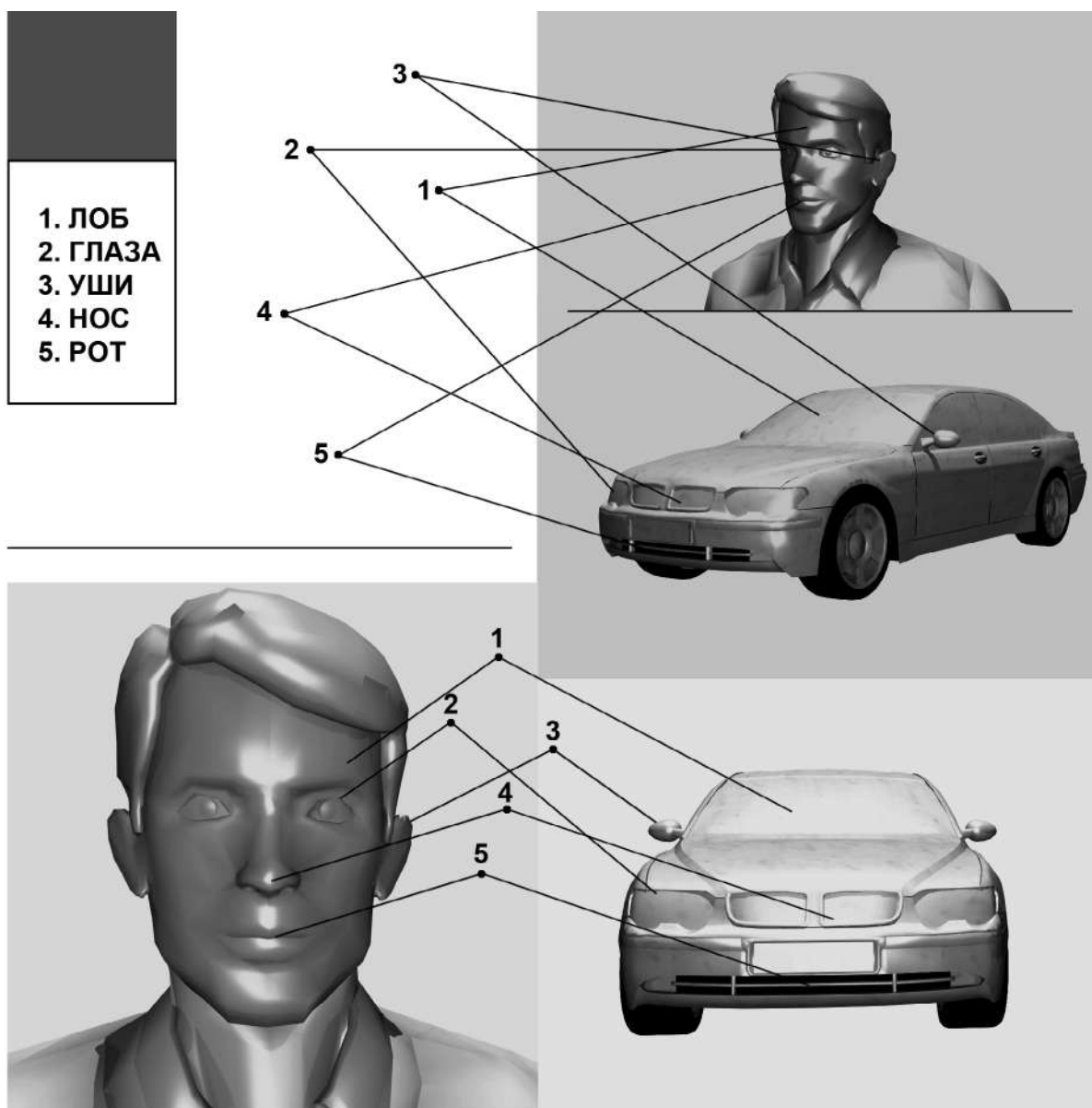


Рис. 3. Антропоморфная проекция

переформатирования и объединения городских объектов на фоне прочих факторов влияния. Однако несмотря на то, что более детальный анализ данного явления выполнен в вышеупомянутой статье, в рамках представленной работы автор хотел бы привести несколько характерных примеров распространенных в то время [4] фенотипологических синтезов (рис. 4).

Нужно отметить, что данные примеры синтезированных фенотипов можно встретить и в наше время внутри городского пространства. Одним из таких примеров может послужить стихийный рынок. Как явление, стихийные рынки возникают, как правило, в непредусмо-

тренных для этого локациях. Понимание непропорционально занимаемого пространства городской модели подталкивает индивидуумов объединяться и создавать локальные союзы внутри торговой площадки, систематизируя и организуя ее. Тем самым эти действия направлены на желание обрести уверенную поддержку, образуя многочисленную группу, и легитимизироваться в рамках городского пространства. Так как любая индивидуальная фенотипическая «акция» отдельного человека может восприниматься в роли «погрешности» и нивелироваться в рамках городской организации, явление, имеющее массовый характер, будет всегда

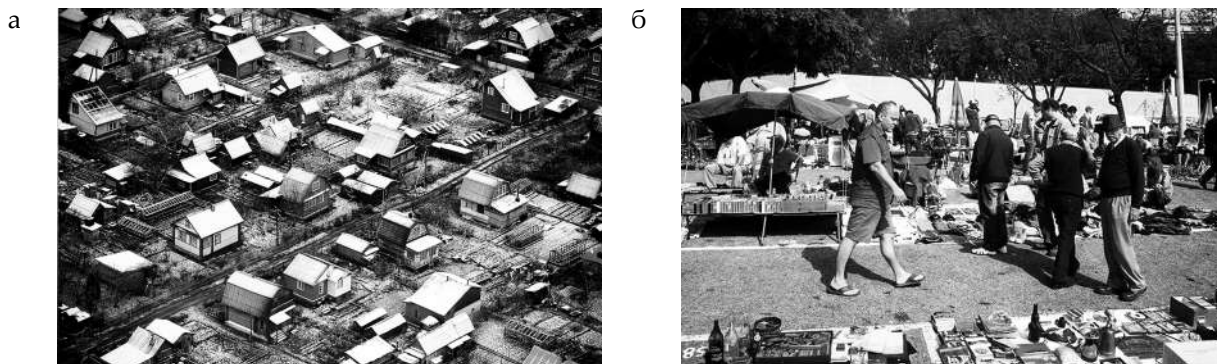


Рис. 4. Фенотипологические синтезы: а – дачный массив; б – барахолка

более убедительно и шансов игнорирования у него меньше. Любопытным наблюдением может послужить то, что с точки зрения городского дизайна подобные фенотипологические синтезы (стихийные рынки, гаражные и дачные массивы и прочие образования) имеют гомогенное проявление в рамках своей формы. Иными словами, они одинаково разные.

Анализируя описанное явление в рамках тематики данной статьи, мы можем пронаблюдать что похуже поведение присутствует и среди представителей других биологических видов фауны. Данное поведение описано в «эффекте путаницы» или «predator confusion effect», который подразумевает, что любой член стаи, который выделяется своим внешним видом, станет преимущественной мишенью хищников. Это объясняет, почему рыбы, к примеру, предпочитают стаи похожих на себя особей. Этот эффект также объясняет, почему стая является гомогенной формой с точки зрения её дизайна. Подобные механизмы защиты и существования можно встретить и у других живых существ: как мы можем наблюдать, человек в рамках организации городского пространства, а точнее выражая свои фенотипические проекции, проявляет идентичное поведение.

**Выводы.** 1. Автор статьи предлагает воспринимать процесс градообразования и его развития с точки зрения биологии как науки, объясняющей взаимодействие живых существ с органической и неорганической средой. Подразумевая, что поиск ответов на механизмы развития города стоит искать в сопоставлениях живых видов, населяющих нашу планету, с видом человека.

2. В статье сформулирован и предложен ряд новых терминов, которые позволят автору и его коллегам систематизировать процесс изучения градообразования.

3. Автором предложено объяснение явления гомогенного дизайна в рамках городского пространства.

4. На основе выдвинутой гипотезы автор планирует развить исследование, которое будет отражено в диссертационной работе. Выполняя более детальный анализ, включающий лабораторные изыскания с привлечением специалистов из смежных областей, мы сможем критически взглянуть на наблюдаемые явления и получить объективные данные.

5. По мнению автора, данный подход даст возможность связать многие явления, происходящие на нашей планете, в рамках объяснения вопросов жизнеформирования, что прогнозируемо качественным образом скажется на всей дисциплине архитектуры в целом, сделав ее методы работы более профессиональными, а механизмы изученными.

В попытке увидеть и проанализировать жизненный цикл человека и механизмы его работы мы понимаем, насколько тождественен и связан он с внешним миром и существами, населяющими его. Едва ли будет корректно отделить человека от всех живых организмов, обитающих на нашей планете, и рассматривать его как нечто обособленное. Современная архитектура как научная дисциплина, всё чаще решая актуальные проблемы жизнеобеспечения людей, использует «инструменты» смежных дисциплин, таких как физика, биология, химия. И только пересекая области наук, мы сможем открывать новые горизонты понимания нашего мира.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Winge Ø. Wilhelm Johannsen: The creator of the terms gene, genotype, phenotype and pure line // Journal of Heredity. 1958. Т. 49. №. 2. С. 83–88.
2. Dawkins R. The extended phenotype: The long reach of the gene. Oxford University Press, 2016.
3. Ахмедова Е. А. Эстетика архитектуры и дизайна / СГАСУ. Самара, 2007. 65 с.

4. Колеватых Д. А. Архитектурный порядок и люди. Трайболизм и средовая замкнутость жителей России // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 2. С. 76–84.

5. Schmeekloth L. H., Shibley R. G. Placemaking: The art and practice of building communities. New York : Wiley, 1995.

6. Kolevatykh D. Городской синтаксис // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 3. С. 66–70. <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2018-3-66-70>.

Об авторе:

**КОЛЕВАТЫХ Дмитрий Алексеевич**  
аспирант кафедры градостроительства  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: eva2@mail.com

**KOLEVATYKH Dmitry A.**  
Postgraduate Student of the Urban Planning Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: eva2@mail.com

Для цитирования: Колеватых Д.А. Урботропия // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 85–91. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.14.

For citation: Kolevatykh D.A. Urbotropy // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 85–91. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.14.

---

---

#### Уважаемые читатели!

Научно-технический центр «Пожарная безопасность» приглашает к сотрудничеству.  
Основные направления деятельности Центра:

- оказание образовательных услуг по направлению «Пожарная безопасность»;
- разработка мероприятий по предотвращению пожаров

НТЦ «ПБ» осуществляет образовательную деятельность по направлениям:

- курсы повышения квалификации;
- профессиональная переподготовка;
- обучение по профстандартам.

Слушатель получает:

- удостоверение установленного образца о повышении квалификации;
- диплом о профессиональной переподготовке;
- свидетельство о полученной рабочей профессии;
- сертификат о прохождении курсов.

Руководитель Яценко Петр Павлович

Контакты: 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 650.  
тел. (846) 242-11-19, E-mail: samara-pb@inbox.ru

И. А. КОТЕНКО

## АРХИТЕКТУРА ШАТРОВ ИСТОРИЧЕСКИХ ЗДАНИЙ САМАРЫ

## HIP-ROOFS OF SAMARA HISTORICAL BUILDINGS

В статье исследуется один из характерных завершающих элементов крыши исторических жилых и гражданских зданий – шатер. Отмечается многообразие форм и их разновидностей, появившихся в Самаре в конце XIX – начале XX века, в эпоху расцвета интереса к народным традициям и стилизации в духе национального неоромантизма. Автор впервые классифицирует распространенные в городе формы шатровых завершений в виде простых четырехгранных шатров, колпаков, палаток, епанчи на крышах домов, а также с разнообразными слуховыми окнами; шатров на угловых башенках, композиционно сложных шатров с украшениями в виде килевидных закомар, гербовых вставок, с боковыми обелисками, вальмовыми наложениями и крестовыми украшениями, кубоватых, бочкообразных и многоярусных шатров. Подчеркнуто особое значение шатра в градостроительстве, композиции зданий и в узнаваемости облика поволжского исторического города Самары. Целью статьи является изучение характерной черты идентичности города, его архитектуры, в частности шатровых элементов исторической застройки.

**Ключевые слова:** региональные особенности архитектуры, русский стиль, шатровое завершение, виды шатров, колпак, палатка, епанча, куб, бочка, главка, шпиль, флюгер, башенка, закомара.

Конец XIX – начало XX в. во всем мире было отмечено всплеском интереса к национальным традициям. В России эти идеи горячо поддерживались известным художественным критиком В.В. Стасовым. Художники, музыканты, зодчие искали вдохновения в национальном наследии. Историк архитектуры Е.А. Борисова отмечает, что в тот период это было явлением, «характерным для всей эпохи в целом и являющимся одним из проявлений историзма в художественном сознании» [1]. В архитектуре появились два направления «в русском духе», которым подражали зодчие: это народная деревянная и каменная архитектура XVII в. На Всемирной выставке в Париже в 1878 г. архитектор И.Н. Петров (И.П. Ропет) запроектировал павильон, напоминающий деревянный царский дворец в Коломенском XVII в. С тех пор с именем автора связывается направление, получившее название ропетовского стиля. Большое влияние на последователей оказали работы архитекторов Н.В. Никитина, В.А. Гартмана. Примеры стилизаций предлагались в профес-

The article explores one of the characteristic final elements of the roofs of historic residential and civil buildings - the tent. The variety of forms and their varieties that appeared in Samara in the late XIX - early XX century, in the heyday of interest in folk traditions and stylisations in the spirit of national neo-romanticism, is noted. For the first time, the author classifies the tent completion forms common in the city in the form of simple four-sided tents, hubcaps, tents, epanches on the roofs of houses, as well as with various dormer windows; tents on corner turrets, compositionally complex tents with ornaments in the form of keel-shaped zakomars, stamped inserts, with side obelisks, hip overlays and cross decorations, cubic, barrel-shaped and multi-tiered tents. The author emphasizes the special significance of the tent in town planning, the composition of buildings and the recognition of the appearance of the Volga historical city of Samara. The purpose of the article is to study the characteristic features of the identity of the city, its architecture, in particular the tent elements of historical buildings.

**Keywords:** regional features of architecture, neo-Russian style, hip completion, types of hips, hood, tent, epancha, cube, barrel, hip's top, spier, weathercock, turret, zacomara.

сиональных журналах «Мотивы русской архитектуры» и «Зодчий». Наряду с «русско-московским» стилем правительственные власти пропагандировали для крупных культовых зданий «русско-византийский» стиль. В 70-х гг. XIX в. зодчие часто только копируют старые образцы, но к концу XIX в. подражание народному творчеству становится более разнообразным, формируется «неорусский» стиль, образцы которого (например, Ярославский вокзал Ф.О. Шехтеля) некоторые авторы относят к неоромантической ветви русского модерна [2].

В Самаре русский стиль не так близок к модерну, как к эклектике, но это не умаляет мастерства зодчих, с большим тактом и соответствующей масштабностью использующих стилизованные формы русской архитектуры в скромных по размеру жилых и гражданских зданиях.

Многие самарские архитекторы получили столичное образование и интересовались архитектурной модой, некоторые строители вышли из крестьянской среды и не были чуж-

ды интереса к народному зодчеству. Вероятно, и купцы-заказчики домов в большинстве своем отдавали в архитектуре предпочтение русским мотивам. В «русском духе» строили здания самарские архитекторы А.А. Щербачёв, Ф.П. Засухин, А.У. Зеленко, З.В. Клейнерман, Г.Н. Мошков, Т.С. Хилинский, Ф.А. Черноморченко. Новое направление совпало в городе с историческим периодом конца XIX – начала XX в., когда, по словам самарского краеведа К.П. Головкина, было «можно видеть, как быстро и богато стала застраиваться Самара, параллельно с ростом площади города, населения и с торгово-промышленным оживлением» [3]. Из городских общественных зданий в 1888 г. в неорусском стиле по проекту московского архитектора М.Н. Чичагова был возведен «терем» Городского театра, ставший визитной карточкой Самары. Из культовых построек в русско-московском стиле с шатрами над колокольней построен в 1861 г. Покровский собор на ул. Сокольничьей (арх. Э.И. Жибер). В 1865 г. – Петропавловский собор на ул. Сенной и в 1869 г. – церковь Веры, Надежды, Любви и матери их Софии на ул. Предтеченской (оба реконструированы в 1899 г. арх. А.А. Щербачёвым); в 1905 г. им же выстроено здание Духовной консистории на ул. Александровской. В 1915 г. в поселке Запанском – церковь с высоким шатром над колокольней во имя Архистратига Божия Михаила. В 1894 г. в официально утвержденном русско-византийском стиле был возведен новый Спасо-Воскресенский (Александровский) собор на Соборной площади по проекту петербургского профессора Э.И. Жибера. Кроме культовых построек, в Самаре архитектором А.У. Зеленко в 1900 г. выстроено здание Губернской земской управы на ул. Саратовской, а в 1902 г. архитектором Т.С. Хилинским – больница Общины Красного Креста на ул. Москательной.

В зависимости от возможностей заказчика и месторасположения в городе в русском стиле возводились каменные, каменно-деревянные и деревянные жилые дома. На центральных улицах, например Панской, 55, Соборной, 59, 118, 121, 134-136, Предтеченской, 46, 59, Москательной, 69, 73 и др., располагались каменные, реже каменно-деревянные доходные и собственные дома. На улицах, ведущих к рынкам и торговым площадям, чаще можно видеть деревянные и каменно-деревянные жилые здания (Ильинская, 67, 73 и 78, Самарская, 151 и 182, Вилоновская, 88, Троицкая, 82). Наиболее характерными их деталями были завершения крыш. Среди самых распространенных элементов были *шатры* (рис. 1).

Форма шатра являлась наиболее удобной в местном климате для лучшего удаления снега с крыши. Но роль формы не ограничи-

валась утилитарной. Вероятно, шатры несли символ определенной защиты, пришедший вначале из традиций культовой архитектуры, а затем из национальной романтической традиции. Безусловно, шатровая форма в жилом доме несла декоративное и образно-смысловое значение. Яркую роль вертикаль шатра играла в объемно-пространственной композиции здания, выделяя наиболее важные части дома. Градостроительное значение доминант шатров в формировании силуэта улиц тоже существенно. Кроме этого, здания с угловыми шатрами на перекрестках являлись приметными ориентирами в уличной застройке.

Самые простые из шатров представляли собой четырехгранные пирамиды на квадратном основании, где высота пирамиды преобладала над шириной квадратного основания иногда в 1,5–2 раза. Если высота примерно была равна основанию, то завершение называлось *колпаком* (рис. 1, а, г) [4]. Некоторые из них имели небольшое усечение в виде площадки для шпилья, чаще деревянного. Иногда площадка артикулировалась профилированной полочкой-уширением (рис. 1, б, г) или *главкой* (рис. 1, в), а также могла быть украшена балкончиком, который первоначально существовал в доме Е.Н. Кошелевой на углу ул. Троицкой и Симбирской (Галактионовская, 171 / Ульяновская, 14). В практике самарского строительства шатры располагались либо симметрично на боковых сторонах здания как в доме А.И. Юрина на ул. Предтеченской (Некрасовская, 46), либо на центральном эркере (в доме по ул. Ильинской (Арцыбушевская, 78), над проходом с улицы во двор дома по ул. Предтеченской (Некрасовская, 59) или над балконом (Садовая, 124). В некоторых случаях зодчие использовали не форму шатра, а форму *палатки* – тоже четырехгранной пирамиды или призмы, но не на квадратном, а на прямоугольном основании, с высоким подъемом не менее длины прямоугольника основания (рис. 1, ж). Кроме шатров, колпаков и палаток, применялась т.н. *епанча* – завершение в виде призмы с большим преобладанием длины над высотой и шириной [3]. Две епанчи можно увидеть над боковыми частями здания Духовной консистории (арх. А. Щербачёв) на углу ул. Александровской и Соборной (Вилоновская, 22 / Молодогвардейская, 129). В особняке И.А. Клодта на ул. Дворянской (Куйбышева, 22) тот же автор использует палатки «в пашечку» с высоким коньком, украшенным гребнем со стамиками, и крестообразные скатные епанчи с артикулированными фронтонами (рис. 1, з). Нужно отметить, что шатров в виде простых пирамид в Самаре было меньше других их разновидностей. Чаще шатры дополнялись



Рис. 1. Простые четырехгранные пирамидальные шатры, колпаки и палатки жилых домов Самары (фото с сайтов [vseodomarossii.samara.ru](http://vseodomarossii.samara.ru); [hitmanah.lj.com](http://hitmanah.lj.com); [seleste-rusa.lj.com](http://seleste-rusa.lj.com)): а – дом Основнина на ул. Соборной (Молодогвардейская, 121); б – дом Е.Н. Кошелевой на углу ул. Троицкой и Симбирской (Галактионовская, 171 / Ульяновская, ); в – дом А.И. Рыжова на углу ул. Александровской и Ильинской (Вилоновская, 88 / Арцыбушевская, 67); г – дом П.А. Сидорова на ул. Панской (Ленинградская, 55); д – дом А.И. Юрина на ул. Предтеченской (Некрасовская, 46); е – дом на ул. Ильинской (Арцыбушевская, 78); ж – дом М.Д. Чельшева на ул. Саратовской (Фрунзе, 56); з – особняк И.А. Клодта на ул. Дворянской (Куйбышева, 22)

слуховыми окнами, необходимыми не только из эстетических предпочтений, но и для проветривания или освещения внутреннего пространства шатра. Слуховых окон могло быть от одного до трех-четырех.

Иногда слуховое окно появлялось, вероятно, в процессе строительства. Так, сегодня мы видим окно на угловом шатре дома на углу ул. Фрунзе, 21 / Комсомольской, 151, тогда как в проекте здания А. Щербачёва окна не было [5]. Рисунки слуховых окон разнообразны: встречаются прямоугольные, с полукруглым и остроугольным завершением, круглые люкарны. Почти всегда слуховые окна обрамлены сверху скатным или полукруглым карнизом, иногда с подзорами (рис. 2, б, г) или с полотенцами (рис. 3, в). Вместе с ними проектировались различные декоративные главки, как непосредственно размещенные на вершине шатра, так и на его шпилях (рис. 2). Главка могла иметь форму двух перевернутых относительно друг друга крохотных разновеликих шатров, расположенных на несколько усеченной пирамиде на крыше, как на ул. Вилоновской, 88 (рис. 1, в). Некоторые главки имели форму приподнятой над вершиной пирамиды *луковицы* на шпиле (ул. Л. Толстого, 69, восстановлена) или куба, надетого на вершину шатра (ул. Садовая, 105, утерян, рис. 2, ж).

Кроме пирамидальных шатровых форм, иногда архитекторами в гражданских зданиях

использовались шлемовидные формы похожих на шатры куполов как над домовой церковью больницы Красного креста на ул. Москательной (рис. 3, а); *кубоватые* шатры как над главным входом жилого дома А.А. Кобылкиной на ул. Симбирской (Ульяновская, 51) (рис. 3, б).

Особым своеобразием отличались кубоватые шатры на доме М.Н. Рафаиловой на ул. Троицкой (Галактионовская, 82) (рис. 3, в). Реже использовались *бочки* как на здании бывшей Полицейской части в пер. Белинского, 3 (рис. 3, г).

Отдельного внимания ввиду особой декоративности заслуживают многоплановые шатры с крестообразным фасадным орнаментом. Им были украшены фронтонные вставки в шатер дома М.М. Тимрот (ныне перестроен) по ул. Самарской, 165 (рис. 3, д). Сложную форму в виде наложения полуальмовой конструкции на шатер (вместе с крестообразным декором) использует архитектор А. Щербачёв в доме Ю.И. Поплавского по ул. Саратовской (Фрунзе, 171) (рис. 3, е). Крест размещен также над воротами дома (рис. 3, ж). По проекту (рис. 4, и) аналогичный крест образовывали центральная вертикальная и горизонтальная доски, соединяющие вершину и края скатного карниза слуховых окон шатра дома М.Д. Маштакова (впоследствии крест остался лишь на центральном щипце) по ул. Самарской, 207 (сегодняшний



Рис. 2. Шатры с разнообразными слуховыми окнами и главками (фото с сайтов [vseodomarossii.samara.ru](http://vseodomarossii.samara.ru); [chronograph.lj.com](http://chronograph.lj.com); [hitmanah.lj.com](http://hitmanah.lj.com)): а – шатер на доме по ул. Соборной (Молодогвардейская, 134-136); б – его слуховое окно с треугольным карнизиком; в – один из симметричных шатров со слуховым окном с треугольным завершением на доме по ул. Алексеевской (Красноармейская, 60); г – угловой шатер на том же доме со слуховым окном с полукруглым карнизом; д – угловой шатер с круглым слуховым окном на доме по ул. Соборной (Молодогвардейская, 59); е – угловой шатер с двумя слуховыми окнами на ул. Самарской, 40; ж – шатер с тремя прямоугольными окнами и главкой на вершине шатра на ул. Садовой, 105 (ныне перестроен)

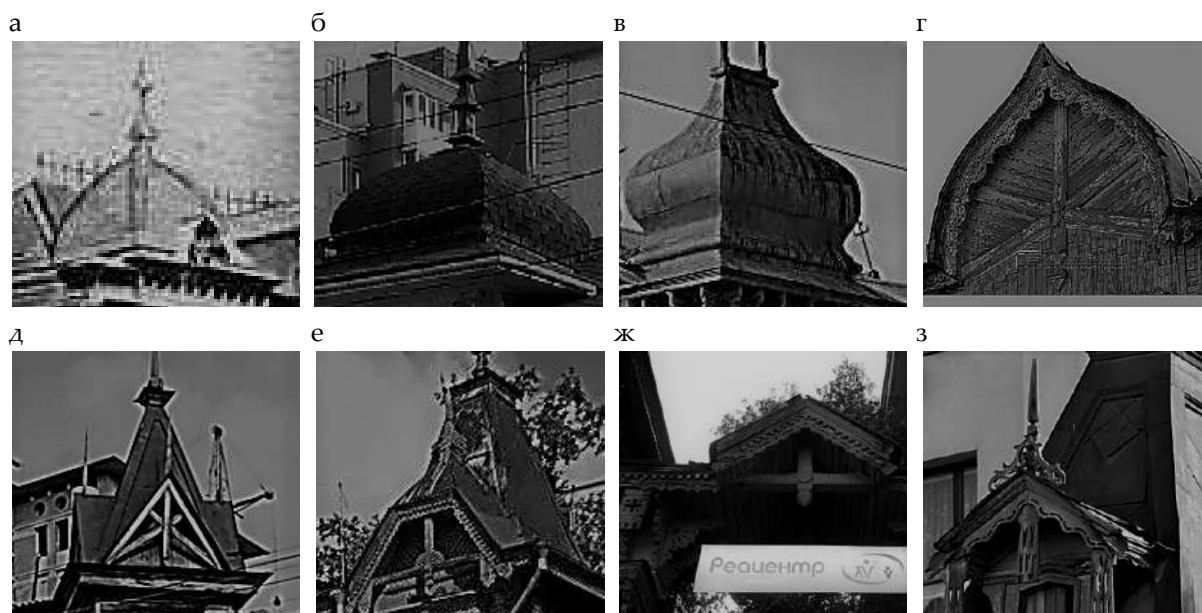


Рис. 3. Шлемы, кубы и бочки, а также многопланные шатры с крестообразным фасадным орнаментом (фото с сайтов [kraeved-samara.ru](http://kraeved-samara.ru); [vseodomarossii.samara.ru](http://vseodomarossii.samara.ru); [seleste-rusa.lj.com](http://seleste-rusa.lj.com); [gon1969.lj.com](http://gon1969.lj.com); [kraeham.lj.com](http://kraeham.lj.com); [natalya-maslova.lj.com](http://natalya-maslova.lj.com)): а – утраченный шлем домовй церкви больницы Красного креста на ул. Москательной (Л. Толстого, 136); б – кубоватое завершение входной части дома А.А. Кобылкиной на ул. Симбирской (Ульяновская, 51); в – один из кубоватых шатров на доме М.Н. Рафаиловой на ул. Троицкой (Галактионовская, 82); г – бочка на доме б. Полицейской части в пер. Белинского, 3; д – дом М.М. Тимрот на ул. Самарской, 165; е – крестовой орнамент шатра дома Ю.И. Поплавского на ул. Саратовской (Фрунзе, 171); ж – крест над воротами того же дома; з – сегодняшний вид шатра дома М.Д. Маштакова на ул. Самарской, 207



вид шатра на рис. 3, з). Характерный крестовой орнамент имеет *бочка* на крыше бывшей Полицейской части в переулке Белинского, 3 (рис. 3, г). Нельзя не согласиться с исследователем самарской архитектуры В.Г. Каркарьяном, что символика креста в домах «русского стиля» имела особое значение [6].

Крестообразный орнамент проектировался не только на шатрах, но и на шпичах и палатках [5], например, дома: И.М. Быкова (снесен в 2017 г.) по ул. Буянова, 16; М.Д. Маштакова на ул. Самарской, 207; Л.П. Павловой в 62 квартале по ул. Садовой; Е.З. Деевой в 3 квартале по ул. Казанской; И.П. Ерофеева в 78 квартале по ул. Сокольничьей; В.А. Степанова в 28 квартале по ул. Самарской; А.В. Тихомирова в 110 квартале по ул. Соборной; М.Д. Любимовой в 110 квартале на ул. Симбирской (большинство зданий утрачено).

Есть примеры многопланных построений шатров, когда они развиваются в глубину или в ширину вслед за протяженным фасадом здания. Интересна двухплановая шатровая композиция с наложением фронтона в виде трехчастной *закомары* с декоративной гербовой вставкой на пирамиду крыши Городского театра (рис. 5, а). Еще более развитыми композициями отличаются сложные шатры на относительно высоком трехэтажном доме М.В. Каргиной по ул. Соборной

(Молодогвардейская, 59 / пер. Высоцкого, 2), (рис. 5, б, в). Все композитные шатры имеют приподнятое над крышей основание. Угловой шатер дома М.В. Каргиной развит в высоту, а боковые шатры на протяженных фасадах развивались композиционно в ширину, дополнительно фланкировались обелисками. Обелиски со шпильями есть и в доме А.И. Кириллова по ул. Дворянской (Куйбышева, 65) (рис. 5, г). Шатер двухэтажного особняка А.И. Кириллова находится над боковым ризалитом с парадным входом в здание. Основания пирамиды и боковых обелисков украшены рядом *кокошников* на резных каменных колонках. В шатре имеется три слуховых окна. Наверху шатра и обелисков располагались шпильи. Интересной композицией отличались, судя по проекту [4], сложные шатровые завершения (не сохранились) красно-кирпичного дома Т.А. Кудряшова на Троицкой улице (Галактионовская, 41) архитектора Г.Н. Мошкова. На основаниях боковых пирамид, украшенных нишами-ширинками, размещались тройные килевидные *закомары*: главная – посередине, поменьше – с двух ее сторон. Они продолжают сегодня украшать фасад дома. Сами пирамиды имели по два слуховых окна, уменьшенную копию теремка на вершине и шпильи с флюгерами – флагами. Лотковая (теремковая) крыша между ними также не сохранилась.



Рис. 5. Композитные многопланные и многоярусные шатры (фото с сайтов fotokto.ru; natalya-maslova.lj.com; hitmanah.lj.com; samara-history.lj.com; vsedomarossii.samara.ru; ele-n-a.lj.com; фото из личного архива автора): а – трехчастная *закомара* на первом плане шатра Городского театра; б – шатер с фронтоном, круглым окном и обелисками на фасаде дома М.В. Каргиной по пер. Высоцкого, 2, 6; в – шатер с главкой-вазончиком (реставрирован), окном и обелисками на фасаде дома М.В. Каргиной по ул. Молодогвардейской, 59; г – шатер с тремя слуховыми окнами на основании, украшенном рядом *кокошников* на резных колонках, и боковыми обелисками со шпильями в доме А.И. Кириллова на ул. Куйбышева, 65; д – многоярусный шатер на ул. Садовой, 124; е – многоярусный шатер на ул. Арцыбушевской, 73; ж – многоярусный шатер дома В.Е. Прахова на ул. Самарской, 151; з – многоярусный шатер на ул. Некрасовской, 59 (утрачен)

Интересны примеры многоярусных шатров. Иногда они расположены над балконами как на ул. Садовой, 124 или ул. Арцыбушевской, 73, формы которых в Самаре являются практически единичными (рис. 5, д, е). Первый имеет отголоски восточных мотивов, так как форма его представляет уступчатую пирамиду. Второй, с сильным преобладанием высоты шатра (практически в этаж со шпилем) над другими габаритами, имеет необычную многоярусную форму с маленькими слуховыми окнами в третьем ярусе, с трудом может быть отнесен к шатровым формам. К сожалению, сегодня он сильно разрушен и требует срочного восстановления. Возможно, что одной из целей зодчих в применении многоярусности было закрепление углового ориентира на перекрестке улиц. Так, например, поднят шатер в доме титулярного советника В.Е. Прахова на углу улиц Самарской, 151 / Рабочей, 21 (рис. 5, ж). Иногда это создание особого акцента на главном элементе дома (балкон) как на ул. Арцыбушевской, 73 (рис. 5, е). Выделялась и входная часть дома. Таким знаком был утраченный шатер на эркере над аркой во двор к «черному» входу дома по ул. Предтеченской (Некрасовская, 59), (рис. 5, з). И в том, и в другом случае шатер расположен не на крыше или небольшом основании, а на развитой по высоте башенке, часто с круглым окном [7]. Интересно, что в не-

которых случаях окно появлялось в процессе строительства. Так, запоминающееся сегодня круглое окно углового шатра дома В.Е. Прахова в проекте отсутствовало [5].

С течением времени многие из шатров исчезли, в том числе вместе с домами. Облик их тоже менялся до неузнаваемости. Поэтому в представлении первоначального замысла неопределимы старые фотографии и сохранившиеся архивные чертежи проектов зданий. Так, на фотографиях 1905 и 1910 гг. дома М.Д. Чельшева видно, что знакомый самарцам фасад дома по ул. Красноармейской, 60 выглядел совсем иначе. За ныне существующими пирамидальными шатрами на фасаде дома по этой улице располагались крупномасштабные кубоватые шатры [8]. По фотографиям же самарский журналист А. Арутюнов обнаружил фасад дома О.К. Полуэктова на б. Казанской улице (ул. А. Толстого, 118) с некогда многочисленными и разнообразными шатрами, который считали полностью утраченным [9]. Поэтому для классификации первоначальной морфологии самарских шатров того времени корректным будет отдельное исследование проектов зданий (см. рис. 4).

Несмотря на многообразие самарских шатров, могут быть выделены наиболее принципиальные базовые формы. Это пирамидальные шатры и колпаки, палатки, епанчи, бочки, кубы (рис. 6).

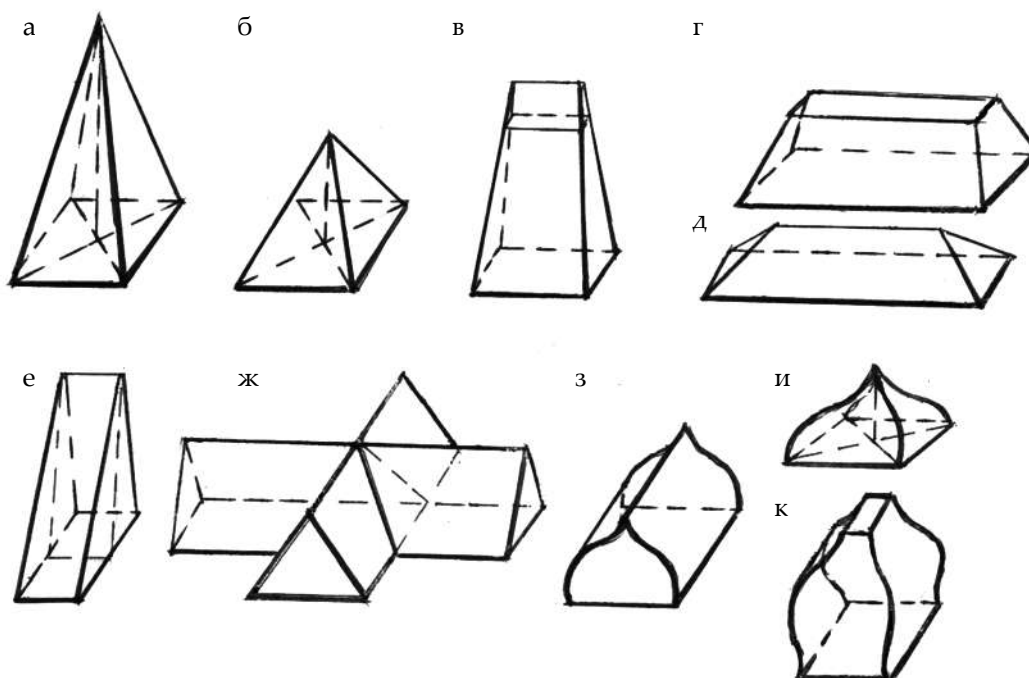


Рис. 6. Базовые формы самарских шатров: а – пирамидальные шатры; б – колпак; в – палатка; г, д – виды епанчи; е – щипец; ж – крестовая епанча; з – бочка; и, к – виды кубоватых шатров

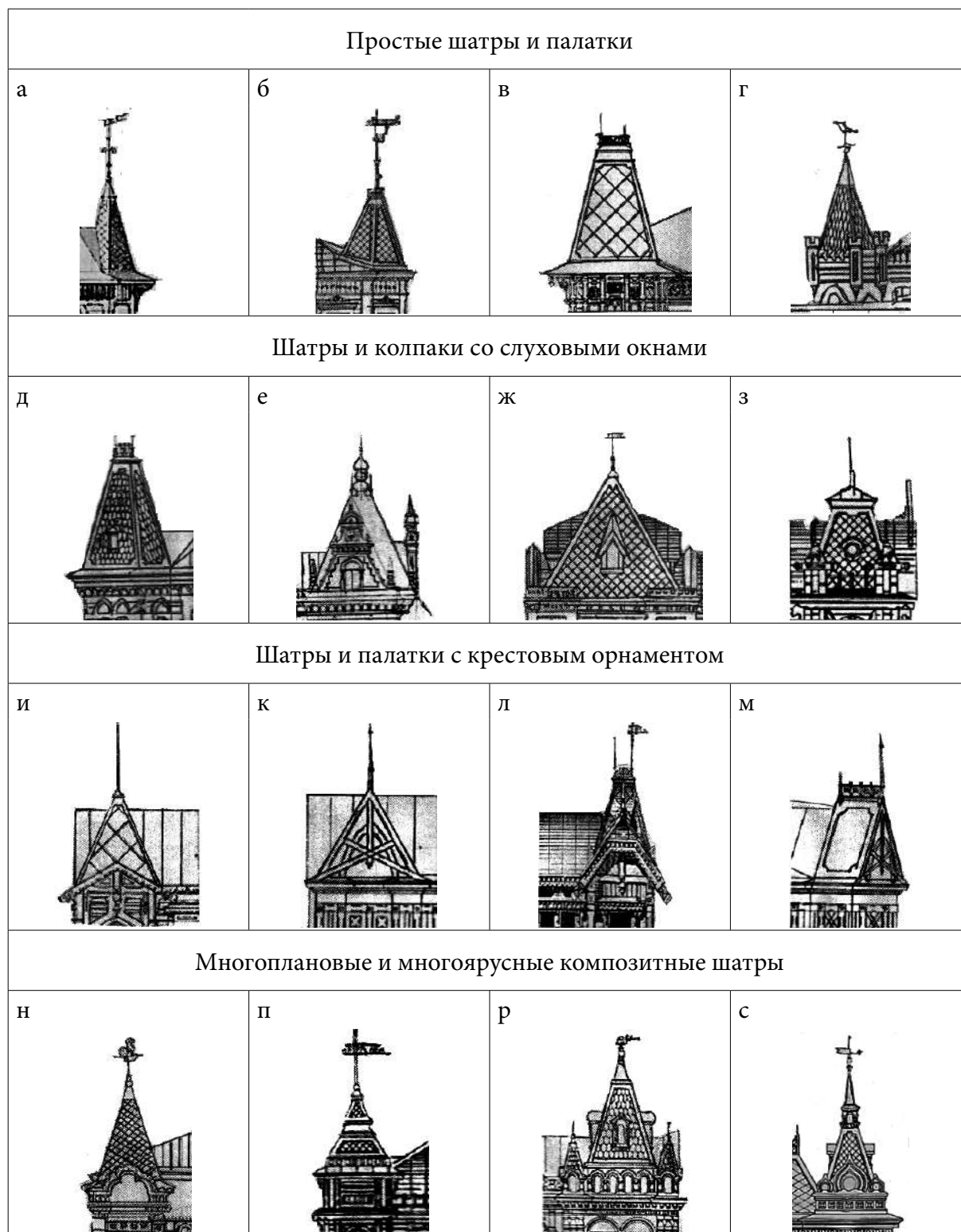


Рис. 4. Многообразие самарских шатров (в проектах самарских архитекторов): а – дом А. фон Вакано; б – дом М.А. Мятлова; в – дом А.Н. Аникина; г – дом М.Ю. Розинои; д – дом А.А. Афанасьевой; е – русский торгово-промышленный банк; ж – дом М.М. Дьяковой; з – дом В.Е. Прахова; и – дом М.Д. Маштакова; к – дом М.М. Тимрот; л – дом Ю.И. Поплавского; м – дом Л.П. Павловой; н – городской театр; п – дом В.Е. Прахова; р – дом А.И. Кириллова; с – дом Т.А. Кудряшова

Усложнение базовых форм шатров шло по пути развития их композиций и увеличения композиционных элементов. Простые шатровые формы на квадратном основании постепенно наделялись многочисленными слуховыми окнами разнообразного очертания, украшенными подзорами, различными главками, шпилями и флюгерами. Наиболее значимые в композиции здания и пространства объемы подчеркиваются размещением их на развитых башенках. Четырехскатные крыши на прямоугольном основании (палатки) также имеют слуховые окна и украшения стамиками и шпилями. Используются крещатые виды епанчи (например, в доме И.А. Клодта) с артикулированными фронтонами. На шатрах и шипцах часто применяется орнамент в виде прямого или косоугольного креста. Появились сложные композиции шатровых завершений, развитые по высоте (многоярусные) и по ширине (протяженные) на длинных фасадах, а также по глубине (многоплановые). Отдельного внимания заслуживают единичные примеры кубоватых шатров разнообразных форм. Есть примеры конических (круглых) шатров на зданиях, выполненных в манере европейского неоромантизма.

**Выводы.** 1. Шатры самарских жилых и гражданских зданий конца XIX – начала XX в., несмотря на свое многообразие и уникальность, имеют некоторые типические градостроительные и морфологические черты. Прежде всего, это особенности размещения на важнейших городских перекрестках в качестве городских доминант и ориентиров, а также на некоторых участках улиц (локальные доминанты). Шатры играют важную роль в формировании уличных силуэтов и глубинно-пространственной композиции улиц [10].

2. Самарские зодчие использовали базовые формы шатровых (четырехскатных) завершений крыш, описанные в книге историка русской архитектуры М.Красовского [4]. Это пирамиды на квадратном основании – шатры (с преобладанием высоты над сторонами основания) и т.н. колпаки (с высотой, равной основанию). Кроме них другой базовой формой являлась пирамида на прямоугольном основании – т.н. палатка (с преобладанием высоты над длиной и шириной основания), т.н. епанча (с преобладанием длины над другими габаритами) и иногда т.н. скирда (с высотой, равной длине основания), но последние практически не сохранились. Кроме непосредственно шатровых форм, архитекторы Самары использовали и другие разновидности завершений «в русском стиле», т.н. бочки и кубы.

3. Однако все базовые формы различным образом художественно усложнялись. Самые

простые пирамидальные формы преобразовывались усечением в виде перевернутой малой пирамиды, украшались шпилями с красивыми флюгерами. Горизонтальные коньки пирамид на прямоугольном основании имели стамики. Шатровые завершения могли иметь одно или несколько слуховых окон с карнизиками, на каждом доме разнообразной формы. Шатры и бочки, шипцы фасадов декорировались любимым крестовым орнаментом. Более сложные композиции были многоярусными (развивались в высоту) и многоплановыми (развивались в глубину). Иногда завершения имели композиционное развитие в ширину, когда шатры фланкировались обелисками. Встречаются и крещатые формы крыш. Все исторические шатры Самары имеют запоминающийся образ, играют главную роль во фронтальной (фасадной) и объемно-пространственной композиции зданий.

4. Шатры жилых и гражданских зданий Самары конца XIX – начала XX в. имеют небольшие, сомасштабные городским домам размеры, конструкции их в большинстве своем выполнены в виде деревянных накосных стропил.

5. С некоторой долей вероятности можно утверждать, что во время постройки шатры обладали образно-смысловым значением оберегов жилых зданий, связанным с влиянием древней церковной архитектуры. Сегодня больше сохраняется их значение, связанное с русскими и городскими традициями. Некоторые особенности самарских шатров продолжают трансформироваться в современных постройках исторического центра города.

6. Несмотря на применение некоторых известных мотивов русского зодчества в шатровых формах городских домов, самарские архитекторы XIX – XX вв. пользовались ими весьма разнообразно, практически не повторяясь в своих постройках [11–16]. Выявленные типические черты и излюбленные формы элементов зданий являются уникальными чертами самарской архитектуры, требующими дальнейшего сохранения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Борисова Е.А. Русская архитектура второй половины XIX века. М.: Наука, 1979. 320 с.
2. Кириченко Е.И. Романтический зодчий модерн-а Фёдор Шехтель. М., 2000. 331 с.
3. Головкин К.П. Архитектурная Самара // Вся Самара. 1925 г.: адресно-справочная книга. Самара: Полиграфпром, 1925. С. 44.
4. Красовский М. Курс истории русской архитектуры. Ч.1 Деревянное зодчество. Петроград, 1916. 407 с.

5. Самара губернская (160 лет в зеркале архитектуры). Самара: ООО «Книга», 2011. 297 с.

6. Каркаръян В.Г. Деревянное зодчество Самары или Осень патриархов. Самара: Агни, 2002. 152 с.

7. Котенко И.А., Харитонова А.С. Тайна старого самарского дома // Градостроительство и архитектура. 2015. № 2(19). С. 34–40. DOI:10.17673/Vestnik.2015.02.6.

8. Бичуров Г.В. Самара в открытках и фотографиях //www.oldsamara.samgtu.ru/part\_3/page\_02a/html/76.html (дата обращения: 9.05.2018).

9. Арутюнов А. Особняк О.К. Полуектова (Полуектова) // golema livejournal.com 2011-05-02 (дата обращения: 9.05.2018).

10. Ильина И.А. Виды композиции // Российская архитектурно-строительная энциклопедия. Ч.1: Архитектура, градостроительство, здания и сооружения. М.: ВНИИТПИ – IV, 1996. С. 41–42.

11. Котенко И.А., Харитонова А.С. Каменно-деревянные шатровые здания // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство / СГАСУ. Самара, 2015. С. 283–285.

12. Котенко И.А., Харитонова А.С., Сержантова А.В. Шатровая архитектура Самары // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство / СГАСУ. Самара, 2016. С. 281–285.

13. Котенко И.А., Харитонова А.С. Здания архитектора Филарета Засухина в Самаре // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство: сб. статей [Электронный ресурс]. Самара: СамГТУ, 2017. С. 233–237.

14. Сысоева Е.А. Особенности деревянной архитектуры Самары конца XIX – начала XX века // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2008. № 2. С.65–78.

15. Самогоров В.А., Сысоева Е.А., Чёрная Ю.Д. Деревянная и каменно-деревянная архитектура конца XIX – начала XX веков / СГАСУ. Самара, 2011. 400 с.

16. Каркаръян В.Г. Старая Самара. История, дома и люди. Самара, 2015. 348 с.

Об авторе:

#### **КОТЕНКО Ирина Александровна**

кандидат архитектуры, доцент кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: urban64@inbox.ru

#### **KOTENKO Irina A.**

Ph.D. in Architecture, the Associate Professor of the Reconstruction and Restoration of Architectural Heritage Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, E-mail: urban64@inbox.ru

Для цитирования: Котенко И.А. Архитектура шатров исторических зданий Самары // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 92–100. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.15.

For citation: Kotenko I.A. Hip-Roofs of Samara Historical Buildings // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 92–100. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.15.

Н. А. ОРЛОВА  
Д. Н. ОРЛОВ  
Е. А. МАСЛОВА

## ПРОБЛЕМЫ КОМПАКТНОГО ГОРОДА ПРОВИНЦИАЛЬНОЙ РОССИИ XXI ВЕКА

PROBLEMS OF COMPACT CITIES OF PROVINCIAL RUSSIA OF THE XXI CENTURY

*Работа посвящена рассмотрению в обобщенном ключе диапазона вероятных стратегий пространственного развития провинциальных городов России с учетом сегодняшней специфики формирования их институтов управления и предприятий строительного бизнеса. Рассмотрены основные варианты развития городов в ближайшем будущем с их плюсами и минусами. Проблематика, развернутая в данной статье, является предельно актуальной практически для любого города современной России на этапе смены экономического уклада и перехода страны от индустриального к постиндустриальному типу экономики. Авторы статьи обосновывают преимущества выбора полицентрической модели развития города Самары. Выводы и рекомендации проделаны на конкретном градостроительном материале.*

**Ключевые слова:** компактный город, экстенсивное развитие, застройка, инфраструктура, плотность, планировочная структура

Процесс преобразования, продолжающийся в последние десятилетия в России и еще далекий от завершения, ставит перед нами проблему выбора стратегии городского развития. Целью данной работы является попытка обозначения одной из таких «развилки» с рассмотрением ее экономических и градостроительных предпосылок, характеристикой современных строительных практик, а также господствующих в наше время теоретических концепций, таких как стратегия развития компактного высокоплотного города или города, развивающегося экстенсивно, с малоплотной застройкой. В работе проведен их сравнительный анализ в аспекте практического применения и предлагается стратегическое направление, объединяющее преимущество двух подходов.

Свои преимущества и недостатки есть у каждой версии, накоплен уже достаточный опыт – и уплотнения, и «растекания» городов. Проблему осложняет градостроительное наследие советского периода. Советские промышленные города сопротивляются как уплотнению, так и равномерному «растеканию». Разумным выходом будет компромисс между этими двумя тенденциями.

*The article is devoted to the consideration in a generalized manner of the range of possible strategies for the spatial development of provincial cities in Russia, taking into account the current specifics of the formation of their management institutions and construction business enterprises. The main options for the development of cities in the near future with their pros and cons are considered. The problem developed in this article is extremely relevant for almost any city in modern Russia at the stage of changing the economic structure and the country's transition from an industrial to a post-industrial type of economy. The authors of the article substantiate the advantages of choosing a polycentric model of the development of the city of Samara. Conclusions and recommendations are made on a specific urban planning material.*

**Keywords:** compact city, extensive development, construction, infrastructure, density, planning structure

В наши дни все острее встает проблема беспорядочного разрастания городов. Застройщики и муниципалитеты стремятся обеспечить население большим количеством доступного жилья. С появлением института ипотечного кредитования сегмент населения, который может себе позволить операции на рынке недвижимости, значительно вырос. Из товара элитного потребления городская квартира стала широкодоступным рыночным товаром, который может себе позволить значительная часть населения. В такой ситуации категория доступности довлеет над категорией качества, поскольку именно доступность определяет востребованность на широком рынке в отличие от рынка элитарного, где конкуренция проходит на поле качества.

Такой экстенсивный способ захвата рынка и пространственно выражается в виде *территориальной экспансии*. Когда решающим в борьбе за покупателя становится минимальная стоимость квадратного метра, города будут разрастаться, захватывая прилегающие территории. Власть (в широком смысле слова) по ряду причин не возражает, или даже приветствует расползание городов. Это хороший показатель

экономического успеха – ввод большого количества жилья, новых благоустроенных территорий, детских садов и школ. Новые территории осваивать просто. Недостаточность инженерной инфраструктуры на них легко компенсируется отсутствием необходимости ремонта и расширения старой сети. На новых территориях отсутствуют обременения, связанные с охраной наследия, с проблемой расселения; как правило, нет проблем с мелкодисперсной собственностью, приводящей к необходимости сложных итераций по консолидации земельных участков. В основном на этих территориях минимально или полностью отсутствуют регламентные и нормативные ограничения по типу и плотности застройки. Подобный экстенсивный подход приводит к тому, что сегодня мы имеем значительные площади на периферии города, отведенные под монофункциональную застройку. В свою очередь, центр города постепенно превращается в пространство исключительно административно-делового и культурного назначения, а зачастую теряет функционал и ветшает без новых инвестиций.

В исторической части города экстенсивный способ строительства возможен только путем утраты исторической застройки с полным сносом и заменой ее на новую материальную форму, воплощение которой обусловлено минимизацией расходов.

*Интенсивное развитие* территории исторического города сталкивается с проблемой реконструкции сети инженерного обеспечения (по живому), со сложным клубком накопленных годами конфликтов имущественного характера с массой регламентных и социально-культурно обусловленных ограничений в строительстве.

Немаловажно, что попытки девелоперской деятельности в ситуации сложившейся застройки ведут к значительным социальным конфликтам, поскольку задевают множество, порой противоречивых, интересов, связанных как с имущественными ценностями, так и с культурными, идеологическими и мифологическими.

Комплексные, одновременные изменения в среде проживания или шире – в городе, в отличие от постепенного, преемственного изменения, приводят к сложным социальным последствиям. Это и появление таких характеристик, влияющих на маркетинговую оценку территории, как – новизна, модность, молодежность, демократичность, энергичность против элитарности, закрытости, консервативности, трухлявости и гнилости. В то время как *интенсивно, преемственно развивающаяся городская ткань* не имеет таких критериев для оценки. В процессе развития не появляется новизна, нарастает только идентичность и включенность

образа среды в культурный контекст. Вновь появившийся жилой район пройдет стадии развития от новинки до заброшенного девиантного района слишком быстро вместе со старением первого поколения обитателей, если не включатся процессы экстенсивного развития данной территории, уплотнения и реновации, если данная территория не будет генерировать «новизну» в течение цикла своей жизнедеятельности. Это приводит к расслоению городской среды, недостаточной обеспеченности социальной и технической инфраструктурой населения, ухудшению экологической ситуации и возникновению чувства отчуждения, потери связности городской ткани.

Одним из возможных решений вышеуказанной проблемы является **концепция компактного города**, или города коротких расстояний.

Компактный город – градостроительная концепция, отдающая предпочтение высокой плотности застройки и смешанным видам землепользования. Концепция базируется на принципах эффективности общественного транспорта, снижения энергопотребления, сокращения загрязнения окружающей среды и уменьшения удельных расходов на душу населения на коммунальную и транспортную инфраструктуру [1].

Идеи, впоследствии ставшие основой будущей концепции, заложила канадско-американская писательница Джейн Джекобс в своей книге 1961 г. «Смерть и жизнь больших американских городов», где она резко раскритиковала градостроительную систему, разрывающую городскую ткань [2]. Впервые термин «компактный город» был предложен в 1973 г. американскими математиками Джорджем Данцигом и Томасом Саати в работе «Компактный город: проект организации городской среды» [1]. Основные постулаты концепции компактного города по сути своей являлись следствием разработанных Данцигом методов линейного программирования, связанных с решением различного рода оптимизационных задач.

Американское происхождение данной концепции неслучайно, поскольку США первыми столкнулись с проблемой субурбии (с англ. – «пригород», специфическое североамериканское явление, большие массивы индивидуальных жилых домов в окрестностях крупных городов. В отличие от российских пригородов в американской субурбии проживает средний класс, это благополучные территории), связанной с резким ростом индивидуального домостроения в послевоенные годы в пригородах. Сегодня концепция компактного города положена в основу планирования некоторых городов в Америке, Австралии, Канаде, Новой

Зеландии, Германии, Нидерландах и Великобритании. В России она внедрена в генеральные планы Перми, Нижнего Новгорода, Читы и Зеленограда.

Исследователи и архитекторы трактуют понятие компактного города по-разному [3–6]. Объединяющим признаком является требование малого отношения периметра города к его площади. Преимущество в движении отдается пешеходам, велосипедистам и общественному транспорту. Это одновременно снижает транспортную нагрузку и негативное влияние на окружающую среду, связанную со сжиганием органического топлива. Размер города строго ограничен, и его развитие происходит путем уплотнения застройки в центре и освоения территорий, утративших в силу тех или иных причин свою функциональную принадлежность (бывшие заводы, пустыри, аварийные и ветхие дома и т. п.).

Компактный город – это плотная застройка, маленький периметр, короткие трассы инженерных сетей и дорог, пространственная системность расположения общественных и производственных зон, отсутствие или скоростная проницаемость разрывов городской ткани. Концепция компактного города уже находит свое применение в проектной практике. В качестве примера можно привести генпланы Нижнего Новгорода, Читы, Зеленограда.

Рассуждая о внедрении данной концепции в градостроительное планирование города, следует иметь в виду, что существуют пределы уплотнения застройки при росте городов. И хотя понятие оптимальной плотности застройки на данный момент не определено, имеется ряд причин, обуславливающих ограниченность роста. Во-первых, нет возможности бесконечно увеличивать несущую способность грунта и пропускную способность инженерных коммуникаций (тепловые сети, водопровод, канализация и т. п.). Во-вторых, чрезмерное уплотнение застройки в какой-то момент начнет производиться за счет общественного пространства города, что скажется негативным образом на внешнем облике и на восприятии местными жителями окружающей среды. Наконец, избыточное уплотнение застройки влияет на структуру транспортных связей, с каждым новым зданием усложняя ее. Подобные усложнения приводят к тому, что даже при оптимальной форме города в плане добраться из одной точки в другую становится довольно проблематично.

Главной проблемой на пути к компактному городу является более высокая стоимость строительства новых жилых и общественных площадей. В отличие от концепции «компактного города» здесь успешно справляется **концепция агломерации**, согласно которой

города и близлежащие населенные пункты экстенсивно растут и сливаются воедино. Объясняется это в первую очередь тем, что стоимость земли и затраты на строительство в центральной части города значительно выше, чем на окраине. При положительной миграции в города концепция компактного города также проигрывает теории безудержного роста агломераций, поскольку невозможно обеспечивать жильем постоянно возрастающее число жителей только за счет уплотнения застройки в центральной части города. По этой причине концепция компактного города непопулярна в развивающихся странах, одним из характеристических признаков которых является рост урбанизации.

Одним из достоинств агломераций также является постоянное стимулирование населения к повышению качества своей жизни. Люди из деревень стремятся в пригороды, люди из пригородов стремятся все ближе к престижным центральным районам города. В отсутствие экономичного жилья на окраине города данный способ вертикальной социальной мобильности был бы невозможен.

Для внедрения концепции компактного города в первую очередь необходимо остановить рост миграции из малых городов в крупные, и сделать это можно только путем «усреднения» уровня жизни, что является гораздо более трудной и масштабной задачей.

Помимо достоинств компактного города, которые были уже рассмотрены, следует отметить снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду путем сохранения растительности за пределами городской черты, снижения объема загрязняющих выбросов от сжигания органического топлива и уменьшения потребления ресурсов и энергии на содержание разбросанной по площади городской инфраструктуры и т. д. Это напрямую сказывается на повышении качества и количества рекреационных ресурсов: природных водоемов, пригородных лесопарковых зон. Это в свою очередь ведет к улучшению социальной обстановки в городе. Также одним из достоинств компактного города перед растущей агломерацией является отсутствие стратификации общества по территориальному признаку.

Каждый город складывался в своей уникальной исторической и географической ситуации, поэтому единых рецептов преобразования городов нет.

Приведем несколько примеров первых попыток внедрения концепции в градостроительную политику в России.

Рассмотрим генеральный план города Перми, разработанный на основе стратегического



мастер-плана, выполненного в 2010 г. организацией «Бюро городских проектов» совместно с голландскими архитекторами. Основным тезисом генплана является «недооформленность» Перми по сравнению с другими городами России и мира. Недооформленность в контексте документа определяется как совокупность параметров и качество, обусловленных инертностью градостроительной политики в стремлении к постоянному расширению городских территорий в ущерб максимальному по плотности использованию площади и инженерных коммуникаций. Подобное недоиспользование ресурсов и недостатки в структуре города, по мнению авторов, обращаются в серьезную экономическую проблему в виде переплаты за переразвитую систему коммуникаций, груз которой ложится на плечи местной администрации и жителей в виде постоянно растущих тарифов на их содержание. Для развития города необходимо в первую очередь привести Пермь по ряду параметров к «дооформленным» городам: плотность застройки, отношение длины инфраструктуры на душу населения, доля зеленых насаждений [7].

С целью решения поставленной задачи разработчиками генплана предлагаются различные меры. Например, наибольшая доля (50 %) прироста недвижимости должна приходиться на центральную часть города, а на периферию – только лишь 20 %. Подобное территориальное распределение застройки стремится к нормальному (Гауссовому) распределению величины, являющемуся по мнению Данцига и Саати наиболее оптимальным с точки зрения соотношения затрат на возведение новой и эксплуатацию уже существующей инфраструктуры города [1]. Следует также отметить, что решение математической модели в виде нормального распределения возникает во множестве отраслей науки от экономики до экологии и структурное сходство подобных задач с задачей об оптимальном использовании коммуникаций дает право считать полученное Данцигом и Саати решение полностью обоснованным.

Ответом на вопрос: «Где взять столько земли на повышение плотности застройки в центральной части города?» – являются выводы разработчиков генплана, полученные на основе анализа топографических данных о том, что существующие объемы застройки составляют всего лишь 40 % от максимального возможного с учетом требований всех градостроительных и санитарных норм (СНиП, СП, СанПиН). Все эти и другие меры должны привести, по мнению авторов, к повышению качества жизни, улучшению экологической ситуации в городе и перераспределению экономических ресурсов. Это позволит

городу в будущем сделать скачок и стать конкурентоспособным городом [3].

Данный документ вызвал вполне неоднозначную реакцию со стороны профессионального сообщества и населения городских жителей. К сожалению, со сменой местной власти в 2011 г. положения генерального плана практически не соблюдались. Этому препятствовало несколько факторов: во-первых, введенное ограничение на максимальную высоту застройки в центре города; во-вторых, раскол архитектурного сообщества на лагерь специалистов, участвовавших в разработке генплана и, соответственно, поддерживающих его идеи, и архитекторов, в свое время проигнорированных властью, поскольку процедура выбора проектной организации не предусматривала какого-либо конкурса. На момент завершения первого этапа планирования (2016 г.) видно, что даже половины намеченных предписаний не было выполнено и хорошо проработанная на бумаге концепция развития так и не смогла заработать.

Введение элементов стратегии «компактного города», аналогичных пермским, в Самаре возможно. Это обусловлено сходством городов Самары и Перми по географическим и градостроительным признакам – расположение у реки и невысокая плотность застройки исторического центра. Самара должна стремиться к компактности, чтобы преодолеть изматывающие город проблемы – маятниковую миграцию и автомобильные пробки, изношенность растянутой инженерной инфраструктуры, низкий уровень благоустроенности территорий в центральной части города.

Самара располагает значительными слабо освоенными пространствами, «окраинами» в центре. Это территории заброшенных промпредприятий, массивы индивидуальной жилой застройки и другие пустоты, образовавшиеся в процессе экстенсивного роста города, особенно в период Великой Отечественной войны. Значительный импульс экстенсивного развития Самара приобрела в последние десятилетия. Этот процесс связан со строительством крупных жилых массивов на свободных землях сельскохозяйственного назначения, вызванного особенностями экономической ситуации первых десятилетий XX в. Экстенсивный рост драматически усугубил проблемы транспорта и связности городской ткани [8]. Значительным ресурсом для уплотнения застройки обладает «историческая часть города Самары». Эта территория с низкой плотностью застройки является привлекательным районом для проживания и работы. Высокие средовые и природные качества данной территории привлекают круп-

ный строительный бизнес и его клиентуру. Однако процесс уплотнения застройки «старого города» приводит к катастрофической утрате исторической застройки, несбалансированному росту плотности с отставанием развития инженерной, транспортной, социальной инфраструктуры. Разрушаются те самые средовые и природные качества, которые и привлекли застройщиков. Уплотнение и развитие городской ткани исторического центра совершенно необходимо, но только на основе тщательно выверенной и сбалансированной стратегии устойчивого развития этих территорий.

В данный момент Самаре не хватает единой стратегии. Новое строительство представлено либо точечными высотками в центре, паразитирующими на существующей инфраструктуре, хотя ее развитие должно предшествовать строительству, либо это однотипная застройка на окраине («Южный город», «Кошелев проект»), в которой предлагается жилье, доступное для населения, но труднодоступное с точки зрения транспорта.

При разработке стратегии развития города можно ориентироваться на опыт, например, Перми, над мастер-планом которого работали российские и голландские архитекторы. Этот опыт прошел разные стадии: и очевидный успех, и отрицание, смену авторов, смену концепции и т. д. – история продолжается, опыт накапливается.

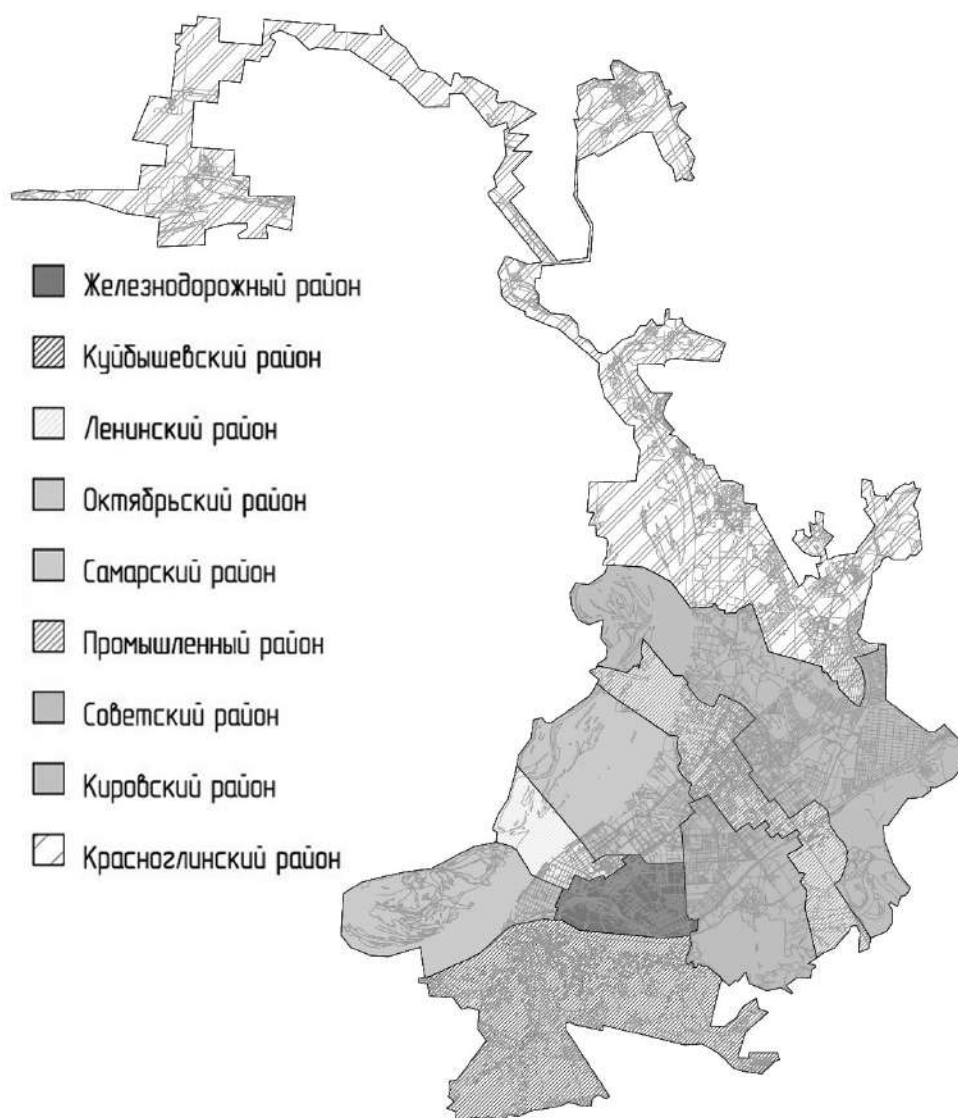
Суммируя мировой опыт решения подобных задач, можно сделать вывод, что однозначных рецептов успеха не существует и можно говорить только о постепенном движении в сторону повышения компактности города.

Для выявления признаков, присущих компактному городу на территории Самары, приведен *сравнительный анализ административных районов города*. Такое деление выбрано, во-первых, для простоты, поскольку установление более обоснованных границ потребовало бы дополнительных исследований, что само по себе является большой и важной работой и выходит за пределы данного исследования. Во-вторых, границы административных районов в Самаре частично совпадают с основными морфотипами застройки, что связано с поэтапным и в основном экстенсивным процессом его развития. Так, историческая часть города почти совпадает с границами Самарского и Ленинского районов (см. рисунок).

Самые старые районы Самары – *Ленинский и Самарский* с малоэтажной регулярной квартальной застройкой наиболее близки по своей структуре «компактному городу». Также к положительным признакам этих районов можно отнести их привлекательность в культур-

но-рекреационном плане для жителей города: театры, скверы, пешеходные улицы, участок набережной, кафе, рестораны и т. д. К слабым сторонам районов можно отнести устаревшую систему коммуникаций (водопровод, канализация), отсутствие централизованного горячего водоснабжения в части домов. Недостаточно развитая и крайне изношенная инженерная инфраструктура исторической части города в значительной степени сдерживает развитие этих территорий. Дополнительные затраты, которые требуются в такой ситуации, делают нерентабельным большую часть небольших точечных проектов, так необходимых в ситуации сложившейся качественной застройки. Повышение стоимости строительства провоцирует застройщиков для компенсации этих затрат наращивать плотность высотной застройки, тем самым разрушая исторически сложившуюся среду города. Наибольшей угрозе подвергается фоновая историческая застройка, в первую очередь деревянная и каменно-деревянная, среди которой только единицы зданий имеют документально зафиксированный статус объекта культурного наследия. Историческая Самара ценна именно как средовой объект, с пока еще большим количеством сохранившейся целостной фоновой застройки. Сохранение только памятников архитектуры, с заменой фоновой застройки на современную, без учета масштабных стилиевых и т. д. признаков, приводит к полной деградации основных ценностных характеристик этих территорий. В настоящее время уже значительная часть исторического города утрачена. Особенно на участках от улицы Полевой до Красноармейской. Разрушены целые массивы деревянной усадебной застройки, возведено много новых зданий с превышением ограничений по этажности, предусмотренных в действующих правилах землепользования Самары.

*Октябрьский район* построен в основном в советское время. Ранее на территории района располагались крупные промышленные предприятия, деятельность которых на данный момент прекращена. Часть территорий этих заводов расчищена и является площадкой для потенциальных крупных девелоперских проектов. В перспективе у Октябрьского района есть шанс стать самой плотно застроенной и населенной частью Самары, напрямую связанной с историческим городом и имеющей на части своей территории признаки городского центра. Октябрьский район неоднороден по своей планировочной структуре, он состоит из нескольких крупных массивов, среди которых можно выделить крупные градостроительные ансамбли в стиле сталинского ампира с укрупненными кварталами, ансамбли модернизма и функционализма, спальные районы со



Административное деление города Самары

свободной планировкой хрущевской и брежневской поры, зеленые зоны, малоэтажные заброшенные пустоты, а также значительные массивы индивидуальных жилых домов. К сильным сторонам района можно отнести хорошо развитую транспортную сеть, большой процент озеленения и инвестиционную привлекательность для застройщиков.

На территории *Железнодорожного района* располагается крупный транспортный узел – Железнодорожный вокзал на станции Самара. Относительная близость вокзала к центру всегда была проблемой больших городов, поскольку железнодорожные пути являются одним из самых жестких препятствий для прокладки каких-либо коммуникаций между разделенными

частями города. Подобная судьба не миновала и Самару, где пути отрезали от «городской жизни» поселок Шмидта (Запанской). На сегодняшний день эта местность является скоплением промзон, по большей части не функционирующих, а также хаотично расположенной индивидуальной застройки. Наличие железнодорожных путей сопровождается концентрацией вокруг них промышленных, складских и других инфраструктурных территорий, что еще больше ослабляет связность городской ткани. Так, например, территория города юго-восточнее улиц Мечникова, Пензенской, Тухачевского по большей части застроена цехами и складскими помещениями. Прибрежные территории реки Самары обладают большим

рекреационным потенциалом, до конца не выявленным. Благоустройство набережной и других центров притяжения населения позволит повысить престижность данного района, что в свою очередь приведет к росту жилого строительства и развитию инфраструктуры в рамках концепции «компактного города».

Железнодорожный район в значительной степени застроен укрупненные кварталы сталинского и хрущевского времени. Есть включения постсоветской высотной застройки, массивы индивидуальных жилых домов, зоны отчуждения железной дороги, территория промпредприятий, значительную часть района занимает городское кладбище.

К положительным сторонам можно отнести способную к развитию инфраструктуру общественного транспорта: возможность создания на базе железных дорог внутригородского движения и развития пригородного железнодорожного сообщения, развитие трамвайной сети на территории существующих промзон при условии их реновации. Железнодорожный район соседствует с Самарским и Ленинским районами, и потенциально они могли бы составить единый компактный центр города. Комплексное развитие района позволило бы максимально увеличить соотношение полезной площади города к периметру, что очевидно повысило бы компактность.

Советский район как продолжение Железнодорожного наследует и усиливает все его проблемы, касающиеся промзон вдоль реки Самары. Спальные районы «хрущевки» с недостаточной транспортной обеспеченностью, слабое развитие социальной инфраструктуры, недостаток объектов культуры и отдыха на фоне проблем с экологией, вызванной особенностями рельефа и розы ветров, – таков портрет Советского района.

Промышленный и Кировский районы в силу своей протяженности по ширине имеют достоинства и недостатки в зависимости от местоположения. Есть более развитые территории вдоль Московского шоссе, где концентрируются крупные торговые центры. Побережье реки Волги занято современными жилыми комплексами с жильем эконом-класса и самым крупным в городе массивом «элитной» коттеджной застройки. В Промышленном районе основной тип застройки – позднесоветские панельные микрорайоны. В Кировском районе – это послевоенная застройка укрупненными кварталами, ансамблевая застройка в стиле сталинского ампира в районе завода «Металлург». И в Промышленном, и в Кировском районе есть значительные включения постсоветской высотной застройки. В Кировском районе таких включе-

ний чуть меньше, что связано с недостаточным развитием инженерной инфраструктуры и невысокой привлекательностью данного района на рынке недвижимости. К плюсам этих районов можно отнести транспортную доступность, в том числе значительное влияние на жизнь в Кировском районе метрополитена. В целом районы достаточно однородны, без каких-либо разрывов в планировке, однако существуют локальные проблемные места в Кировском районе, такие как «Кировский рынок», жилая застройка для работников завода «Металлург», поселок «Зубчаниновка».

Куйбышевский и Красноглинский районы – это окраинные территории с большим процентом промышленных, сельскохозяйственных и других неосвоенных земляных угодий, включая охраняемые природные. Именно на этих территориях разворачиваются основные акты экстенсивного развития Самары – строительство новых крупных жилых массивов «в чистом поле». Современная градостроительная практика в данном случае противоположна концепции «компактного города». Говорить о «компактном городе» можно только по поводу формирования локальных центров этих территорий.

**Вывод.** Таким образом, следует признать, что господствующая в настоящее время практика комплексного строительства ведет к экстенсивному росту городов и эрозии исторических центров городов. В то же время сложившиеся за советский период планировочные структуры далеки от какой бы то ни было компактности и обладают чрезвычайной планировочной инерционностью. Стратегии развития их в сторону компактного города как целостности была бы утопичной. Следует рассматривать такую стратегию только в качестве формирования центров, которые мы уже можем наблюдать в ряде районов Самары.

На примере города Самары можно говорить о полицентрической модели локальных компактных центров и о потенциальной возможности формирования крупного градостроительного комплекса с признаками компактности на основе исторической части города и отдельных частей Октябрьского и Железнодорожного районов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данциг Дж. Т. Саати. Компактный город: Проект организации гор. среды: [пер. с англ.]. М.: Стройиздат, 1977. 199 с.: ил.
2. Джекобс Дж. Смерть и жизнь больших американских городов: [пер. с англ. Л. Мотылев]. М.: Новое изд-во, 2011. 457.

3. Чиркунов О. Компактный город // Экономическая политика. 2011. № 2. С. 85–94.

4. Кителева А.Г. Концепция «Компактный город» в контексте повышения конкурентоспособности территории // Наука и бизнес: пути развития. 2015. № 1 (43). С. 51–53.

5. Дмитриева Н.Н., Сабрекова А.А. Новый урбанизм: зарубежный и отечественный опыт // Фотинские чтения. 2015. № 2 (4). С. 165–168.

6. Андреев Е. Компактный город: инвестиции, развитие и приоритеты [Электронный ресурс] М., 2017. Режим доступа: <https://zelao.mos.ru/presscenter/news/detail/7037430.html>, свободный (дата обращения: 16.03.2018).

7. Основные положения материалов по обоснованию проекта генерального плана города Перми [Электронный ресурс]. Пермь: Администрация города Перми, 2010. Режим доступа: [http://www.gorodperm.ru/search/?text=Kratkaja\\_pojasnitelnaja\\_zapiska&searchid=2292145&search-button=](http://www.gorodperm.ru/search/?text=Kratkaja_pojasnitelnaja_zapiska&searchid=2292145&search-button=), свободный (дата обращения: 16.03.2018).

8. Орлова Н.А., Орлов Д.Н. Материальные и культурные предпосылки градостроительных решений // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре [Электронный ресурс]: материалы 72-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2015. С. 219–222 (дата обращения: 16.03.2018).

Об авторах:

**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 E-mail: pochto@yandex.ru

**ORLOVA Natalya A.**

Senior Lecturer of the Reconstruction and Restoration of Architectural Heritage Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: pochto@yandex.ru

**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 E-mail: pochto@yandex.ru

**ORLOVA Natalya A.**

Senior Lecturer of the Reconstruction and Restoration of Architectural Heritage Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: pochto@yandex.ru

**МАСЛОВА Евгения Андреевна**

студентка 5 курса архитектурного факультета Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: mshenya@yandex.ru

**MASLOVA Evgenia A.**

Student of the Faculty of Architecture Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: mshenya@yandex.ru

Для цитирования: Орлова Н.А., Орлов Д.Н., Маслова Е.А. Проблемы компактного города провинциальной России XXI века // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 101–108. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.16. For citation: Orlova N.A., Orlov D.N., Maslova E.A. Problems of Compact Cities of Provincial Russia of the XXI Century // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 101–108. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.16.

**В. Д. ФИЛИППОВ****КОЛОМЕНГРАД. ПОСЛЕВОЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**

KOLOMENGRAD. POST-WAR CONSTRUCTION AND FINAL OF HISTORY

*Рассмотрены причины возникновения типологии малоэтажного многоквартирного жилищного строительства в первые годы после окончания Великой Отечественной войны. На примере одной из наиболее удачных серий жилых домов (серия 201) выявлены принципы, лежавшие в основе ее проектирования. Показано совпадение этих принципов с основными идеями конструктивизма. Прослежена послевоенная история дальнейшего строительства Коломенского поселка им. И.В. Сталина ЗиС, приведена планировка поселка, показаны достоинства и недостатки домов, а также история последующего развития этого района Москвы.*

**Ключевые слова:** жилое строительство, принципы конструктивизма, комплексная застройка, архитектурный образ, прототип

**Причины возникновения типологии послевоенного жилищного строительства**

Начиная со второй половины Великой Отечественной войны опыт предвоенного проектирования и строительства массового жилья, которое велось практически автономно, объективно оказался востребован. «К концу 1933 г. в Советском Союзе окончательно оформляется такая структура общегосударственной системы массового архитектурно-градостроительного проектирования, в которой уже фактически обособленно функционируют две подсистемы – «ведомственная» и «местная» [1] и по существу без оглядки на установку «демонстрации достижений социализма», из-за своей экономичности, вызванной отсутствием нужды что-то демонстрировать, при значительном объеме разрушений, вызванных войной. Этому способствовало и сформировавшееся общее восприятие сложившейся ситуации архитекторами и градостроителями: «С одной стороны, мощные программирующие импульсы, пришедшие из довоенного времени и настраивавшие всю архитектурно-градостроительную деятельность на предельную идеологизацию задач, с другой стороны – беспощадная реальность войны, вернувшая в какой-то степени почти утраченное ощущение самоценности обычной, естественной человеческой жизни. На какой-то краткий миг произошло ослабление гипнотизирующего воздействия идеологем, появилось желание посмотреть другими глазами на то, что происходит в градостроительстве» [2].

*The causes of the typology of low-rise multi-family housing construction in the very first years after World War II are considered. On the example of one of the most successful series of residential buildings (series 201), the principles underlying its design are identified. The coincidence of these principles with the main ideas of constructivism is shown. The post-war history of the further construction of the Kolomna village named after I.V. Stalin ZiS, the layout of the village, the advantages and disadvantages of houses, as well as the history of the subsequent development of this area of Moscow are described.*

**Keywords:** residential construction, principles of constructivism, integrated development, architectural image, prototype

К примеру, на XI пленуме правления Союза Советских Архитекторов в августе 1943 г. Андрей Буров (когда-то конструктивист и на общественных началах переводчик у Ле Корбюзье (рис. 1), а перед войной уже один из передовиков в освоении классического наследия) сказал следующее: «Количество разрушенных зданий в десятки и сотни раз превосходит технические возможности и навыки, выработанные десятилетиями для удовлетворения нормальных потребностей в жилище. Для возникшей невиданной задачи эти методы совершенно непригодны. Основным мероприятием первого периода разрешения этой проблемы должно быть изучение опыта США и приобретение в США ряда заводов по производству сборных малоэтажных домов из заранее изготовленных деталей, комплексы заводов, производящих все необходимое – от опор, фундамента до дверных ручек» [3]. Судя по выступлению, сам Буров участвовать в этом не планировал, однако идея массового строительства типовых сборных жилых домов была вполне конструктивистской, хотя и силами американских архитекторов, и с оговоркой, что при этом «нам нужно не строить ничего капитального» [3]. Собственно, ничего нового сказано не было – в СССР в 1920-е гг. в АО Стандарт [4, 5] (рис. 2), а затем в 1930-е в Наркомтяжпроме [6] заводы по строительству жилья для нужд индустриализации были построены и работали. Речь могла идти лишь о другом масштабе и о другом уровне качества продукции таких заводов. Однако у государства в то время были иные приори-



Рис. 1. Ле Корбюзье, Андрей Буров и Александр Веснин (фото 1929 г., thecharnelhouse.org)



Рис. 2. Дом в Первом рабочем поселке в Иваново-Вознесенске (АО «Стандарт», арх.: Леонид Веснин, Пантелеймон Голосов и др., 1924–1928 гг.) [7]

теты по приобретению чего-либо в США, поэтому в таком виде его предложение принято быть не могло.

В результате здравая, оттого что во всем рациональная и конструктивистская, идея Бурова в итоге материализовалась, но исключительно с учетом опоры на собственные силы, в виде Постановления ГКО № 5948 от 23 мая 1944 г. «О создании индустриальной базы для массового жилищного строительства». Согласно постановлению, следовало построить 20 домостроительных комбинатов по производству сборных домов и «обязать Комитет по делам архитектуры при СНК СССР разработать типовые проекты одноэтажных и двухэтажных сборных деревянных, а также одноэтажных и двухэтажных гипсовых и шлакобетонных жилых домов». Затем это постановление было конкретизировано в Приказе Народного Комиссара жилищно-гражданского строительства РСФСР № 180 от 8 июля 1944 г., в котором только на территории РСФСР предписывалось создать мощности для производства жилых домов в год жилой площадью: из дерева (400 тыс. м<sup>2</sup>), из гипса (60 тыс. м<sup>2</sup>) и из шлакобетона (50 тыс. м<sup>2</sup>) [3].

Ещё во время войны и сразу после ее окончания было разработано множество проектов для подобного строительства. При этом «особенностью новых типовых проектов являлась их привязка к определенному, сравнительно небольшому географическому району» [7], т.е. для комплексной застройки городов они оказались непригодны, поэтому массового строительства таких «местных», хоть и типовых, малоэтажных жилых зданий не произошло. Однако «практика показала, что серии с наиболее простыми по конструкции и экономичными по планировке квартирами получили более широкое применение. Например, проекты серии 201 (разработанные мастерской Министер-

ства нефтяной промышленности ...), были использованы при строительстве в Коломенском жилом поселке Московского автомобильного завода имени Лихачева, поселка завода имени Петрова в Сталинграде» [8]. «Значительное распространение получили типовые проекты серии 201 (они применялись при строительстве поселка ЗИС в Коломенском под Москвой, в Запорожье, Сызрани, Октябрьске, Черняховске и др.)» [9]. Все это не в последнюю очередь было связано с тем, что вместе с «простотой конструкции и экономичностью планировки», данные дома представляли собой комплексы зданий для квартальной застройки и обладали художественной выразительностью. Сегодня это мало кому известно, но архитектурно-проектную мастерскую № 1 Министерства нефтяной промышленности в то время возглавлял Александр Веснин (рис. 3). В бригаду главного



Рис. 3. Александр Веснин, фото начала 1950-х гг. [14]

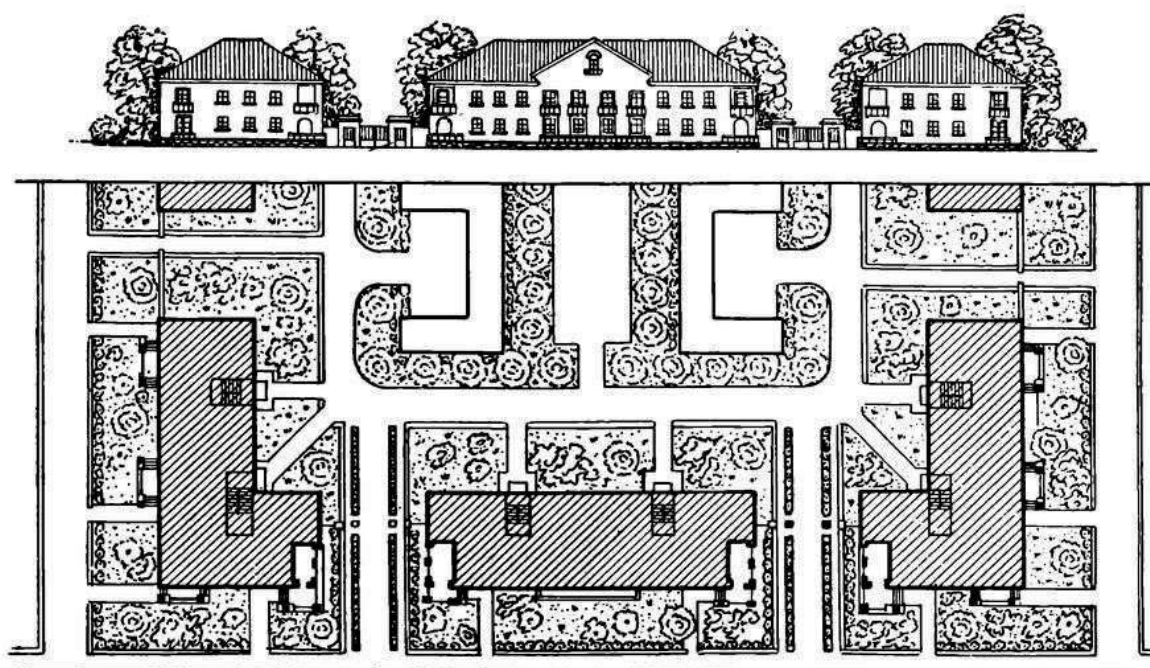
архитектора проекта серии 201 Сергея Маслиха входили О.А. Яфа, Н.В. Никифорова и М.Н. Слотинцева [10]. Первые четыре дома серии были построены Министерством нефтяной промышленности в г. Похвистнево Куйбышевской (ныне Самарской) области [11]. А комплексная застройка домами серии, учитывая привязанность Александра Веснина к этим местам [4, 6], впервые была осуществлена в Коломенграде, или, официальным языком, в Коломенском поселке имени Сталина ЗиС.

### Новые дома и принципы конструктивизма

Следует рассказать об особенностях домов 201-й серии, в дополнение к единственной посвященной им работе [11]. Самое пристальное внимание при проектировании этих домов уделялось экономичности их строительства. Проектом было предусмотрено почти полное «индустриальное заводское изготовление конструктивных элементов и архитектурных деталей, поэтому заготовительные чертежи в проектах выделены отдельно и сгруппированы по цехам» [10]. Это в дальнейшем сыграло важную роль в широком распространении серии, в чем заслуга главного архитектора проекта Сергея Маслиха. Материалом для строительства был обозначен кирпич, но из-за его дефицита, как

правило, практически везде использовали более доступные шлакобетонные блоки, что в обоих случаях означало «капитальность» (в отличие от предложения Бурува «не строить ничего капитального») домов и обусловило их дальнейшую долговечность.

Но было и нечто иное, что также в значительной степени привело к успеху серии 201. Несмотря на простоту формы домов и их конструкции, дешевизну используемых материалов, комплексная застройка такими домами несомненно обладала архитектурной выразительностью. Попробуем выявить ее составные части. Здания 201-й серии, похожие друг на друга лишь повторяющимися деталями заводского изготовления, при застройке хорошо друг друга дополняли и составляли «удачный ансамбль». При этом никто не представлял, как в статическом и неизменном ансамбле (как правило, это центральная улица города) потом жить в изменившихся условиях, лет через десять или двадцать после того, как «памятник победам социализма» будет наконец сооружен. Видимо, для рядового жилья правильнее употребить, как это не зря сделано и в проекте, слова «комплексная застройка», имея в виду не только чистый функционал, но еще и эстетическое воздействие. А воздействие это, согласно рекомендованной в проекте схеме застройки (рис. 4), должно было не напрямую, но, видимо, подсознательно напо-



С. Маслих, О. Яфа, М. Слотинцева. Проект комплексной застройки (серия 201). 1947 г.

Рис. 4. Проект комплексной застройки домами серии 201 (1947 г.) [10]



минать эстетическое воздействие классической дворянской усадьбы с главным зданием дворца в центре и двумя флигелями по краям – глядя на чертеж, иногда представляется, что у центрального дома серии (проект № 12, арх. Ольга Яфа, рис. 5) есть колонны, хотя их там на самом деле нет и никогда не было.

Так что же, мастерская Александра Веснина забыла про конструктивизм (который, как принято сегодня думать, закончился к середине 1930-х)? Для ответа на этот вопрос необходимо вспомнить основные принципы конструктивизма – в том виде, в каком их изложил Александр Веснин.

«Каждая данная вещь, созданная современным художником, должна войти в жизнь как активная сила, организующая сознание человека, действующая на него психофизиологически, вызывая в нем подъем к энергичной активности» [15].

«Вещи, создаваемые современным художником, должны быть чистыми конструкциями без балласта изобразительности, построенными по принципу прямой и геометрической кривой и по принципу экономии при максимуме действия» [15].

«Подобно тому, как каждая часть машины есть материализованная в соответствующую форму и материал сила, действующая и необходимая в данной системе, и форма ее и мате-

риал не могут быть произвольно изменены без ущерба для действия всей системы, так и в вещи, построенной художником, каждый элемент есть материализованная сила и не может быть произвольно откинут, изменен, не нарушив целесообразного действия данной системы» [15].

«Мы привыкли не членить искусственную работу по проектированию и совмещать одновременно процессы анализа и синтеза. Параллельно идет обдумывание и планового решения, и фасадного, аксонометрии и перспективы, т. е. происходит единый процесс создания архитектурного образа. Связь между решением внутреннего пространства и внешним оформлением сооружения в подлинной архитектуре всегда являлась самой неразрывной и органической. В Пантеоне, например, круглая форма внутреннего пространства составляет единое целое с внешней круглой формой храма. Внутреннее пространство представляет собой, таким образом, единое целое с внешней композицией архитектурного сооружения ... Наша практика убедила в том, что органически целостный синтетический метод проектирования – от первоначальных плановых набросков до ансамблевой перспективы – наиболее рационален, экономичен и художественно плодотворен» [16].

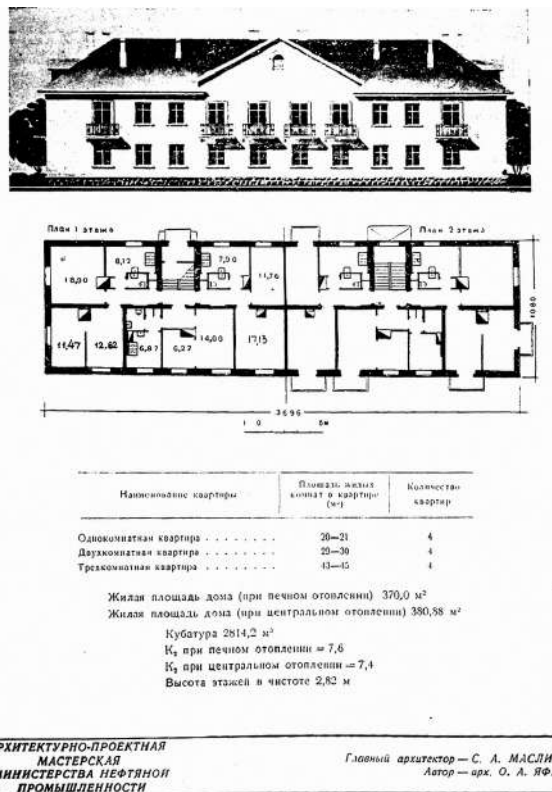
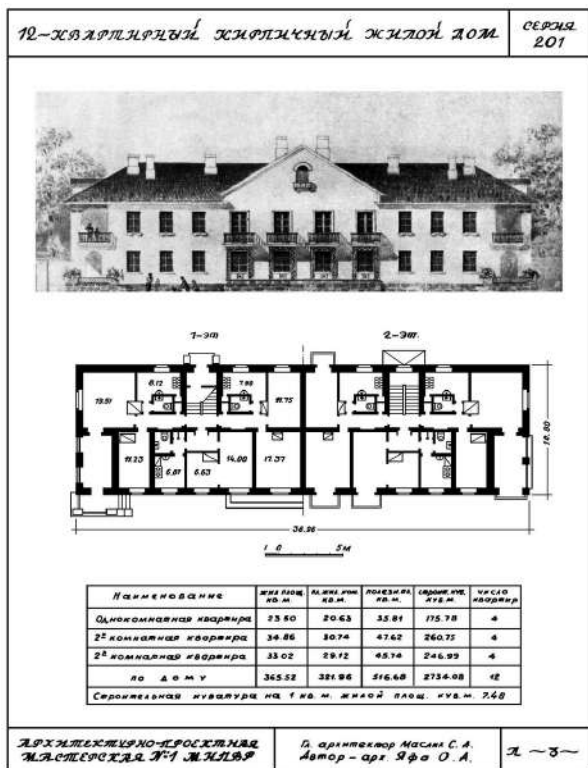


Рис. 5. Проект № 12 серии 201, варианты 1947 г. [12] и 1950 г. [13]

«Нельзя до бесчувствия пренебрегать функциональным назначением сооружений, так как они воздвигаются для живых людей, с конкретными, хотя и чрезвычайно сложными бытовыми, интеллектуальными и социальными запросами. ... Подлинный функционализм означает возрождение извечно существовавшего в архитектуре примата функции (включая сюда не только утилитарное, но и художественное и социальное назначение здания) над схоластическим декоративным академизмом [16]. «Разрешить архитектурно функцию – значит построить здание не только без ущерба для его функционального содержания, но и с использованием его в качестве существенной основы для архитектурной композиции. При таком подходе к архитектуре здание строится из функционально необходимых частей, связанных между собой функциональной целесообразностью. Каждая часть его будет нужна, а сочетание частей будет внутренне обоснованным» [19].

«Простота – это большое достижение, наш идеал. Но мы должны стремиться к мудрой простоте как к определенному синтезу, который включал бы в себя все богатство мыслей, сведенное к самым простым сжатым формам» [17].

«Мы должны знать архитектуру прошлого не для того, чтобы переносить её формы в наши проекты и постройки, а для того, чтобы переработав её, на основании точных знаний создать новую советскую архитектуру, созвучную нашей эпохе [18]. Со старой архитектурой неразрывно связаны те или иные исторические ассоциации. Ассоциации в архитектуре – весьма важная сторона художественного образа. Ассоциации, которые связываются у нас с конкретными архитектурными формами различных исторических стилей, не случайны: конкретные архитектурные формы выражают и конкретное содержание, относящееся к определенной эпохе» [19].

Вспомнив эти принципы и сопоставив с ними дома, построенные в Коломенском по-

селке (рис. 6), полностью лишённые каких-либо не обоснованных функцией элементов, можно сделать вывод: ничего в мастерской Александра Веснина не забыли и ничего к новой жизни не приспособивали. А вызванные намеком на композицию классической усадьбы ассоциации могли быть о том, что ощутить свое достоинство (после пережитой страшной войны) можно не только по праздникам в великолепных советских дворцах, но и каждый день у себя дома. Архитекторы-современники этого не поняли. При общей благожелательной оценке серии 201, один из главных элементов формирования ассоциации и эстетического восприятия застройки ее домами был подвергнут критике: «К недостаткам типового проекта № 12 следует отнести недоброкачественную в деталях центральную часть главного корпуса, приподнятый фронтоном которого композиционно не оправдан» [10]. Вероятно, без материализованных в виде гипсового изображения (другого в силу экономии быть не могло – а у гипса свойство со временем осыпаться) колонн, приподнятый классический фронтоном современникам оказался непонятен. Как не понята ими была и основная идея Ольги Яфы: не воспроизвести классику, а дать в современной форме, притом без единой классической детали, полностью функционально обоснованной – оттого экономной и предельно практичной, – подсознательное ощущение классики, вызвать ассоциации с ней.

Здания серии 201 других проектов, при внешнем и внутреннем их единстве со зданием проекта № 12, вызывают иные ощущения и ассоциации, и некоторые – уже напрямую с конструктивизмом, тогда порицаемым и осуждаемым. На угловых зданиях проектов № 13 (12 квартир, арх. Ольга Яфа) и № 18 (18 квартир, арх. Мария Слотинцева) есть конструктивистские ленточные угловые балконы (рис. 7). Это уже не ощущение основательности и достоинства, а, в дополнение к нему, – ощущение света и воздуха. И здесь все функционально



Рис. 6. Коломенский поселок ЗиС. Перспективы застройки [10]



Рис. 7. Коломенград. Ленточный балкон на угловом здании проекта № 13 (арх. Ольга Яфа) [10]



Рис. 8. Коломенград. Пространство двора между домами [10]

обосновано – балкон уже не один на всех, как в домах-коммунах, а один на трехкомнатную квартиру (все балконы расположены в угловых секциях зданий проектов № 13 и № 18) и проживающую в этой квартире семью.

Насколько эти здания соответствуют принципам конструктивизма, описано выше. Чтобы понять, какое они имеют отношение к неоклассицизму, вспомним его точное определение: «Для архитектуры неоклассицизма характерно использование форм и принципов классических ордеров, четкой, как правило, симметричной композиции, ясно читаемого силуэта и пространства, использование античных декоративных форм, а также стремление к созданию градостроительных ансамблей» [20]. Кроме четкой, да и то не всегда симметричной композиции (о ней ниже), совпадений нет, а вместо величественного ансамбля – комплексная застройка. Тем не менее ощущение классического возникает. И ощущение вызвано тем, что классическая дворянская усадьба, очевидно, была прототипом в самом начале проектирования этой серии домов. Прототипы, «с одной стороны, обеспечивают своеобразный «контроль» общества над проектированием, с другой – коммуникацию, взаимопонимание и взаимодействие проектировщиков, исследователей, строителей и заказчиков» [21]. Контроль несомненно был, и иной прототип (из другой архитектуры) при идеологических установках того времени был просто невозможен. А на стадии проектирования, вероятно, произошло следующее: «Признанный прототип не только не принимается безоговорочно в системе предписанных значений и копируется, а рассматривается в традиции пристального прочтения («close reading») с целью обнаружения интеллектуальных инструментов, примененных автором для решения опреде-

ленной задачи, но и сам становится инструментом производства нового проекта» [22]. Таким образом, был создан вполне конструктивистский проект серии жилых зданий, для которого классицизм явился не более чем инструментом его производства.

#### Недостатки и достоинства домов серии 201, план застройки и новое строительство

Из сказанного выше может показаться, что у домов серии 201 одни достоинства. Это не так, что вполне обоснованно было замечено современниками: «Существенный дефект типового проекта составляет отсутствие в домах ваннных комнат» [10]. Это был не возврат к идее дома-коммуны, а вынужденная мера для обеспечения одного из достоинств этих домов: «Комнаты – непроходные. Планировка типовых квартир проста и удобна» [10]. В 1920-е гг. с этой проблемой столкнулся Леонид Веснин и вынужден был решить ее в небольших многоквартирных домах точно так же [23]. Заселение таких домов происходило покомнатно-посемейно, и о своей отдельной квартире можно было лишь мечтать [24] – а таким образом можно было избежать хотя бы невыносимых неудобств коммунального жилища в виде проходных комнат.

Именно в Коломенском поселке у домов серии 201 было еще одно достоинство: «Все квартиры первых этажей, помимо парадного хода, имеют самостоятельные выходы на индивидуальные придомовые участки. При такой организации значительная часть внутриквартальной территории поступает в непосредственное ведение жильцов, обеспечивающих надлежащее содержание и благоустройство примыкающей к их квартирам части двора или сада» (рис. 8) [10]. Как тут не вспомнить о «защищаемом пространстве» [25], впервые обозначенном

в 1930-1940 гг. в модернистских жилых домах времен Нового курса в США [26], смысл которого был осознан лишь несколькими десятилетиями спустя Оскаром Ньюманом [27].

Новое строительство в Коломенском поселке ЗиС было начато в 1947 г. По плану (рис. 9, 10) намечалось построить 29 домов разных проектов серии 201 в различных их сочетаниях с периметральной схемой застройки и качественным благоустройством.

Строительство (рис. 11), как и во многих случаях в то время, вели заключенные исправительных лагерей. И к 1949 г. заключенные отдельного лагерного пункта 12 (ОЛП № 12) были заняты исключительно на строительстве жилых домов [29]. Судя по тому, что к концу 1950 г. ОЛП № 12 перестал существовать [29], тогда же и строительство новых домов в поселке было завершено. Точнее прекращено, так как на последней достоверной советской карте Москвы 1952 г. (рис. 12) видны не все дома, обозначенные в исходном плане застройки.

Так завершилась первая попытка комплексной застройки домами серии 201 в Коломенском поселке ЗиС. Несмотря на широкое распространение домов этой серии, в конце 1940-х гг. в большинстве случаев застройка была эклектичной, включая и дома других серий, которые соответствовали неоклассицизму наличию так необходимых заказчику «украшений». Редкие случаи комплексной застройки впоследствии были (и это тема для дальнейших исследований), но даже в таких случаях застройку домами 201-й серии очень быстро (за несколько лет до начала хрущевских реформ) сменила застройка домами большей этажности, разработанными теми же архитекторами в той же мастерской.

Новые дома поселка ЗиС в виде комплексной застройки простояли очень недолго. В 1952 г., когда Александр Веснин ушел из своей мастерской, начали проектирование, а в 1957 г., после множества изменений, связанных с хрущевской реформой по борьбе с излишествами, началось строительство нового района Волхонка-ЗиЛ, в который и вошел Коломенский поселок. Группу проектировщиков мастерской № 5 Моспроекта возглавлял академик архитектуры Зиновий Розенфельд. Также в разработке участвовали архитекторы В.А. Нестеров и А.В. Сотников [28, 30]. То, каким образом поселок вошел в состав нового жилого района, наглядно представлено на схемах красных линий Волхонка-ЗиЛ (рис. 13)

К середине 1960-х гг. были снесены существовавшие с 1934 г. бараки, а до середины 1970-х – все довоенные жилые здания и большинство послевоенных двухэтажных домов се-

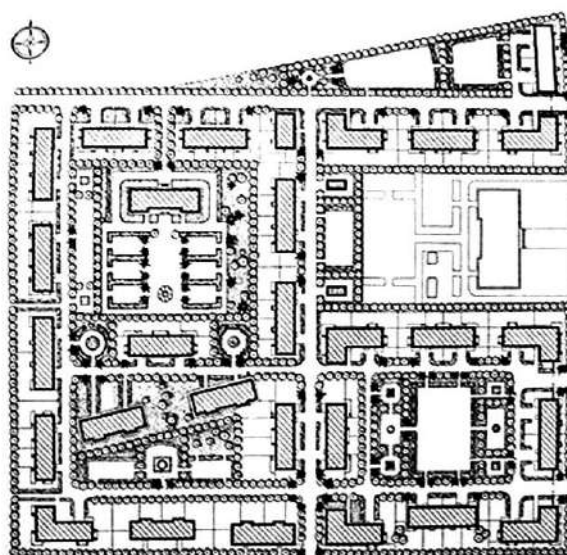


Рис. 9. План 1947 г. застройки Коломенского поселка ЗиС [28]

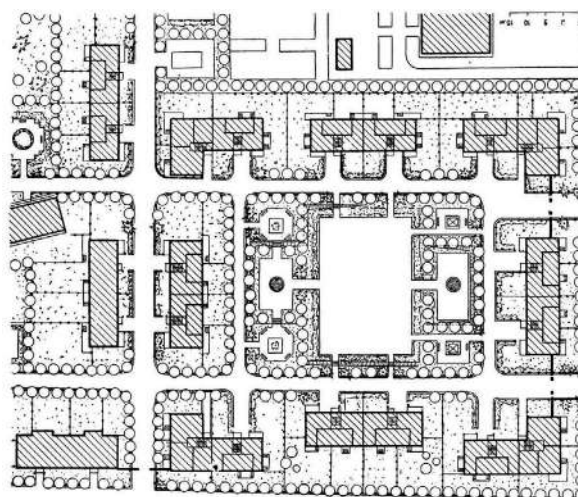


Рис. 10. Фрагмент плана 1947 г. застройки Коломенского поселка ЗиС [10]



Рис. 11. Строительство новых домов в поселке ЗиС, 1948 г. [29]

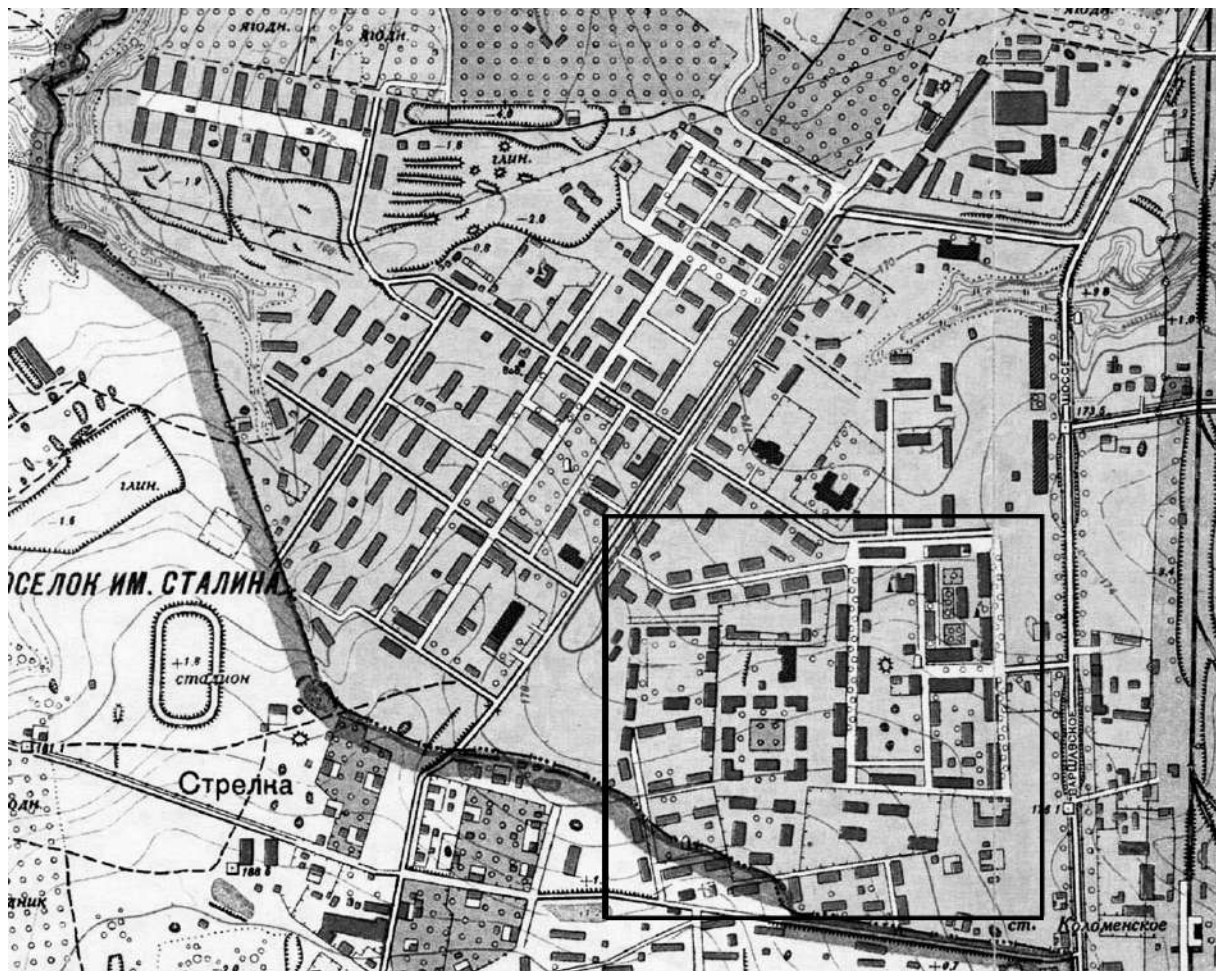
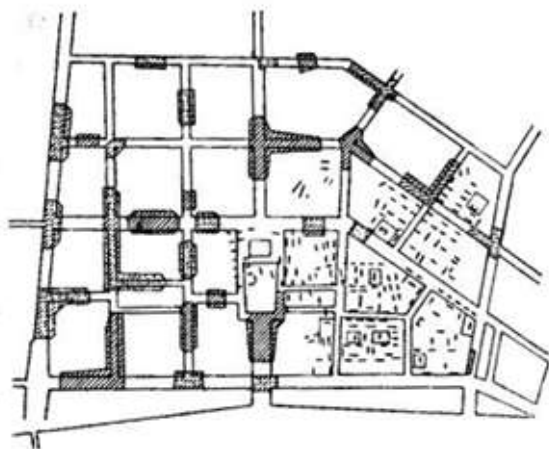


Рис. 12. Коломенский поселок ЗиС на карте Москвы 1952 г., в квадрате – послевоенная жилая застройка

а



б



Рис. 13. Схемы красных линий проекта нового района Волхонка-ЗиЛ. Варианты Института генплана Москвы (а) и мастерской № 5 Моспроекта (б) [30]

рии 201. Застройка нового района велась в основном пятиэтажными домами серий 1-510 и 1-511 с небольшой частью восьмизэтажных П-18 [30].

Начиная с 1970-х гг. в районе Волхонка-ЗиЛ происходит постоянная реновация. После сноса довоенного и послевоенного жилья пришла очередь хрущевки. Начало было положено еще задолго до Ю.М. Лужкова, затем была реновация под его руководством, а сегодня реновация идет под руководством С.С. Собянина. Однако Южный округ, частью которого внутри Нагорного района стал квартал Волхонка-ЗиЛ, «не является популярным у застройщиков. Покупатели не спешат переселяться в этот район, поэтому и строительство домов идет средними темпами: на Юге в данный момент продается около 8 % всех московских новостроек (в ЗАО, например, в два раза больше)» [31]. Причина видится в истории: однажды потеряв свое лицо, район никак не может его найти.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Меерович М.Г. На острие схватки титанов // Архитектон: известия вузов. 2011. №1 (33). С. 9.
2. Косенкова Ю.А. Советский город 1940-х – первой половины 1950-х годов: От творческих поисков к практике строительства: дис. ... д. арх.: 18.00.01. М., 2000. 379 с.
3. Из истории советской архитектуры. 1941–1945: материалы и документы / сост. Т.Г. Малинина. М.: Наука, 1978. 211 с.
4. Филиппов В.Д. Братья Веснины и архитектура массового строительства // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн: сборник статей / СГАСУ. Самара, 2016. С. 244–251.
5. Казусь И.А. Советская архитектура 1920-х годов: организация проектирования. М.: Прогресс-Традиция, 2009. 464 с.
6. Филиппов В.Д. Веснины и «Коломенград» как прототип массовой жилой застройки // Innovative Project. 2016. Т. 1. № 1. С. 34–41.
7. Pare Richard The lost vanguard: Russian modernist architecture 1922–1932 / Foreword by Phyllis Lambert; Essay by Jean-Louis Cohen. New York: The Monacelli Press, 2007. 348 pp.
8. Тарасова Е.А. Архитектура жилых и массовых общественных зданий. Всеобщая история архитектуры: в 12 т. Т. 12. Кн. 1. Архитектура СССР. 1941–1954 / под ред. Н.В. Баранова. М.: Стройиздат, 1975.
9. Косенкова Ю.А., Волчок Ю.П. Хроника архитектурно-градостроительного процесса в СССР послевоенного периода (1945–1955)–1948 год / НИИТИАГ. 2013 URL: [http://www.niitiag.ru/pub/pub\\_cat/khronika\\_arhitekturno\\_gradostroitelno\\_protssesa\\_v\\_ssr\\_poslevoennogo\\_perioda](http://www.niitiag.ru/pub/pub_cat/khronika_arhitekturno_gradostroitelno_protssesa_v_ssr_poslevoennogo_perioda) (дата обращения: 05.08.2018).
10. Шасс Ю.Е. Архитектура жилого дома: Ч. 1. Поселковое строительство 1918–1948 годов. М.: Госстройиздат, 1951. 200 с.
11. Шпаков И.В. История советской серии типовых проектов малоэтажных жилых домов 1940–50 годов архитектора С. А. Маслиха // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: История и право. 2016. № 4 (21). С. 185–193.
12. Каталог проектов двухэтажных секционных жилых домов и общежитий / рекоменд. Ком. по делам архитектуры при Совете министров СССР для строительства 1947 г. М.: Гос. арх. изд-во, 1947. 89 с.
13. Каталог типовых проектов жилых домов и общежитий / Ком. по делам архитектуры при Совете министров СССР. Гл. упр. по проектированию жилых зданий. М.: Гос. архитектурное изд-во, 1950. 90 с.
14. Елена Анцута Вопросы-ответы. URL: <https://ru.calameo.com/books/005336234550cbf333eac> (дата обращения: 05.07.2018).
15. Веснин А.А. Кредо (рукопись), апрель 1922 г.
16. Веснин А.А. Проблема интерьера // Архитектура СССР. 1934. № 7. С. 3–4.
17. Веснин А.А. Из выступления на общемосковском совещании архитекторов в феврале 1936 г. // Архитектурная газета, 3 марта 1936 г.
18. Веснин А.А. Современность и наследство // Архитектура СССР. 1940. № 3. С. 37–39.
19. Веснин А.А. О социалистическом реализме в архитектуре // Советская архитектура. 1957. №8. С. 69–80.
20. Бронувицкая А.Ю., Юрченко Т.Г. Неоклассицизм // Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс] URL: [https://bigenc.ru/fine\\_art/text/2259688](https://bigenc.ru/fine_art/text/2259688) (дата обращения: 05.07.2018).
21. Раппапорт А.Г. Проектирование без прототипов // Разработка и внедрение автоматизированных систем в проектировании (теория и методология) / отв. ред. Б.В. Сазонов. М.: Стройиздат, 1975. С. 299–392.
22. Малахов С.А., Репина Е.А. Композиция и исследование, концепция и контекст – основные методологические приоритеты кафедры инновационного проектирования Самарского государственного архитектурно-строительного университета // Градостроительство и архитектура. 2015. №4(21). С. 43–52.
23. Меерович М.Г. Первые шаги на пути к индустриализации: советский опыт 1920–1930-х // Массовое домостроение в России: история, критика, перспективы. М. 2016. С. 26–41.
24. Меерович М.Г. Наказание жилищем: жилищная политика в СССР как средство управления людьми. 1917–1937. М.: РОССПЭН, 2008. 304 с.
25. Кияненко К.В. Архитектура и безопасность: «Защищающее пространство» Оскара Ньюмана // Архитектурный вестник. 2011. № 5 (122). С. 87–92.
26. Филиппов В.Д. Сент-Луис и возрождение архитектуры модернизма // Innovative Project. 2017. Т. 2. № 1 (5). С. 13–24.

27. Newman Oscar, *Defensible Space: Crime Prevention through Urban Design*. New York: Macmillan, 1972. 264 pp.

28. Ярославцева С.И. От Черёмушек до Зюзина. В долине Котла. Четыре московских района. М.: Центрполиграф, 2014. 608 с.

29. Натаров Евгений. Лагеря ЗИС: Велозаводская улица и Васькино // Это прямо здесь. URL: <https://topos.memo.ru/article/703+300> (дата обращения: 05.07.2018).

30. Стригалева А.А. Волхонка-ЗИЛ // Новые районы Москвы: сборник ст. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1960. С. 133–170.

31. Новостройки Южного административного округа // Недвижимость & Цены. 29 сентября 2008. URL: [http://www.prime-realty.ru/objects/prof/УАО\\_avtoz.htm](http://www.prime-realty.ru/objects/prof/УАО_avtoz.htm) (дата обращения: 05.07.2018).

Об авторе:

**ФИЛИПPOB Василий Дмитриевич**

ведущий инженер Дирекции АСА  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
tel. (846) 339-14-59  
E-mail: vasilf@mail.ru

**FILIPPOV Vassily D.**

leading engineer  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (846) 339-14-59  
E-mail: vasilf@mail.ru

Для цитирования: *Филиппов В.Д.* Коломенград. Послевоенное строительство // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 109–118. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.17.

For citation: *Filipov V.D.* Kolomengrad. Post-War Construction and Final of History // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 109–118. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.17.

---

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»  
ПРИГЛАШАЕТ ВАС ОПУБЛИКОВАТЬ СТАТЬЮ.  
ЖУРНАЛ ВКЛЮЧЕН В ПЕРЕЧЕНЬ РЕЦЕНЗИРУЕМЫХ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ,  
ИНДЕКСИРУЕТСЯ В РИНЦ, CROSSREF И ERIN PLUS  
ПО ВОПРОСАМ, СВЯЗАННЫМ С ПУБЛИКАЦИЕЙ СТАТЕЙ,  
ОБРАЩАТЬСЯ **VESTNIKSGASU@YANDEX.RU**  
ПОЛНАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЖУРНАЛЕ НА САЙТЕ **JOURNAL.SAMGASU.RU**

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ



УДК 531.5:532.556.6

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.18

Е. А. КРЕСТИН

### ВЛИЯНИЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ СТЕНКИ ПЛОСКОГО ДИФфуЗОРА НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТОКА ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ

INFLUENCE OF FLAT WALL DIFFUSER WALL OSCILLATION ON HYDRODYNAMIC  
PARAMETERS OF VISCOUS FLUID FLOW

С целью снижения энергоемкости, увеличения надежности работы гидравлического привода строительных машин и механизмов проведены исследования гидродинамических параметров потока вязкой жидкости в плоском диффузоре при осцилляции одной из стенок канала. Для построения полей скоростей и давлений использованы уравнения Навье-Стокса совместно с уравнением неразрывности. Задача решена в полярных координатах с граничными условиями. Получено общее решение задачи, которое соответствует автомодельному граничному условию на подвижной стенке. Профиль радиальной скорости имеет участки прямого и обратного течений и представляет собой стоячую волну по угловой координате. Определены силы, действующие на подвижную и неподвижную стенки диффузора. Полный интегральный расход через диффузор равен нулю.

**Ключевые слова:** гидропривод, диффузор, осцилляция, гидродинамические параметры, профиль скорости, утечки жидкости, сила вязкого трения, локальные и интегральные характеристики

*In order to reduce the energy consumption, increase the reliability of the hydraulic drive of construction machines and mechanisms, studies of the hydrodynamic parameters of the viscous fluid flow in a flat diffuser during the oscillation of one of the walls of the channel are carried out. Navier-Stokes equations together with the continuity equation are used to construct velocity and pressure fields. The problem is solved in polar coordinates with boundary conditions. The General solution of the problem, which corresponds to the self-similar boundary condition on the moving wall, is obtained. The radial velocity profile has sections of forward and reverse currents and is a standing wave along the angular coordinate. The forces acting on the movable and stationary walls of the diffuser are determined.*

**Keywords:** hydraulic drive, diffuser, oscillation, hydrodynamic parameters, velocity profile, fluid leakage, viscous friction force, local and integral characteristics

Гидравлический привод нашел широкое применение во многих отраслях производства, и в частности, в строительстве. Границы области применения гидравлического привода определяются его преимуществами и недостатками. Наряду с простотой управления, надежностью эксплуатации, большой передаваемой мощностью на единицу массы привода, а также возможностью получения больших сил и мощностей при малых размерах и весе передаточного механизма, гидравлический привод имеет ряд

недостатков. В первую очередь к ним относятся утечки рабочей жидкости через уплотнения и зазоры. Особенно эта проблема актуальна при высоких значениях давления в гидросистеме.

В настоящее время для дальнейшего развития систем гидропривода важную роль играют разрабатываемые и внедряемые новые уплотнительные материалы. В частности, развитие нанотехнологий позволяет повысить прочность материалов на износ и истирание, а это ведет к уменьшению массы оборудования, его раз-



меров, повышает надежность исполнительных механизмов, снижает энергоемкость всего гидропривода.

Наряду с эластичными прокладками из различных материалов, герметиками, пробками, уплотнительными шайбами между подвижными соединениями широко используются бесконтактные уплотнения, заполненные рабочей жидкостью. При таком уплотнении не наступает износа подвижных соединений в результате трения. Поэтому такие уплотнения чаще всего используют при возвратно-поступательных перемещениях, а также при высоких окружных скоростях, когда температура рабочей жидкости достаточно высока.

Как известно, несоосность и перекокс плунжера в обойме приводят к изменению гидродинамических параметров в зазоре бесконтактного уплотнения [1–5]. Выясним влияние этих обстоятельств на ресурс работы и энергоемкость системы гидропривода. Для этого найдем профиль скорости рабочей жидкости в канале переменной высоты, а также вычислим расход утечек через диффузор и силу вязкого трения на подвижной и неподвижной стенках канала.

Рассмотрим динамику вязкой жидкости в плоском диффузоре с углом раскрытия  $\alpha$ , одна из стенок которого совершает в своей плоскости гармонические колебания (рис.1).

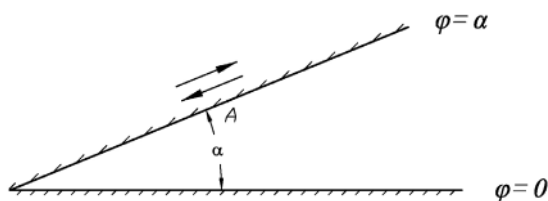


Рис. 1. Расчетная модель диффузора

Внутри диффузора находится несжимаемая вязкая жидкость. Для исследования полей скоростей и давлений при решении задачи будем исходить не из уравнений для функции тока, а из уравнений Навье-Стокса [6]:

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_\varphi}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} - \frac{v_\varphi^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left( \Delta v_r - \frac{v_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} \right), \quad (1a)$$

$$\frac{\partial v_\varphi}{\partial t} + v_r \frac{\partial v_\varphi}{\partial r} + \frac{v_\varphi}{r} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{v_r v_\varphi}{r} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \nu \left( \Delta v_\varphi - \frac{v_\varphi}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} \right), \quad (1б)$$

решая их совместно с уравнением неразрывности

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} = 0. \quad (2)$$

Для определения гидродинамических параметров используем полярные координаты  $r, \varphi$ , в которых оператор Лапласа имеет вид

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}. \quad (3)$$

Определим граничные условия на подвижной и неподвижной стенках:

$$\text{при } \varphi = 0, v_r(r, \varphi) = v_\varphi(r, \varphi) = 0, \quad (4)$$

$$\text{при } \varphi = \alpha, v_0 \cdot \cos \omega t, v_\varphi = 0. \quad (5)$$

Предположим, что скорость движения стенки канала  $v_0 = v_0(\tau)$ .

Так как в граничных условиях угловая скорость равна нулю, то решение краевой задачи (1a) – (5) будем искать в виде

$$v_r = v_r(t, r, \varphi), v_\varphi = 0.$$

Отсюда получаем, что движение жидкости в диффузоре чисто радиальное.

Выразим зависимость скорости  $v_r$  от параметра  $t$  с учетом граничных условий (5) в виде реальной части выражения

$$\left. \begin{aligned} v_r &= v(r, \varphi) e^{i\omega t}, \\ v_\varphi &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Тогда уравнение неразрывности в этом случае будет иметь вид

$$\frac{\partial}{\partial r} (r v_r) = 0, \quad (7)$$

откуда следует, что

$$v = \frac{\Phi(\varphi)}{r}. \quad (8)$$

Подставляя теперь выражения (6) – (8) в исходные уравнения (1a) – (1б), получим:

$$i\omega \frac{\Phi}{r} e^{i\omega t} + \frac{\Phi}{r} e^{i\omega t} \cdot \left( -\frac{\Phi}{r^2} \right) e^{i\omega t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \frac{\Phi''}{r^3} e^{i\omega t}; \quad (9)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \frac{2\nu}{r^3} \Phi' \cdot e^{i\omega t}. \quad (10)$$

Из уравнения (9) следует, что решение в форме (6) могло бы удовлетворить исходным уравнениям, если бы не квадратичный по  $\Phi$  второй член в левой части уравнения (9). При малых значениях скорости колебания стенки указанным слагаемым можно пренебречь. Математическим выражением малости скорости будет следующее условие:

$$v_0 \ll \min \left( \omega r, \frac{v}{r} \right). \quad (11)$$

Диапазон полученного решения при указанных условиях будет определяться неравенством

$$\tau_{\min} = \frac{v_0}{\omega} \ll \tau \ll \frac{v}{v_0} = \tau_{\max}. \quad (12)$$

Следует отметить, что чем меньше скорость движения стенки диффузора  $v_0$ , тем будет шире интервал (12).

Таким образом, с учетом вышеизложенных ограничений уравнения (9) и (10) можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned} i\omega \frac{\Phi}{\tau} e^{i\omega t} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \tau} + v \frac{\Phi''}{\tau^3} e^{i\omega t}, \\ 0 &= -\frac{1}{\rho\tau} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \frac{2v}{\tau^3} \Phi' e^{i\omega t}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Из уравнений (13) следует, что давление следует искать в виде функции

$$p(\tau, \varphi, t) = \left[ \frac{f(\varphi)}{\tau^2} + g(\varphi) \ln \tau \right] e^{i\omega t}. \quad (14)$$

Подставляя (14) в (13), приравнивая коэффициенты при одинаковых зависимостях от  $\tau$  в левых и правых частях, после преобразований получим

$$g'(\varphi) = 0; \quad g(\varphi) = \text{const} = c. \quad (15)$$

$$\left. \begin{aligned} i\omega \frac{\Phi}{\tau} &= \frac{2}{\rho\tau^3} f(\varphi) - \frac{1}{\rho\tau} g(\varphi) + v \frac{\Phi''}{\tau^3}, \\ 0 &= -\frac{1}{\rho\tau^3} f'(\varphi) - \frac{g'(\varphi)}{\rho\tau} \ln \tau + \frac{2v}{\tau^3} \Phi'. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

Тогда

$$\left. \begin{aligned} i\omega\Phi &= -\frac{c}{\rho}, \\ \frac{f'}{\rho} &= 2v\Phi', \\ \frac{2f}{\rho} &= -v\Phi''. \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

При больших и средних частотах  $\omega$  система (17) имеет только тривиальное решение, а это означает, что при таких частотах осцилляции стенки движение жидкости не будет чисто радиальным, т. е. это движение нельзя описать решением типа (17). При больших частотах линии тока в диффузоре будут искривлены. При малых частотах из первого уравнения системы (17) следует, что

$$c = 0. \quad (18)$$

Функции  $f(\varphi)$  и  $\Phi(\varphi)$  удовлетворяют системе уравнений:

$$\left. \begin{aligned} f' &= 2v\rho\Phi', \\ 2f &= -v\rho\Phi''. \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

Данная система уравнений эквивалентна двум уравнениям типа

$$\left. \begin{aligned} \Phi'' + 4\Phi' &= 0, \\ f''' + 4f' &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Поскольку уравнения эти одинаковые, то достаточно записать решение одного из них [7]:

$$\Phi = c_1 \sin 2\varphi + c_2 \cos 2\varphi + c_3. \quad (21)$$

Решения для функции  $f$  будут отличаться только константами в (21).

Таким образом, величина радиальной скорости и давления имеют вид:

$$v_r = \frac{c_1 \sin 2\varphi + c_2 \cos 2\varphi + c_3}{\tau} \cos(\omega t + \varphi_1); \quad (22)$$

$$p = \frac{A_1 \sin 2\varphi + A_2 \cos 2\varphi + A_3}{\tau} \cos(\omega t + \varphi_2). \quad (23)$$

В формулах (22) и (23) все постоянные слагаемые вещественные, так как комплексность в уравнении (21) была учтена фазами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .

Из граничного условия (5) следует, что  $\varphi_1 = 0$ . Из второго уравнения системы (19) находим  $\varphi_2 = 0$ . Это же уравнение позволяет связать постоянные  $c_i$  и  $A_i$ .

$$A_{1,2} = 2v\rho c_{1,2}; \quad A_3 = 0. \quad (24)$$

Таким образом, решение можно записать в виде:

$$v_r = \frac{c_1 \sin 2\varphi + c_2 \cos 2\varphi + c_3}{\tau} \cos \omega t; \quad (25)$$

$$p = 2v\rho \frac{c_1 \sin 2\varphi + c_2 \cos 2\varphi + c_3}{\tau} \cos \omega t. \quad (26)$$

При постановке задачи предполагалось, что задача решается только в том случае, если

$$v_0(\tau) = \frac{\psi}{\tau}, \quad (27)$$

где  $\psi = \text{const}$ .

Следовательно, чтобы задача имела решение, необходимо, чтобы граничные условия были автомодельными. Это обусловлено тем, что наше решение справедливо все-таки на ограниченном участке (12). Тогда можно выбирать функцию  $\psi$  в (27) таким образом, чтобы средняя по интервалу автомодельная скорость была равна истинной скорости движения стенки диффузора. Именно эту истинную скорость необходимо использовать в условиях (11) и (12). Тогда в пределах этого интервала полученное решение будет справедливо, а если интервал (12) будет не слишком велик, то решение будет достаточно точно отвечать поставленной задаче.

Фактически речь идет о том, чтобы на рис. 2 сплошная линия (1) не отклонялась бы значительно от пунктирной линии (2) – от истинной автомодельной скорости на границе диффузора.

Перейдем к определению постоянных величин в общем решении.

Необходимо определить прежде всего  $\psi$  в выражении (27):

$$\frac{1}{\tau_{\max} - \tau_{\min}} \int_{\tau_{\min}}^{\tau_{\max}} \frac{\psi}{\tau} d\tau = V, \quad (28)$$

где  $V$  – истинная скорость стенки, т. е. это коэффициент при функции  $\cos \omega t$ .

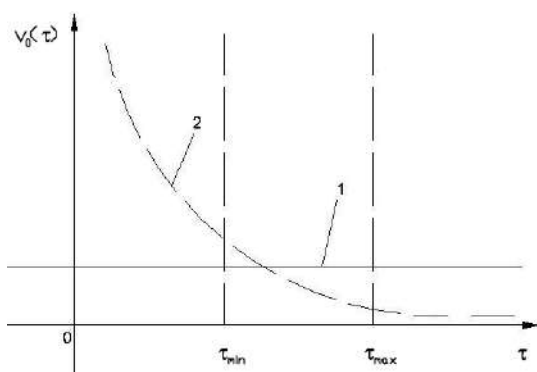


Рис. 2. К вопросу о граничных условиях

Из соотношения (28) имеем

$$\psi = \frac{V(\tau_{\max} - \tau_{\min})}{\ln \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}}} \quad (29)$$

Поскольку в начале диффузора нет ни источников, ни стоков, то получаем

$$\int_0^{\alpha} \tau_0 v(\tau_0, \varphi) d\varphi = 0, \quad (30)$$

которое будет справедливо при любых значениях  $\tau_0 \in (\tau_{\max}; \tau_{\min})$ .

Для определения постоянных  $c_1, c_2$  и  $c_3$  получили следующую систему линейных алгебраических уравнений:

$$\left. \begin{aligned} c_1 + c_3 &= 0, \\ c_1 \sin 2\alpha - 2c_2 \sin^2 2\alpha &= \psi, \\ c_1 \sin^2 \alpha - c_2 \left( \alpha - \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Решая эту систему, найдем:

$$\left. \begin{aligned} c_1 &= \psi \frac{\sin \alpha \cos \alpha - \alpha}{2 \sin \alpha (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}, \\ c_2 &= -\frac{\psi}{2} \frac{\sin \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} = -c_3. \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

С учетом (32) выражения (25) и (26) принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} v_z &= \frac{c_1 \sin 2\varphi - 2c_2 \sin^2 \varphi}{\tau} \cos \omega t, \\ p &= 2\nu p \frac{c_1 \sin 2\varphi + c_2 \cos 2\varphi}{\tau^2} \cos \omega t, \\ v_\varphi &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (33)$$

Ко второму уравнению системы (33) необходимо добавить давление «на бесконечности»  $p_\infty$ .

Исследуем теперь полученное решение. Рассмотрим прежде всего профиль скорости как функцию угла  $\varphi$ .

$$\frac{\partial v_z}{\partial \varphi} = \frac{2}{\tau} (c_1 \cos 2\varphi - c_2 \sin 2\varphi) \cos \omega t; \quad (34)$$

$$\frac{\partial^2 v_z}{\partial \varphi^2} = -\frac{4}{\tau} (c_1 \sin 2\varphi + c_2 \cos 2\varphi) \cos \omega t. \quad (35)$$

Имеется луч, вдоль которого жидкость покоится:

$$v_z(\tau, \varphi_0) = 0, \operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{c_1}{c_2} > 0, \quad (35a)$$

так как коэффициенты  $c_1$  и  $c_2$  имеют одинаковые знаки. Выше луча  $\varphi = \varphi_0$  жидкость движется в направлении перемещения стенки, ниже этого луча жидкость движется в противоположную сторону. В области обратного течения имеется луч, на котором величина скорости будет максимальная:

$$\frac{\partial v_z}{\partial \varphi} = 0, \operatorname{tg} 2\varphi_1 = \frac{c_1}{c_2} > 0. \quad (35b)$$

Отсюда следует, что  $\varphi_1 = \varphi_0/2$ . Величина скорости на экстремальном луче

$$v_z(\tau, \varphi_1) = \frac{\cos \omega t}{\tau} \left( -\sqrt{c_1^2 + c_2^2} - c_2 \right). \quad (36)$$

Точка перегиба профиля скорости определяется соотношением

$$\frac{\partial^2 v_z}{\partial \varphi^2} = 0, \operatorname{tg} 2\varphi_2 = -\frac{c_2}{c_1} < 0.$$

Так как коэффициенты  $c_1$  и  $c_2$  имеют одинаковые знаки, то необходимым условием наличия точки перегиба является условие:

$$\alpha > \alpha_{\min} = \frac{\pi}{4}.$$

Причем при меньших углах раствора диффузора профиль скорости не имеет перегибов.

Найдем величину напряжения на стенке при  $\varphi = 0$ :

$$\tau_0 = \mu \frac{\partial v_z}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=0} = \frac{2\mu}{\tau^2} c_1 \cos \omega t, \quad (37)$$

а напряжение на стенке при  $\varphi = \alpha$  составит

$$-\tau_\alpha = \frac{2\mu}{\tau^2} (c_1 \cos 2\alpha - c_2 \sin 2\alpha) \cos \omega t. \quad (38)$$

Перейдем к анализу локальных характеристик поля давления:

$$\frac{\partial p}{\partial \varphi} = 2\nu p \frac{\cos \omega t}{\tau^2} 2(c_1 \cos 2\varphi - c_2 \sin 2\varphi); \quad (39)$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial \varphi^2} = -8\nu p \frac{\cos \omega t}{\tau^2} (c_1 \sin 2\varphi - c_2 \cos 2\varphi). \quad (40)$$

Как известно, давление имеет нулевое значение на том же луче, где находится перегиб. На этом же луче происходит и перегиб профиля скорости  $\varphi_1 = \varphi_2$ . Максимальные значения давления и скорости будут на одном и том же луче  $\varphi = \varphi_1$ . Экстремальное значение давления составляет

$$p(\tau, \varphi_1) = -2\nu p \frac{\cos \omega t}{\tau^2} \sqrt{c_1^2 + c_2^2}. \quad (41)$$

Давление на нижней стенке ( $\varphi = 0$ ) является величиной переменной:

$$p(\tau, 0) = 2\nu\rho \frac{c_2}{\tau_2} \cos \omega t. \quad (42)$$

Таким образом, все локальные характеристики поля течения зависят от угла раскрытия  $\alpha$  диффузора.

На рис. 3 показана качественная картина профилей скорости и давления диффузора с углом раскрытия  $\alpha = \pi/6$ .

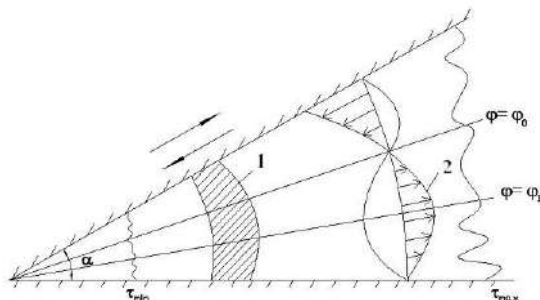


Рис. 3. Качественный вид профилей давления (1) и скорости (2)

Отметим, что необходимым условием наличия точки перегиба на профиле скорости является соотношение

$$\pi - \arctg \frac{c_2}{c_1} \leq 2\alpha. \quad (43)$$

Анализ трансцендентного уравнения (43) показывает, что при углах раскрытия диффузора  $\alpha < \pi/3$  профили скорости  $v$  и эпюра давления  $p$  точек перегиба иметь не будут.

При решении задачи рассматривался интервал  $\tau_{\min} \ll \tau \ll \tau_{\max}$ , в котором течение является чисто радиальным (при малых частотах осцилляции стенки). За пределами указанного интервала линии тока будут иметь искривления. Причем границей этого искривления можно считать

$$\tau = \tau_{\min} = \frac{v_0}{\omega} \approx V/\omega.$$

Предадим, наконец, математическую корректность понятию малых частот колебаний. Из первого уравнения системы (15) следует, что частота должна быть мала, если  $\omega = \nu/\tau^2$ . Данное условие не противоречит интервалу (12). Тогда, объединяя указанное ограничение с интервалом (12), получим:

$$\tau_{\min} = \frac{\nu}{\omega} < \tau < \min\left(\frac{\nu}{V'}, \sqrt{\frac{\nu}{\omega}}\right) = \tau_{\max}. \quad (44)$$

Отсюда следует, что интервал (12) всего лишь «урезался» со стороны  $\tau_{\max}$ .

Рассмотрим теперь интегральные характеристики поля течения. Так как подвижная стен-

ка представляет собой границу канала, то найдем силы, действующие вдоль этой подвижной стенки. Причем расчеты отнесем к участку  $\tau_{\min} < \tau_1 < \tau_2 < \tau_{\max}$ , а конкретно – к расстоянию  $\tau_2 - \tau_1$ .

На подвижную стенку со стороны жидкости в направлении её движения действует только сила трения:

$$F_\alpha^{(1)} = -2\mu(c_1 \cos 2\alpha - c_2 \sin 2\alpha) \cos \omega t \left(\frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2}\right). \quad (45)$$

На неподвижную стенку в направлении движения верхней стенки действует как сила давления, так и сила трения.

Сила давления, действующая на участок  $(\tau_1, \tau_2)$  и направленная по нормали к нему, равна

$$P = 2\mu c_2 \left(\frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2}\right) \cos \omega t, \quad (46)$$

а проекция этой силы на направление движения верхней стенки равна

$$P_\alpha = -2\mu c_2 \left(\frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2}\right) \sin \alpha \cdot \cos \omega t. \quad (47)$$

Сила трения, действующая на участок  $(\tau_1, \tau_2)$  нижней стенки и направленная тангенциально к ней, составляет

$$F = 2\mu c_1 \left(\frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2}\right) \cos \omega t \cdot \cos \alpha. \quad (48)$$

Суммарная сила, действующая на неподвижную стенку в направлении движения верхней стенки, равна

$$F_\alpha^{(2)} = P_\alpha + F_\alpha = 2\mu(c_1 \cos \alpha - c_2 \sin \alpha) \left(\frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2}\right) \cos \omega t. \quad (49)$$

Теперь определим вращательный момент, действующий на участок  $(\tau_1, \tau_2)$  неподвижной стенки, относительно начала диффузора.

Из определения вращательного момента сил имеем:

$$dM_2 = dF_\perp(\tau) \cdot \tau, \quad (50)$$

где  $dF_\perp(\tau)$  – сила, действующая на элемент  $d\tau$  нижней (неподвижной) стенки, в направлении нормали к ней.

Величина силы вязкого трения направлена тангенциально, а ее проекция на нормаль равна нулю. Сила  $dF_\perp$  целиком обусловлена давлением на нижней стенке

$$dF_\perp = 2\mu c_2 \frac{d\tau}{\tau^2} \cos \omega t,$$

а величина момента этой силы будет равна

$$dM_z = 2\mu c_2 \frac{d\tau}{\tau} \cos \omega t.$$

Интегрируя это выражение по  $\tau$  от  $\tau_1$  до  $\tau_2$ , получим

$$M_2 = 2\mu c_2 \ln \frac{\tau_2}{\tau_1} \cos \omega t. \quad (51)$$

Зависимость (51) определяет переменную (временную) часть момента. Однако есть еще и постоянная часть момента, обусловленная постоянным слагаемым в давлении, т. е. давлением «на бесконечности» –  $p_\infty$ :

$$m_2 = \frac{P_\infty}{2} (\tau_2^2 - \tau_1^2). \tag{52}$$

Полный момент сил, действующих на участки  $(\tau_1, \tau_2)$  относительно начала диффузора, можно выразить в виде

$$M = \frac{P_\infty}{2} (\tau_2^2 - \tau_1^2) + 2\mu c_2 \ln \frac{\tau_2}{\tau_1} \cos \omega t. \tag{53}$$

Рассмотрим физический смысл момента  $M$  по (53). Если нижняя (неподвижная) стенка диффузора может свободно, без трения, вращаться вокруг оси, проходящей через начало диффузора, то для компенсации вращающего воздействия внутреннего давления необходимо приложить извне к участку  $(\tau_1, \tau_2)$  указанный момент сил.

Следует отметить, что первое слагаемое в уравнении (53) значительно больше второго. Следовательно, полный вращательный момент, изменяясь по величине, остается постоянным по направлению.

Полный расход жидкости, проходящий через все сечения диффузора, согласно (30) равен нулю. Определим величину расхода между лучами  $\varphi = \varphi_0$  и  $\varphi = \alpha$ . Между этими лучами направление скорости движения жидкости совпадает с направлением скорости осцилляции стенки

$$Q = \int_{\varphi_0}^{\alpha} v_r r d\varphi = \cos \omega t \int_{\varphi_0}^{\alpha} [c_1 \sin 2\varphi - c_2 (1 - \cos 2\varphi)] r d\varphi = \cos \omega t \left[ \frac{c_1}{2} (\cos 2\varphi_0 - \cos 2\alpha) + \frac{c_2}{2} (\sin 2\alpha - \sin 2\varphi_0) - c_2 (d - \varphi_0) \right]. \tag{54}$$

Последнее выражение можно представить в виде:

$$Q = \frac{\tau}{4 \left[ \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=\varphi_0} - \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=\varphi_2} \right]} - c_2 (d - \varphi_0) \cos \omega t. \tag{55}$$

В формулах (54) и (55) угол  $\varphi_0$  определен соотношением (35а). Расход между лучами  $\varphi_0 = 0$  и  $\varphi = \varphi_0$  также определяется выражением (55), но с противоположным знаком, т. е. направлен в обратную сторону.

В случае  $(\alpha - \varphi_0) \ll \pi$  разложим выражение (54) в ряд Тейлора [8] и найдем:

$$Q \approx \psi (\alpha - \varphi_0) \cos \omega t. \tag{56}$$

Используя это выражение для определения расхода, следует иметь в виду, что  $\psi = \text{const}$ ,  $\varphi = \varphi_0(\alpha)$ . При этом величина расхода  $Q$  линейно зависит от угла раствора диффузора ( $\alpha = \varphi_0$ ).

**Выводы.** 1. Исследуемое чисто радиальное течение при малых числах Рейнольдса и малых частотах осцилляции стенки реализуется в интервале

$$\tau_{\min} = \frac{V}{\omega} < \tau < \min \left( \frac{v}{V'} \sqrt{\frac{v}{\omega}} \right) = \tau_{\max}.$$

В интервалах  $\tau < \tau_{\min}$  или  $\tau > \tau_{\max}$  линии тока будут искривлены.

2. Исследование радиального течения соответствует автомодельному граничному условию на подвижной стенке:

$$v_r = \left( \frac{\psi}{\tau} \right) \cos \omega t.$$

При  $v_r = \text{const}$  линии тока будут искривлены. Аппроксимируя отношение  $(\psi/\tau)$  постоянной величиной на расчетном интервале  $(\tau_{\min}, \tau_{\max})$ , данным искривлением линий тока можно пренебречь.

3. Профиль радиальной скорости имеет участки прямого и обратного течений. Интегральный расход через сечение диффузора равен нулю.

4. Имеется луч  $\varphi = \varphi_0$  вдоль которого жидкость покоится. По разные стороны этого луча жидкость движется в противоположных направлениях. Имеется луч  $\varphi = \varphi_1$ , ( $\varphi_1 = \varphi_0/2$ ), вдоль которого скорость обратного течения максимальная. Профиль радиальной скорости представляет собой стоячую волну по угловой координате. При угле раскрытия диффузора  $\pi/3 < \alpha < \pi/2$  профиль скорости имеет точку перегиба на луче.

5. Давление по времени изменяется в фазе со скоростью. Причем величина давления изменяется как поперек диффузора  $\left( \frac{\partial p}{\partial \varphi} \neq 0 \right)$ , так и вдоль него  $\left( \frac{\partial p}{\partial r} \neq 0 \right)$ . В частности, давление на нижней неподвижной стенке является величиной переменной. Если радиальная скорость пропорциональна  $1/\tau$ , то давление пропорционально  $1/\tau^2$ .

6. На луче  $\varphi = \varphi_1$  давление осциллирует с наибольшей амплитудой. Если профиль скорости имеет точку перегиба при  $\varphi = \varphi_2$ , то на этом луче  $\varphi = \varphi_2$  давление не испытывает колебаний и сохраняет свое постоянное значение.

7. Определена сила трения на подвижной и неподвижной стенках диффузора. Найден вращательный момент, действующий на расчетный участок  $(\tau_1, \tau_2)$  нижней стенки.

8. Величина расхода жидкости в области «одностороннего» движения между лучами  $\varphi = 0$  и  $\varphi = \varphi_0$  или  $\varphi = \varphi_0$  и  $\varphi = \alpha$  определена зависимостью

$$Q = \cos \omega t \left[ \frac{c_1(\alpha)}{2} (\cos 2\varphi_0 - \cos 2\alpha) + \frac{c_2(\alpha)}{2} (\sin 2\alpha - \sin 2\varphi_0) - c_2(\alpha - \varphi_0) \right].$$

Для узких диффузоров, когда  $(\alpha - \varphi_0) \ll \pi$ , величина расхода равна

$$Q \approx \psi(\alpha - \varphi_0) \cos \omega t.$$

9. Если средняя на интервале  $(\tau_{\min}, \tau_{\max})$  автомодельная скорость верхней стенки равна истинной экспериментальной, но не зависящей от  $\tau$ , то коэффициент  $\psi$  равен значению

$$\psi = V(\tau_{\max} - \tau_{\min}) \ln^{-1} \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\min}},$$

где  $V$  – амплитуда осцилляций во времени истинной скорости верхней 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. Галицков С.Я., Дуданов И.В. Автоматизированный гидропривод поворотной платформы экскаватора // Труды секции «Строительство». Строительный вестник Российской инженерной академии. М., 2007. Вып. 8. С. 15–18.
3. Вайсман Н.М., Рыбаков В.Н. Расчет объемного гидропривода возвратно-поступательного движения дроссельного регулирования. СПб.: Издательство СПбГТУ, 1994. 352 с.
4. Лозовецкий В.В. Гидро- и пневмосистемы транспортно-технологических машин. СПб., 2012. 560 с.
5. 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.
6. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гос. изд. техн.-теорет. лит., 1995. 519 с.

Об авторе:

**КРЕСТИН Евгений Александрович**  
кандидат технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: krestin@bk.ru

7. Ван-Дайк М. Методы возмущений в механике жидкости. М.: Мир, 1967. 310 с.

8. Башта Т.М., Руднев С.С. Гидравлика, гидромашины, гидропривод. М.: Машиностроение, 2002. 423 с.

**KRESTIN Evgeny A.**  
PhD in Engineering Science, 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: krestin@bk.ru

Для цитирования: Крестин Е.А. Влияние осцилляции стенки плоского диффузора на гидродинамические параметры потока вязкой жидкости // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 119–125. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.18.

For citation: Krestin E.A. Influence of flat wall diffuser wall oscillation on hydrodynamic parameters of viscous fluid flow // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 119–125. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.18.



**А. С. ГОРШЕНИН  
Ю. И. РАХИМОВА  
Н. П. КРАСНОВА**

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ФАКТОРОВ МОДЕЛИ ТЕПЛООБМЕНА АЛЮМИНИЕВЫХ СЛИТКОВ В КАМЕРЕ ОХЛАЖДЕНИЯ

STATEMENT OF THE PROBLEM OF OPTIMIZING THE FACTORS OF THE HEAT EXCHANGE MODEL OF ALUMINUM INGOTS IN THE COOLING CHAMBER

*Литье в охлаждаемый кристаллизатор является основным способом получения алюминиевых полуфабрикатов – круглых слитков. Непрерывное литье приводит к образованию неоднородной структуры. Ее устранение происходит при термической обработке – гомогенизации отжига с последующим охлаждением в камере. Для исследования теплообмена между алюминиевыми слитками и охлаждающим теплоносителем в камере разработана математическая модель. Она показала, что время охлаждения слитков в камере зависит от конструктивных и режимных факторов. Данная работа посвящена оптимизации конструктивных факторов математической модели теплообмена в камере охлаждения алюминиевых слитков. Рассмотрены вопросы критериев оптимизации, определена целевая функция с ограничениями на множество допустимых решений функции.*

**Ключевые слова:** оптимизация, допустимые решения, критерии оптимизации, целевая функция, математическая модель, мультипликативная свертка

В настоящее время изделия из алюминиевых слитков находят все большее применение. Одним из способов производства таких изделий является горячее прессование. Полуфабрикатами служат алюминиевые слитки, получаемые способом непрерывного литья в охлаждаемый кристаллизатор. Как известно [1], при литье круглых алюминиевых слитков в охлаждаемом кристаллизаторе ускоренное охлаждение слитков ведет к появлению неравновесной структуры, т. е. дендритной ликвации, появлению микропор, трещин и неслитин, ликвационных наплывов. Такие дефекты в слитках снижают их качество, что выясняется на этапе прессования.

*Casting in a cooled mold is the main way to produce aluminum semi-finished products - round ingots. Continuous casting leads to the formation of a heterogeneous structure. Its elimination occurs during heat treatment – homogenization annealing followed by cooling in the chamber. To study the heat exchange between aluminum ingots and cooling coolant in the chamber, a mathematical model was developed. She showed that the cooling time of ingots in the chamber depends on structural and operational factors. This paper is devoted to the optimization of the design factors of the mathematical model of heat transfer in the cooling chamber of aluminum ingots. The questions of optimization criteria are considered, the objective function with restrictions on the set of feasible solutions of the function is defined.*

**Keywords:** optimization, feasible solutions, optimization criteria, objective function, mathematical model, multiplicative convolution

Для устранения дефектов проводят термическую обработку слитков. Одним из видов термической обработки является гомогенизационный отжиг. В процессе гомогенизации состав кристаллов твердого раствора выравнивается, а интерметаллиды растворяются. При последующем охлаждении интерметаллиды выделяются в виде равномерно распределенных мелких вторичных включений. В результате пластичность литого сплава повышается, что позволяет увеличить степень обжатия при горячей обработке давлением, повысить скорость прессования и уменьшить технологические отходы.

Важное значение на структуру сплава оказывает скорость охлаждения после гомогенизации. При медленном охлаждении слитка после гомогенизации успевают произойти распад твердого раствора алюминия с легирующими компонентами. Сплав приобретает повышенную пластичность и может деформироваться при меньших удельных давлениях и с большими скоростями. При быстром охлаждении слитка после гомогенизации выше температуры перехода основных легирующих элементов в твердый раствор происходит закалка сплава. Слиток получается более однородным и прочным, что, с одной стороны, способствует получению более высоких механических свойств полуфабрикатов вследствие однородной структуры и повышения температуры рекристаллизации, а с другой – требует более высоких усилий деформации. Таким образом, скорость охлаждения слитка после гомогенизации не должна превышать критическую скорость охлаждения [2].

Регулирование скорости охлаждения возможно несколькими способами, одним из них является выдержка слитков после гомогенизации в камере охлаждения. Применение существующих режимов охлаждения не обеспечивает одинаковой скорости снижения температуры во всех частях алюминиевых слитков, особенно на их торцах и на боковых поверхностях крайних слитков, что приводит к отклонению структуры и твердости металла от номинальной и появлению брака при изготовлении готовых изделий.

Однако в настоящее время отсутствуют методы расчета и режимы проведения процессов охлаждения, учитывающие геометрию садки и камеры охлаждения и обеспечивающие одинаковую скорость снижения температуры во всех частях алюминиевых слитков, а также способствующие снижению энергетических затрат.

В связи с этим совершенствование процесса охлаждения алюминиевых слитков воздухом на основе моделирования регулируемого конвективного теплообмена, обеспечивающего одинаковую скорость снижения их температуры во всех точках садки, является актуальной задачей, решение которой позволит обеспечить качество выпускаемой продукции.

Авторами предложена конструкция камеры охлаждения с конвективным способом охлаждения алюминиевых слитков воздухом. Одним из вопросов, возникших при проектировании камеры охлаждения, было определение общего времени охлаждения. Для теоретического расчета времени охлаждения необходима разработка математической модели теплообмена между слитком и охлаждаю-

щей средой. Математические модели теплообмена между отдельным слитком, слитками, уложенными в ряд, и охлаждающим воздухом разработаны и подробно описаны в [3, 4]. Полученные математические модели позволили провести аналитическое исследование теплообмена в системе алюминиевые слитки – охлаждающий воздух [5, 6].

Проведенные исследования теплообмена с постоянными и переменными конструктивными факторами показали, что основным фактором, влияющим на процесс теплообмена в камере охлаждения, является ширина канала между рядами алюминиевых слитков  $\delta$  [6]. Для определения наиболее выгодной ширины канала необходимо произвести оптимизацию конструктивных параметров в [3, 4]. Для оптимизации конструктивных факторов необходимо составить целевую функцию, множество допустимых решений для целевой функции и критерии оптимизации.

Для составления целевой функции воспользуемся методом мультипликативной свертки [7]. Он заключается в замене частных критериев  $K_i$  одним общим критерием  $K$ :

$$K(x) = \prod_{i=1}^n K_i^{a_i}(x), \quad (1)$$

где  $K(x)$  – общий критерий;  $K_i^{a_i}(x)$  – набор частных критериев;  $n$  – число частных критериев;  $a_i$  – относительный вес (важность) частного критерия  $K_i(x)$ .

Рассмотрим критерии, подлежащие оптимизации в нашем случае. На основании анализа исследования математической модели можно сделать вывод, что главным фактором, влияющим на процесс охлаждения, является ширина канала  $\delta$ . Ширина канала определяет габаритный размер садки по высоте камеры охлаждения. Увеличение ширины канала благоприятно влияет на процесс охлаждения слитков, приводит к более низкой конечной температуре слитков, но в то же время уменьшает общую массу садки, что снижает производительность.

Уменьшение ширины канала приводит к увеличению конечной температуры слитков, но увеличивает массу садки. Это позволяет обрабатывать большее количество слитков, повысить производительность. Уменьшение ширины канала приведет к тому, что садка по высоте будет уменьшаться и занимать не всю высоту камеры охлаждения. Это приведет к появлению в верхней части камеры пустого пространства.

Охлаждающий воздух из-за отсутствия сопротивления будет уходить в появившееся пространство, охлаждая садку лишь по краю. Для устранения данного недостатка необходимо



увеличить гидравлическое сопротивление пространства. Это можно осуществить установкой металлического короба.

Таким образом, ширина канала  $\delta$  непосредственно влияет на массу садки  $M_{ал}$ . Масса садки  $M_{ал}$  является первым оптимизационным критерием  $M_{ал} = K_1(x)$ . Необходимо стремиться к ее увеличению, так чтобы ширина канала  $\delta$  была наибольшей и не требовалась установка металлического короба.

Определим первый оптимизационный критерий  $K_1(x)$ . Масса садки определяется по выражению

$$M_{ал} = m_1 \cdot n \cdot z, \quad (2)$$

где  $m_1 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l \cdot \rho_{ал}$  – масса одного слитка;

$n = \frac{A}{d}$  – количество слитков в ряду;

$A$  – ширина садки;

$z = \frac{h}{\delta} + 1$  – число рядов по высоте;

$h$  – высота садки.

Таким образом,

$$M_{ал} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l \cdot \rho_{ал} \cdot \frac{A}{d} \cdot \left(\frac{h}{\delta} + 1\right) = \frac{\pi}{4} \cdot l \cdot \rho_{ал} \cdot A \cdot d \cdot \left(\frac{h}{\delta} + 1\right) = K_1(\delta). \quad (3)$$

Из анализа выражения (3) следует, что для слитка одного диаметра изменяющимся параметром, влияющим на оптимизационный критерий, является только ширина канала  $\delta$ .

Вторым оптимизационным критерием является общее время охлаждения слитка  $\tau_{об}$  т.е.  $\tau_{об} = K_2(x)$ . На общее время охлаждения слитка  $\tau_{об}$  не влияет ширина канала  $\delta$  и определяется только диаметром слитка и его необходимой конечной температурой. Более низкая температура слитков требует длительного времени охлаждения и приводит к повышению затрат на электроэнергию. Кроме того, время охлаждения в любом случае не должно превышать времени термообработки в печи гомогенизации.

Определим второй оптимизационный критерий  $K_2(x)$ . Воспользуемся математической моделью охлаждения слитка [1] для определения времени охлаждения

$$\frac{(T_{к} - t_{В})}{(T_0 - t_{В})} = \exp(-Bi \cdot Fo \cdot 4). \quad (4)$$

Прологарифмировав и преобразовав (2), получим

$$\tau_{об} = -0,25 \cdot c_{Рал} \cdot \rho_{ал} \cdot d \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \frac{(T_{к} - t_{В})}{(T_0 - t_{В})} = K_2(\delta). \quad (5)$$

После определения оптимизационных критериев необходимо рассмотреть относительный вес (важность)  $a_i$  каждого частного критерия. В нашем случае оба частных критерия

важны в одинаковой степени, так как важно иметь минимальное время охлаждения и большую производительность, т. е. массу. Поэтому  $a_1 = a_2 = 0,5$ .

Запишем целевую функцию

$$K(\delta) = (K_1^{a_1}(\delta)) \left( \frac{1}{K^{a_2}(\delta)} \right) = \frac{K^{a_1}(\delta)}{K^{a_2}(\delta)}. \quad (6)$$

Подставим оптимизационные критерии

$$K(\delta) = - \frac{\left( \frac{\pi}{4} \cdot l \cdot \rho_{ал} \cdot A \cdot d \cdot \left(\frac{h}{\delta} + 1\right) \right)^{0,5}}{\left( 0,25 \cdot c_{Рал} \cdot \rho_{ал} \cdot d \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \frac{(T_{к} - t_{В})}{(T_0 - t_{В})} \right)^{0,5}} \quad (7)$$

или

$$K(\delta) = - \frac{\left( \pi \cdot l \cdot A \cdot \left(\frac{h}{\delta} + 1\right) \right)^{0,5}}{\left( c_{Рал} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \frac{(T_{к} - t_{В})}{(T_0 - t_{В})} \right)^{0,5}}. \quad (8)$$

Выражение (8) является целевой функцией нулевого порядка, имеющей множество допустимых решений, в следующих ограничениях:

– скорость охлаждающего воздуха не должна превышать 15 м/с;

– масса садки, которая не должна быть более 20 т, чтобы не превысить грузоподъемность загрузочной машины.

Таким образом, целевая функция может быть записана с ограничениями в следующем виде:

$$\begin{cases} K(\delta) = - \frac{\pi \cdot l \cdot A \cdot \left(\frac{h}{\delta} + 1\right)}{c_{Рал} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \frac{(T_{к} - t_{В})}{(T_0 - t_{В})}} \rightarrow \max \\ 0 < W < 15 \text{ м/с} \\ M_{ал} \leq 20 \text{ т} \end{cases} \quad (9)$$

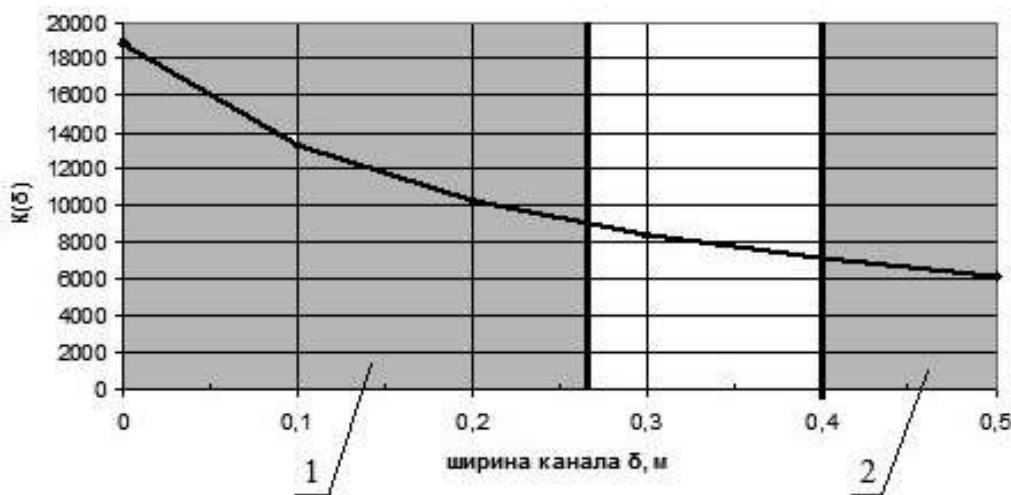
Решение системы уравнений (9) является линейной однофакторной задачей, которая может быть решена применением численных методов безусловной оптимизации. В нашем случае выбран метод покоординатного спуска.

На рисунке представлены результаты оптимизации конструктивных факторов для алюминиевого слитка  $d = 0,24$  м. При оптимизации используются следующие исходные данные: ширина садки  $A = 2,5$  м, высота садки  $h = 2,0$  м, длина слитков  $l = 8$  м, начальная температура охлаждающего воздуха  $t_0 = 20$  °С, начальная температура охлаждения слитков  $T_0 = 500$  °С, конечная температура охлаждения слитков  $T_{к} =$

60 °С. Коэффициент теплоотдачи определялся в зависимости от заданного значения ширины канала  $\delta$  и скорости воздуха  $W$ .

На рисунке представлена зависимость целевой функции от оптимизируемого параметра – ширины канала  $\delta$  для слитка  $\delta$ . Как отмечалось выше, целевая функция имеет ограничения на ширину канала  $\delta$ : по скорости охлаждающего воздуха  $0 < W < 15$  м/с и по массе садки  $M_{ал} < 20$  т. На рисунке эти ограничения изображены областями «1» и «2». Область «1» показывает значения  $\delta$ , при которых скорость охлаждающего воздуха превышает

значения 15 м/с, что увеличивает мощность дутьевых устройств и повышает затраты на электроэнергию. Повышение скорости охлаждающего воздуха, как отмечалось в [7], приведет к закалке алюминиевых слитков. Область «2» показывает значения  $\delta$ , при которых масса садки превышает максимально возможную. Оптимальным является наибольшее значение ширины канала  $\delta$  из указанной области для каждого слитка. При этом значении мы имеем большую, но не максимально возможную, массу садки и более низкую скорость охлаждающего воздуха.



Зависимость целевой функции от ширины канала для слитка

**Выводы.** Проведенный поиск наиболее оптимальных соотношений конструктивных факторов математической модели конвективного теплообмена позволил определить оптимальную высоту канала между слитками с диаметром 0,24 м. Это позволяет определить габаритные размеры садки, внутренние размеры камеры охлаждения, разработать опытную камеру охлаждения и провести экспериментальное исследование. Аналогичное исследование может быть проведено для слитков любого диаметра.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Одинцов М.В. Анализ процесса литья алюминия в кристаллизаторе с подвижным дном // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы междунар. заоч. науч. конф. (Санкт-Петербург, март 2011 г.) / под общ. ред. Г.Д. Ахметовой. СПб.: Реноме, 2011. С. 126–129.
2. Белецкий В.М., Кривов Г.А. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение): справочник. Киев: Коминтех, 2005. 364 с.
3. Горшенин А.С. Математическое моделирование теплообмена при охлаждении ряда алюминиевых слитков воздухом // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П. Королева (национального исследовательского университета). 2012. №2(33). С. 179–182.
4. Горшенин А.С., Кривошеев В.Е. Математическая модель теплообмена в системе охлаждающий воздух – алюминиевые слитки в камере охлаждения конвективного типа после термической обработки // Промышленная энергетика. 2013. №11. С. 20–22.
5. Горшенин А.С., Щелоков А.И. Исследование теплообмена при охлаждении алюминиевых слитков с постоянными режимными и конструктивными параметрами для повышения энергоэффективности // Промышленная энергетика. 2012. №10. С. 23–25.
6. Горшенин А.С., Кривошеев В.Е. Математическое моделирование и исследование процесса термической обработки алюминиевых слитков на основе регулируемого конвективного теплообмена // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П.Королева (национального исследовательского университета). 2014. №5–4(33). С. 137–141.
7. Романов В.Н. Системный анализ для инженеров. СПб.: СЗГЗТУ, 2006. 186 с.

Об авторах:

**ГОРШЕНИН Андрей Сергеевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
промышленной теплоэнергетики  
Самарский государственный технический университет  
443110, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: andersonag1@yandex.ru

**GORSHENIN Andrey S.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the  
Industrial Heat and Power Chair  
Samara State Technical University  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: andersonag1@yandex.ru

**РАХИМОВА Юлия Игоревна**

кандидат педагогических наук, доцент кафедры  
промышленной теплоэнергетики  
Самарский государственный технический университет  
443110, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: juliarahimova@yandex.ru

**RAKHIMOVA Yulia I.**

PhD in Pedagogy, Associate Professor of the Industrial  
Heat and Power Chair  
Samara State Technical University  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: juliarahimova@yandex.ru

**КРАСНОВА Наталья Петровна**

старший преподаватель кафедры  
промышленной теплоэнергетики  
Самарский государственный технический университет  
443110, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: krasnova-pt@yandex.ru

**KRASNOVA Natalya P.**

Senior Lecturer of the Industrial Heat and Power Chair  
Samara State Technical University  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: krasnova-pt@yandex.ru

Для цитирования: Горшенин А.С., Рахимова Ю.И., Краснова Н.П. Постановка задачи оптимизации факторов модели теплообмена алюминиевых слитков в камере охлаждения // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, №1. С. 126–130. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.19.

For citation: Gorshenin A.S., Rakhimova Yu.I., Krasnova N.P. Statement of the problem of optimizing the factors of the heat exchange model of aluminum ingots in the cooling chamber // Urban Construction and Architecture. 2019. V. 9, 1. Pp. 126–130. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.19.

---

Уважаемые читатели!

Приглашаем Вас принять участие в Первом Международном форуме архитектурно-строительных инноваций «Города Будущего», который состоится 19 – 20 ноября 2019 года.

Основные научные направления форума:

- умные города и проблемы региональной идентичности;
- новые типологии архитектурно-строительных объектов в городах будущего;
- стратегии развития городской среды;
- эффективные практики сохранения наследия и регенерации исторической среды городов;
- совершенствование систем водоснабжения и водоотведения по очистке природных и сточных вод;
- теория расчета строительных конструкций;
- строительные материалы для новых городов;
- Моделирование и механика строительных конструкций.

Организатор АСА СамГТУ

Контакты: тел. (846)339-14-38, 339-14-15, E-mail: dir\_asa@samgtu.ru

# 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, откуда исходит рукопись. Для аспирантов, соискателей и работников СамГТУ сопроводительное письмо представлять не требуется.
- Выписка из протокола заседания кафедры о публикации статьи в журнале.
- Экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись
- Внешняя рецензия, заверенная по месту работы рецензента.
- Лицензионный договор.

2. Общие требования к оформлению документа:

- Формат страницы – А4, ориентация книжная
- Шрифт текста рукописи – Times New Roman, размер 14pt
- Междустрочный интервал – 1,5
- Общий объем рукописи (включая иллюстрации и таблицы) – 8–15 страниц формата А4.
- Формулы следует набирать с использованием редакторов формул MathType 6 или MS Equation 3.0. Формула не должна содержать промежуточные преобразования.
- Иллюстрации выполняются черно-белыми (с хорошей проработкой деталей) в программах Corel Draw (с расширением \*.cdr) или других редакторах (с расширением \*.jpeg или \*.tiff).
- Библиографический список размещается в конце текста статьи, нумерация дается в порядке последовательности ссылок. На все литературные источники должны быть ссылки в тексте [в квадратных скобках]. При ссылках на нормативные документы (СНиПы, ГОСТы) номер и название документа указываются непосредственно в тексте статьи (в круглых скобках). Библиографический список должен быть оформлен по ГОСТ Р 7.0.5-2008.

3. Структура размещения основных частей статьи:

- индекс УДК
- инициалы, фамилии авторов
- название статьи на русском языке
- название статьи на английском языке
- аннотация на русском языке (не менее 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 (не менее 5 наименований)
- 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)

4. Рукописи, не соответствующие требованиям редакции, не рецензируются, не публикуются и не возвращаются авторам

5. Публикации в журнале подлежат только оригинальные статьи, соответствующие тематическим направлениям журнала и ранее не публиковавшиеся в других изданиях.

6. При положительном решении редакции об опубликовании научной статьи с автором(ами) заключается лицензионный договор. Вознаграждение (гонорар) за опубликованные научные статьи не выплачивается.

7. 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>.

8. 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.

9. 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.

**Материалы научной статьи (рукопись статьи и сопроводительные документы к ней в печатном виде) должны быть отправлены по почте или доставлены лично по адресу: Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194, Академия строительства и архитектуры, Самарский государственный технический университет. Редакция журнала «Градостроительство и архитектура» (каб. 307).**

По всем вопросам, связанным с публикацией статей в журнале «Градостроительство и архитектура», обращаться к отв. секретарю Досковской Марии Сергеевне по тел. (846)278-44-81, E-mail: [vestniksgasu@yandex.ru](mailto:vestniksgasu@yandex.ru), [uc-arch@yandex.ru](mailto:uc-arch@yandex.ru).

