

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ISSN (Print) 2542-0151

ISSN (Online) 2782-2169

№ 2 Т. 11  
2021

## 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  
eISSN 2782-2109

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

URBAN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
Т. 11, № 2

САМАРА  
2021

УДК 71+72

Градостроительство и архитектура=Urban construction and architecture. 2021. Т. 11, № 2. 178 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:**

С.Ю. АНДРЕЕВ, д.т.н., профессор (Пенза)  
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. ВАХИНА, д.т.н., профессор (Тольятти)  
А.Л. 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)  
Н.Д. ПОТИЕНКО, к. арх., доцент  
А.А. ПРОКОПОВИЧ, д.т.н., доцент

В.А. СЕЛЕЗНЕВ, д.т.н., профессор (Тольятти)  
Н.С. СЕРПОКРЫЛОВ, д.т.н., профессор (Ростов-на-Дону)  
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., доцент  
А.БОРОДИНЕЦ, D.Sc., профессор (Рига, Латвия)  
З. ВОЙЧИЦКИ, D.Sc., профессор (Вроцлав, Польша)  
Г. РАДОВИЧ, D.Sc. arch., профессор (Подгорица, Черногория)  
М.КНЕЗЕВИЧ, D.Sc., профессор (Подгорица, Черногория)  
Я. МАТУШКА, Ph.D, доцент (Пардубице, Чешская Республика)  
А. МОЧКО, PhD, доцент (Вроцлав, Польша)  
С. ОГНЕНОВИЧ, Ph.D, 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**

S.Yu. ANDREEV, D. Eng., Prof. (Penza)  
I.I. ARTYUKHOV, D. Eng., Prof. (Saratov)  
Е.А. АХМЕДОВА, 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)  
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)  
N.D. POTIENKO, PhD in Architecture, Ass.Prof.  
A.A. PROKOPOVICH, D. Eng., Ass. Prof.

V.A. SELEZNEV, D. Eng., Prof. (Tolyatti)  
N.S. SERPOKRYLOV, D. Eng., Prof. (Rostov-on-Don)  
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. SHLYKHIN, D. Eng., Ass. Prof.  
A. BORODINECS, D.Sc., Prof. (Riga, Latvia)  
Z. WOJCICKI, D.Sc., Prof. (Wroclaw, Poland)  
G. RADOVIC, D.Sc. arch., Prof. (Podgorica, Montenegro)  
M. KNEZEVIC, D.Sc., Prof. (Podgorica, Montenegro)  
J. MATUŠKA, Ph.D., Ass. Prof. (Pardubice, Czech Republic)  
A. MOCZKO, Ph.D., Ass. Prof. (Wroclaw, Poland)  
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

Каждой статье присваивается идентификатор цифрового объекта DOI

Индекс журнала в Объединенном каталоге «Пресса России»: И70570

Научное издание

Редактор Г.Ф. Конопина

Корректор М.В. Веселова

Подписано в печать 21.06.2021. Выпуск в свет 28.06.2021.

Формат 60x90 1/8. Бумага мелованная.

Печать офсетная. Печ. л. 22,25. Тираж 300 экз. Заказ № 1955

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

Телефон: (846) 242-36-98

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

Отпечатано в типографии ООО «Слово»:

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

ISSN 2542-0151

eISSN 2782-2109

© СамГТУ, 2021

# Содержание

## СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

- 4 Молева Н.Ю. Особенности напряженно-деформированного состояния балок с гофрированной стенкой переменной жесткости

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

- 9 Выгчиков Ю.С., Чулков А.А., Годилов В.А. Уточненная методика расчета натопа в помещениях зданий при прерывистом отоплении
- 15 Костуганов А.Б. Исследование влияния инфильтрации наружного воздуха на величину воздухообмена помещений малоэтажных жилых зданий
- 23 Петрова Н. П., Цынаева А. А., Белая В. В. Интенсификация и исследование теплообмена и трения в пластинчатых поверхностях нагрева воздухонагревателя КМС-2 с градиентом давления

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

- 30 Степанов С.В., Пономаренко О.С., Авдеенков П.П., Беляков А.В., Степанов А.С., Рузанова Ю.В. Анализ и очистка сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий
- 37 Стрелков А.К., Зотов Ю.Н., Михайлова И.Ю. Особенности гидравлического расчета систем хозяйственно-питьевого водоснабжения многоквартирных домов
- 42 Теплых С.Ю., Бочков Д.С., Базарова А.О. Перспективные методы биологического удаления фосфатов из сточной воды

### СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- 48 Бочаров Н.М. Высокотемпературная коррозия тонколистовой стали 08<sub>кп</sub> в среде воздуха
- 56 Крашенинников М.А. Исследование влияния оксидов кальция в легкоплавком сырье на свойства керамического изделия

### ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

- 62 Евдокимов С.В., Романов А.А., Иванов Б.Г. Проведение натурных исследований воздействия ледяного покрова на затворы плотины

### ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- 67 Зорина М.А., Рязанова Г.Н., Ильдияров Е.В. Анализ организационных и технологических решений по выбору крана при проектировании строител

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

- 77 Васильева Д.И., Баранова М.Н., Мальцев А.В., Соколова С.В., Шиманчик И.П. Подземная урбанизация на территории города Самары и ее негативные последствия

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

- 86 Бокарева К.А., Солодилов М.В. Историко-культурный и природно-рекреационный потенциал городского лесопарка микрорайона Шлюзовой города Тольятти
- 94 Бутенко С.А. Реставрация зданий Старой Самары
- 101 Громилина Э.А., Самогоров В.А. Элементы архитектурно-планировочной структуры как факторы устойчивого развития города
- 111 Громилина Э.А. Индикаторы устойчивого развития в анализе архитектурно-планировочной структуры
- 117 Монастырская М.Е. «Реслободизация» городов – эффективный ответ на эпидемиологический вызов современности. Часть II: предпосылки, алгоритмы, результаты
- 130 Пleshивцев А.А. Методы обеспечения функционального качества архитектурных объектов посредством традиционных и инновационных технологий

### АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- 139 Дуцев М.В. Современный город. Живые реальности истории
- 155 Раков А.П. Технологии трёхмерного моделирования в промышленном дизайне

## ЭНЕРГЕТИКА

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- 162 Данилушкин А.И., Данилушкин В.А. Эффективное управление функционированием электротехнического комплекса подготовки газа к транспортировке по магистральному трубопроводу

### ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

- 171 Крестин Е.А., Серебряков Г.В. Гидродинамический расчет бесконтактных уплотнений с плоскими щелевыми зазорами приводов электроэнергетических систем
- 178 ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ  
И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ



Н. Ю. МОЛЕВА

### ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БАЛОК С ГОФРИРОВАННОЙ СТЕНКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ

FEATURES OF THE STRAIN-STRESS STATE OF BEAMS WITH  
A CORRUGATED WALL OF VARIABLE RIGIDITY

Стальные балки с гофрированной стенкой представляют на сегодняшний день перспективную область исследований в сфере строительных конструкций. В статье изучается поведение металлической балки с гофрированной стенкой двутаврового профиля в условиях работы на изгиб. Рассмотрена балка пролетом 12 м. В ПК «ЛИРА-САПР» построена конечноэлементная модель рассчитываемой конструкции. Произведен анализ напряженно-деформированного состояния гофрированной балки переменной жесткости, которая имеет в центральной части стенки плоский фрагмент. Полученная таким образом балка обладает рядом преимуществ по сравнению с балками, имеющими только плоскую либо полностью гофрированную стенку. Представлены выводы по результатам анализа расчета.

**Ключевые слова:** двутавровая балка, гофрированная стенка, жесткость, напряженно-деформированное состояние, нормальное напряжение, касательное напряжение

В стальных двутавровых балках из-за необходимости обеспечения условия местной устойчивости требуется увеличение толщины стенки и наличие поперечных ребер жесткости. В целях повышения эффективности конструкции применяется балка с гофрированной стенкой, позволяющая выполнить оба этих требования и в то же время снизить металлоемкость.

Вопросы усовершенствования конструкции балок с гофрированной стенкой поднима-

ются в ряде работ, например [1–3]. В средней части пролета балки величина касательных напряжений минимальна, и поэтому использование в ней гофрирования не оправдано с точки зрения материалоемкости. Вариант размещения плоского отсека в центральной части стенки рассматривался в исследованиях [4–6]. Подтверждение эффективности использования в гофрированной стенке плоского центрального фрагмента на основе анализа напряжен-

но-деформированного состояния балки переменной жесткости, которая имеет в центральной части стенки плоский фрагмент, является предметом данной статьи. В статье изучается поведение металлической балки с гофрированной стенкой двутаврового профиля в условиях работы на изгиб. Рассмотрена балка пролетом 12 м. В ПК «ЛИРА-САПР» построена конечноэлементная модель рассчитываемой конструкции. Произведен анализ напряженно-деформированного состояния гофрированной балки переменной жесткости, которая имеет в центральной части стенки плоский фрагмент. Полученная таким образом балка обладает рядом преимуществ по сравнению с балками, имеющими только плоскую либо полностью гофрированную стенку. Представлены выводы по результатам анализа расчета.

**Keywords:** I-girder, corrugated web, stiffness, stress-strain state, normal stress, shear stress

но-деформированного состояния балки переменной жесткости, которая имеет в центральной части стенки плоский фрагмент, является предметом данной статьи. В статье изучается поведение металлической балки с гофрированной стенкой двутаврового профиля в условиях работы на изгиб. Рассмотрена балка пролетом 12 м. В ПК «ЛИРА-САПР» построена конечноэлементная модель рассчитываемой конструкции. Произведен анализ напряженно-деформированного состояния гофрированной балки переменной жесткости, которая имеет в центральной части стенки плоский фрагмент. Полученная таким образом балка обладает рядом преимуществ по сравнению с балками, имеющими только плоскую либо полностью гофрированную стенку. Представлены выводы по результатам анализа расчета.

но-деформированного состояния расчетной модели балки представлено в данной статье.

**Сечение балки.** Рассматриваемая балка имеет пролет 12 м, работает на изгиб от центрально приложенной равномерно-распределенной нагрузки (рис. 1). Принят синусоидальный профиль гофрирования стенки.

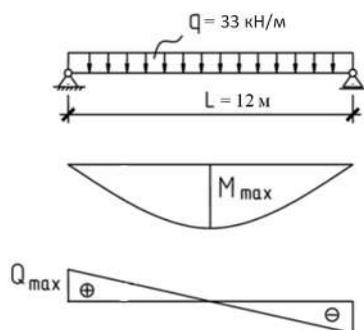


Рис. 1. Схема загрузки балки

Максимальные значения изгибающего момента и перерезывающей силы соответственно составляют:

$$M_{\max} = (q \cdot L^2) / 8 = (33 \cdot 12^2) / 8 = 594 \text{ (кН}\cdot\text{м)}. \quad (1)$$

$$Q_{\max} = (q \cdot L) / 8 = (33 \cdot 12) / 8 = 198 \text{ (кН)}. \quad (2)$$

Принятый профиль балки из сортамента Zeman WTC 1250 – 300×20 (рис. 2):

– высота стенки  $h_w = 125$  см;

– ширина пояса  $b_f = 30$  см;

– толщина пояса  $t_f = 2$  см.

Тогда площадь сечения пояса будет равна:

$$A_f = b_f \cdot t_f = 30 \cdot 2 = 60 \text{ (см}^2\text{)}. \quad (3)$$

Высота балки  $H = 129$  (см).

Общая устойчивость балки: по результатам расчета численной модели балки в ПК «ЛИРА-СА-ПР» (рис. 3) коэффициент запаса по первой форме потери устойчивости составляет 1,23859.

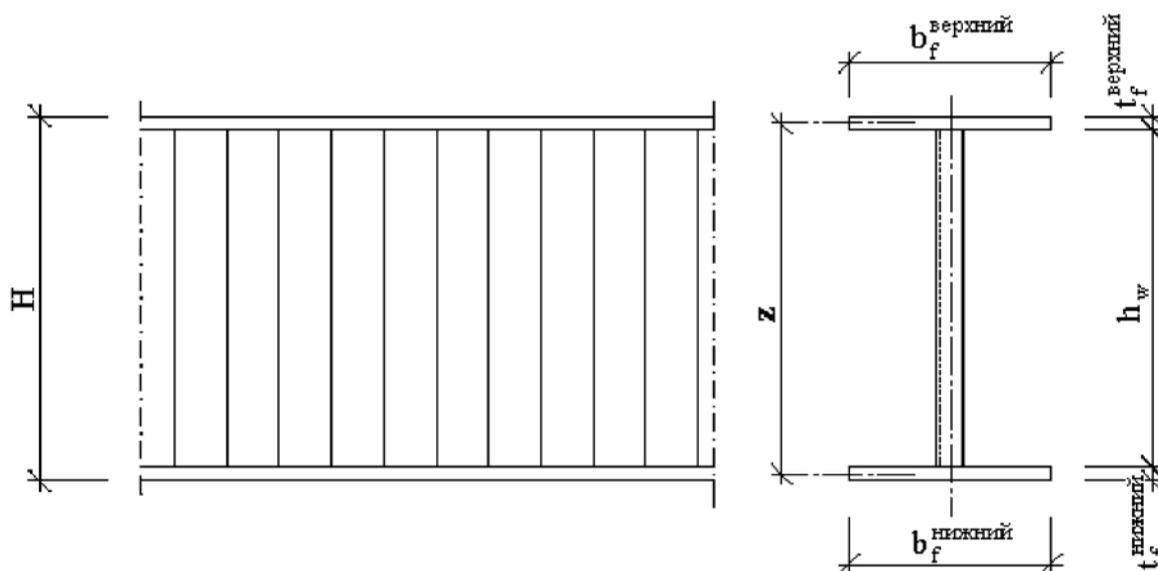


Рис. 2. Параметры балки

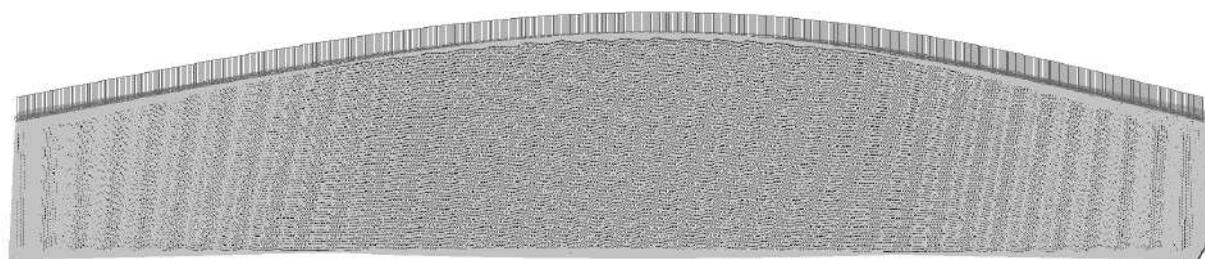


Рис. 3. Первая форма потери устойчивости балки в ПК «ЛИРА-САПР»

**Моделирование балки в ПК «ЛИРА-СА-ПР».** В расчетном комплексе «ЛИРА-САПР» было выполнено построение конечноэлементной модели рассчитываемой балки (рис. 4).

Максимальный прогиб балки составил 11,7 мм (рис. 5).

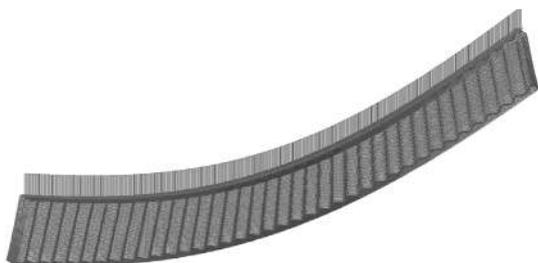


Рис. 4. Модель балки в ПК «ЛИРА-САПР»

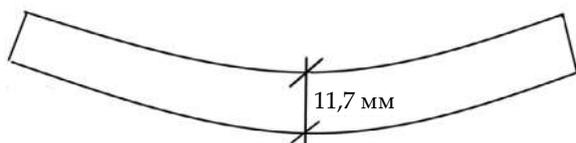


Рис. 5. Максимальный прогиб балки с гофрированной стенкой

**Балка переменной жесткости.** В связи с тем, что в центральной части пролета касательные напряжения стремятся к нулю, целесообразно заменить этот участок стенки плоским фрагментом (рис. 6). Длину плоского участка определим по СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» как расстояние между поперечными ребрами жесткости  $a \leq 2h_{ef} = 2500$  мм при  $\bar{\lambda}_w \geq 3,2$ . Величина условной гибкости  $\bar{\lambda}_w$  опре-

делялась для плоского фрагмента стенки. Примем длину плоского участка равной 2400 мм. Рассмотрим характерные особенности напряженно-деформированного состояния балки со стенкой переменной жесткости.

**Анализ напряженно-деформированного состояния балки переменной жесткости:**

а) **Нормальные напряжения  $N_x$**  действуют в поясах и плоском центральном фрагменте стенки. В гофрированной части они незначительны и развиваются лишь в месте примыкания к поясам (рис. 7, 8). Максимальная величина  $N_x$  (77,622 МПа) достигается в растянутом нижнем поясе в месте примыкания гофрированной части стенки к плоской. В балке с полностью гофрированной стенкой максимум нормальных напряжений  $N_x$  находится в середине пролета.

б) **Касательные напряжения  $\tau_{xy}$**  действуют в стенке балки и максимальны в ее приопорной зоне (рис. 7, 9).

в) **Максимальный прогиб** конструкции составляет 11 мм, что меньше значения, полученного для полностью гофрированной балки (см. рис. 5).

Проверка устойчивости балки проведена в ПК «ЛИРА-САПР», коэффициент запаса составил 1,23506 по первой форме потери устойчивости. Данный результат незначительно отличается от величины, полученной при проверке устойчивости полностью гофрированной балки, следовательно, конструкция переменной жесткости не уступает классической в изгибной жесткости из плоскости.

Равномерно-распределенная нагрузка может быть приложена с эксцентриситетом, что

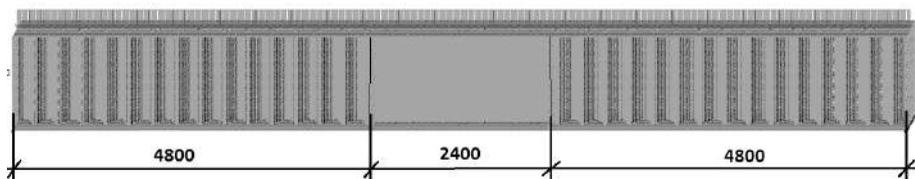


Рис. 6. Схема балки переменной жесткости

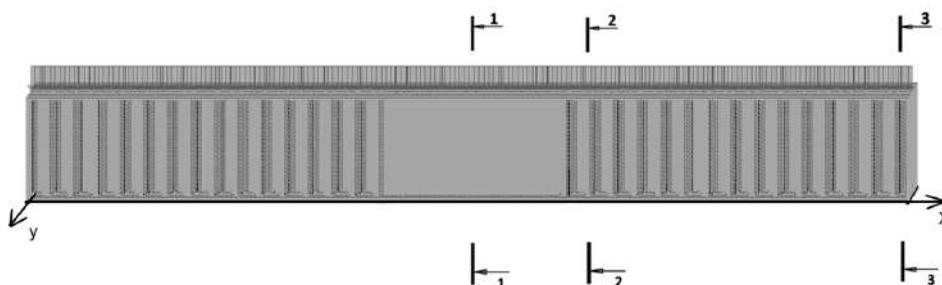


Рис. 7. Схема расположения сечений балки

влечет за собой изменение напряженно-деформированного состояния конструкции. Рассмотрим вариант загрузки балки той же нагрузкой, но имеющей эксцентриситет  $e = 3$  см (рис. 7, 10).

Величина возникающих напряжений больше у верхнего пояса, при этом их максимальная величина достигается в месте примыкания гофрированной части стенки к плоской. Коэффициент запаса по первой форме потери устойчивости в этом случае составил 1,24032.

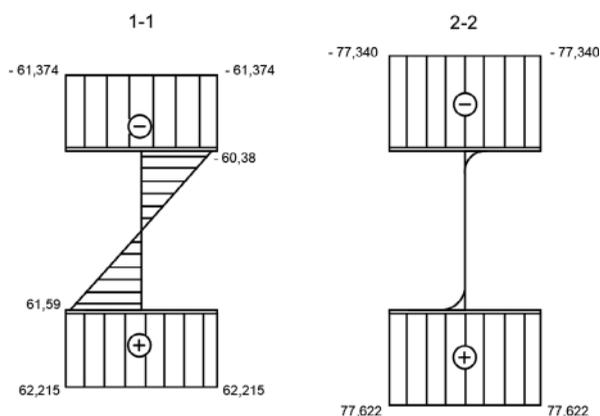


Рис. 8. Эпюры нормальных напряжений  $N_x$  (в МПа)

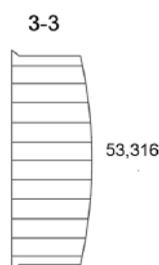


Рис. 9. Эпюра касательных напряжений  $\tau_{xy}$  (в МПа) в приопорной зоне стенки

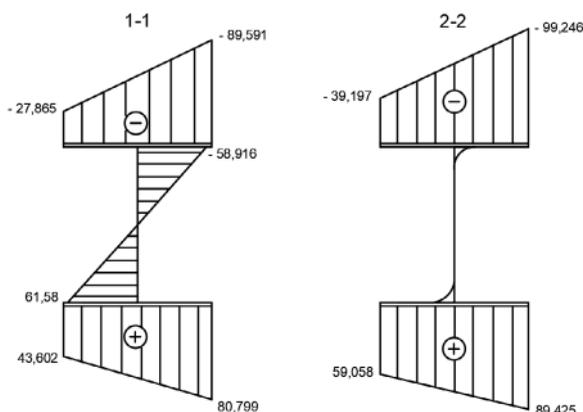


Рис. 10. Эпюры нормальных напряжений  $N_x$  (в МПа)

**Вывод.** Комбинирование различных типов жесткости в балке двутаврового профиля является целесообразным. Такое конструктивное решение позволяет рационализировать использование гофрированной части стенки только в тех зонах, где это требуется, т. е. где велики касательные напряжения. Устойчивость центральной плоской части стенки можно повысить, установив поперечные ребра жесткости. По результатам расчета балка переменной жесткости отвечает требованиям устойчивости и позволяет уменьшить прогиб балки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукин А. О., Алпатов В. Ю., Чернышев Д. Д. Совершенствование конструктивного решения балки с гофрированной стенкой // Градостроительство и архитектура. 2016. № 2(23). С. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.1.
2. Холопов И.С., Лукин А.О., Козырев П.Н. Совершенствование конструкции балки с гофрированной стенкой // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова; СГАСУ. Самара, 2015. С. 68–71.
3. Лукин А.О., Алпатов В.Ю., Литиков А.П. Усовершенствование конструкции балки с гофрированной стенкой путем создания облегченной конструкции переменной жесткости // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2016. № 9. С. 52–55.
4. Рыбкин И.С. Совершенствование конструктивных решений, методов моделирования и расчета гофрированных элементов: дис. ... кандидата технических наук: 05.23.01. М., 2008. 148 с.
5. Пат. 91583 Российская Федерация, МПК Е 04 С 3/07. Балка с переменнo-гофрированной стенкой/Рыбкин И. С.; Патентообладатель: Рыбкин И. С. – № 2009101679/22; заявл. 21.01.2009, опубл. 20.02.2010.
6. Полторацнев А.С. Несущая способность и оптимизация стальных тонкостенных балок: дис. ... кандидата технических наук: 05.23.01. М., 2013. 216 с.

## REFERENCES

1. Lukin A. O., Alpatov V. YU. Chernyshev D. D. Improvement of the structural solution of the beam with a corrugated web. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], Samara, 2016, no. 2(23), pp. 4-9. (in Russian)
2. Holopov, I. S., Lukin A. O., Kozyrev P. N. Design improvement of the beam with a corrugated web. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'stvo: materialy 72-j Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii* [Traditions and innovations in construction and architecture: materials of the 72st All-Russian Scientific and Technical Conference], Samara, 2015, pp. 68-71. (in Russian)

3. Lukin A. O., Alpatov V. YU., Litikov A. P. Improving the design of a corrugated web beam by creating a lightweight structure of variable stiffness. *Stroitel'stvo: novye tekhnologii - novoe oborudovanie* [Construction: new technology – new equipment], Samara, 2016, no. 9, pp. 52-55. (in Russian)

4. Rybkin I. S. *Sovershenstvovanie konstruktivnykh reshenij, metodov modelirovaniya i rascheta gofrirovannykh elementov. Kand. Diss.* [Improvement of design solutions, methods of modeling and calculation of corrugated elements. Cand. Diss.]. Moscow, 2008. 148 p.

5. Rybkin I. S. *Balka s peremennno-gofrirovannoj sten-koy* [Beam with variable corrugated web]. Patent RF, no. 91583, 2010.

6. Poltoradnev A. S. *Nesushchaya sposobnost' i optimizatsiya stal'nykh tonkostennykh balok. Kand. Diss.* [Load-bearing capacity and optimization of steel thin-walled beams. Candidate's Dissertation. Cand. Diss.]. Moscow, 2013, 216 p.

Об авторе:

**МОЛЕВА Наталия Юрьевна**

аспирант кафедры металлических и деревянных конструкций  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: moleva.nat@yandex.ru

**MOLEVA Natalia Yu.**

Postgraduate student of the Steel and Wooden Structures Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: moleva.nat@yandex.ru

Для цитирования: Молева Н.Ю. Особенности напряженно-деформированного состояния балок с гофрированной стенкой переменной жесткости // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 4–8. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.01.

For citation: Moleva N.Yu. Features of the Strain-Stress State of Beams with a Corrugated Wall of Variable Rigidity. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 4–8. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.01.

**ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР  
«КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭНЕРГОАУДИТ»**





Ю. С. ВЫТЧИКОВ  
А. А. ЧУЛКОВ  
В. А. ГОЛИКОВ

## УТОЧНЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАТОПА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗДАНИЙ ПРИ ПРЕРЫВИСТОМ ОТОПЛЕНИИ

AN UPDATED METHOD FOR HEATING CALCULATING IN BUILDINGS  
WITH INTERMITTENT HEATING

*Рассмотрена уточненная методика расчета натопа помещений зданий, эксплуатируемых в условиях прерывистого отопления. На основе проведенных исследований получены аналитические зависимости для определения энергозатрат при нагреве строительных ограждающих конструкций с учетом влияния порядка расположения теплоизоляционных и конструктивных слоев, а также изменения температуры при нагреве каждого слоя. Получены формулы для нахождения изменения температуры внутреннего воздуха при натопе помещений и внутренней поверхности ограждающих конструкций. На основе предложенной уточненной методики выполнен расчет натопа жилой комнаты загородного коттеджа, расположенного на территории Самарской области.*

**Ключевые слова:** *натоп помещения, теплоаккумулирующая способность, нестационарный теплообмен, температура внутреннего воздуха*

Прерывистое отопление в настоящее время широко используется в зданиях индивидуальной застройки при периодическом пребывании в них людей (например в выходные дни), а также в производственных зданиях при односменной или двухсменной работе. Использование дежурного отопления с постоянной температурой воздуха в отапливаемых помещениях позволяет, как сказано в работах [1–4], существенно снизить расход тепловой энергии за отопительный период.

Особенность теплотехнического расчета строительных ограждающих конструкций ука-

*An updated method of heating calculation of buildings operated in the conditions of intermittent heating is considered. On the basis of the conducted studies, analytical dependences were obtained for determining energy consumption during heating of building enclosing structures, taking into account the influence of the order of location of thermal insulation and structural layers, as well as temperature changes during heating of each layer. Formulas for finding the change in the temperature of the internal air during the heating of the premises and the internal surface of the enclosing structures are obtained. On the basis of the proposed refined methodology, the calculation of the heating of the living room of a country cottage located on the territory of the Samara region was performed.*

**Keywords:** *room temperature, heat storage capacity, non-stationary heat exchange, internal air temperature*

занных выше зданий заключается в том, что процесс нестационарной теплопередачи протекает при изменяющейся температуре воздуха во время натопа помещений.

Решение сопряженной задачи нестационарного теплообмена аналитическими методами представляет значительные математические трудности. Поэтому в настоящее время для её реализации применяют численные методы, используемые в программных комплексах.

В работах [5–7] представлены результаты расчета процессов натопа помещений жилых и общественных зданий.

Однако на основе численных решений задач нестационарной теплопередачи не представляется возможным разработать инженерную методику теплотехнического расчета ограждающих конструкций зданий с прерывистым отоплением. В настоящее время в техническом регламенте по вводу зданий в эксплуатацию используется методика оценки теплоаккумулирующей способности зданий, разработанная Ю.В. Кононовичем и изложенная в монографии в 1986 г. [8].

С помощью указанной выше методики проведена оценка коэффициента теплоаккумулирующей способности здания и времени остывания помещения при аварийных ситуациях. В работе [9] проведена оценка влияния кратности воздухообмена на процесс остывания помещения при отключении системы теплоснабжения.

Анализ инженерной методики, изложенной в работе [8], позволил выявить следующие её недостатки:

1) при расчете количества теплоты, аккумулированной утепленными наружными и внутренними ограждениями, не учитывается влияние порядка расположения теплоизоляционного и конструктивных слоёв на аккумуляющую способность;

2) не учитывается изменение температуры для каждого слоя в процессе натопа помещения.

На основе исследований, представленных в работах [10, 11], предлагается выполнить теплотехнический расчет ограждающих конструкций в следующей последовательности:

1. Определяем показатель теплоаккумулирующей способности при натопе помещения:

$$\beta = \frac{Q_n}{3,6 \cdot Q_{ном}}, \text{ ч}, \quad (1)$$

где  $Q_n$  – энергозатраты на нагрев наружных и внутренних ограждающих конструкций, кДж.

$$Q_n = \sum_{i=1}^n c_i \cdot \rho_i \cdot \delta_i \cdot F_i \cdot \Delta t_i + 0,5 \sum_{\gamma=1}^m c_\gamma \cdot \rho_\gamma \cdot \delta_\gamma \cdot F_\gamma \cdot \Delta t_\gamma, \text{ кДж}, \quad (2)$$

где  $m$  и  $n$  – количество теплоемких наружных и внутренних ограждений;

$c_i, \rho_i, \delta_i, F_i$  – удельная теплоемкость, кДж/кг·°C; плотность, кг/м<sup>3</sup>; толщина, м и площадь, м<sup>2</sup> наружных ограждений соответственно;

$\Delta t_i$  – изменение температуры  $i$ -го наружного ограждения, °C;

$c_\gamma, \rho_\gamma, \delta_\gamma, F_\gamma$  – удельная теплоемкость, кДж/кг·°C; плотность, кг/м<sup>3</sup>; толщина, м и площадь, м<sup>2</sup> внутренних ограждений соответственно;

Величина  $\Delta t_i$  определяется, согласно [10], по формуле

$$\Delta t_i = t_{e2} - t_{e1} - \frac{t_{e2} - t_{e1}}{2R_0^{учл.}} \left( \frac{2}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^{i-1} R_i + \sum_{i=1}^i R_i \right), \text{ °C}, \quad (3)$$

где  $t_{e1}, t_{e2}$  – температуры внутреннего воздуха при работе дежурного отопления и на расчетном режиме соответственно, °C;

$R_0^{учл.}$  – сопротивление теплопередаче глянди ограждения, (м<sup>2</sup>·°C)/Вт;

$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ , (м<sup>2</sup>·°C)/Вт – термическое сопротивление  $i$ -го слоя;

$\alpha_e$  – коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

Изменение температуры внутренних ограждений рассчитывается по формуле

$$\Delta t_\gamma = t_{e2} - t_{e1}, \text{ °C}. \quad (4)$$

Теплопотери помещения  $Q_{ном}$ , согласно [8], определяются по формуле

$$Q_{ном} = \left[ \sum_{i=1}^n k_i \cdot F_i + L \cdot c_e \cdot \rho_e \right] \cdot (t_{e2} - t_n), \text{ Дж}, \quad (5)$$

где  $k_i = \frac{1}{R_o^{учл.}}$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°C) – коэффициент теплопередачи  $i$ -го наружного ограждения;

$L$  – расход инфильтрирующего воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$c_e, \rho_e$  – удельная теплоемкость, Дж/кг·°C и плотность, кг/м<sup>3</sup> наружного воздуха соответственно.

2. Находим изменение температуры внутреннего воздуха  $t_\theta(z)$  при натопе помещения:

$$\theta_\theta(z) = \frac{t_\theta(z) - t_\theta(0)}{t_{e2} - t_\theta(0)} = 1 - e^{-\frac{z}{\beta}}, \quad (6)$$

где  $t_\theta(0)$  – температура внутреннего воздуха в начале процесса натопа, рассчитываемая, согласно [8], по формуле

$$t_\theta(0) = (t_{e1} + (1 - K_t) \cdot (t_{e2} - t_{e1})) \cdot \theta_\theta(z), \quad (7)$$

где  $K_t = \frac{t_R - t_n}{t_{e2} - t_n}$ .

Выражение для определения радиационной температуры  $t_R$  внутренних поверхностей имеет следующий вид:

$$t_R = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i \cdot F_i + \sum_{\gamma=1}^m \tau_\gamma \cdot F_\gamma}{\sum_{i=1}^n F_i + \sum_{\gamma=1}^m F_\gamma}, \text{ °C}, \quad (8)$$

где  $\tau_i, \tau_\gamma$  – температура внутренней поверхности наружных и внутренних ограждений соответственно, °C.

Температура внутренней поверхности наружных ограждений рассчитывается по формуле

$$\tau_i = t_{e2} - \frac{t_{e2} - t_n}{R_0^{учл.} \cdot \alpha_e}, \text{ °C}. \quad (9)$$

3. Определяем время нагрева наружных ограждающих конструкций, согласно [10]:

$$Z_n = 2 \cdot \frac{Q_n}{q_2} \cdot \frac{1 + 2\varphi}{1 + \varphi}, \text{ с}, \quad (10)$$

где  $q_2 = \frac{t_{\theta_2} - t_n}{R_0^{всч}}$  – удельный тепловой поток через ограждение при расчетном режиме эксплуата-

ции, Вт/м<sup>2</sup>;  $\varphi = \frac{1}{\alpha_n} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^n R_i}$  – критерий граничных условий.

4. Определяем изменение температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций по формуле

$$\theta_{\theta_i}(Z) = \frac{\tau_{\theta_i}(Z) - \tau_{\theta_{i1}}}{\tau_{\theta_{i2}} - \tau_{\theta_{i1}}} = 0,95 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{Z}{Z_n - Z}} \right), \quad (11)$$

где  $\tau_{\theta_{i1}}, \tau_{\theta_{i2}}$  – значения температуры внутренней поверхности  $i$ -го ограждения при дежурном и расчетном режимах эксплуатации здания, °С.

5. Находим закон изменения удельных тепловых потоков в процессе натопа помещения для  $i$ -го наружного ограждения:

$$q_i = \alpha_{\theta_i} \cdot [t_{\theta_i}(z) - \tau_{\theta_{i1}}(z)], \text{ Вт/м}^2. \quad (12)$$

6. Определяем среднее значение удельного теплового потока в процессе натопа помещения:

$$q_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i, \text{ Вт/м}^2. \quad (13)$$

7. По величине  $q_{cp}$  уточняем значение времени нагрева ограждающей конструкции, и расчет далее повторяется.

На примере расчета натопа комнаты, расположенной на втором этаже загородного коттеджа, рассмотрим использование приведенной выше методики теплотехнического расчета ограждающих конструкций.

План комнаты представлен на рис. 1, состав наружных и внутренних ограждающих конструкций – в таблице.

Расчет производился для строящегося коттеджа, расположенного в Самарской области.

В качестве исходных данных принимались следующие величины:

1. Температура внутреннего воздуха в жилой комнате при дежурном отоплении составила  $t_{\theta_1} = 12$  °С, на расчетном режиме  $t_{\theta_2} = 22$  °С.

2. Средняя температура наружного воздуха для наиболее холодной пятидневки  $t_{H5}^{0,92} = -30$  °С.

3. Теплофизические характеристики используемых материалов взяты из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий и сооружений»

По результатам расчета коэффициент теплоаккумулирующей способности комнаты составил  $\beta = 7,8$  ч.

На рис. 2 представлен график изменения температуры внутреннего воздуха и температуры на внутренней поверхности стены при натопе помещения.

Время нагрева наружной стены по результатам расчета составило  $Z_n = 2,7$  ч. Из представленных на рис. 2 данных видно, что температура воздуха в комнате достигает значения  $t_{\theta} = 20$  °С через 12 ч после начала натопа помеще-

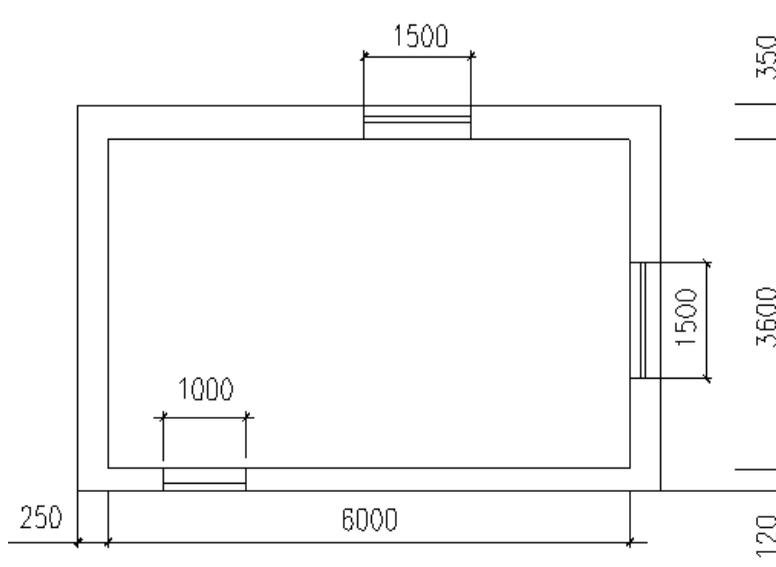


Рис. 1. Планировка помещения

**Теплофизические характеристики  
ограждающих конструкций комнаты коттеджа**

Вид ограждающей конструкции	Площадь ограждения $F_f$ , м <sup>2</sup>	Толщина $\delta_f$ , м	Коэффициент теплопроводности $\lambda_f$ , Вт/м <sup>2</sup> ·°С	удельная теплоемкость $c_f$ , Дж/(кг·°С)	Плотность $\rho_f$ , кг/м <sup>3</sup>	Сопротивление теплопередаче $R_{0f}$ (м <sup>2</sup> ·°С)/Вт
<b>Наружные ограждения</b>						
<b>Наружные стены:</b>	39,6					
– гипсокартон	-	0,0125	0,19	0,84	800	1,74
– пеноплекс	-	0,03	0,031	1,34	35	
– кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе	-	0,38	0,7	0,88	1800	
<b>Чердачное перекрытие:</b>	21,6					2,09
– гипсокартон	-	0,0125	0,19	0,84	800	
– пеноплекс	-	0,03	0,031	1,34	35	
– монолитный керамзитобетон (плита перекрытия)	-	0,2	0,24	0,84	800	
– цементно-песчаная стяжка	-	0,02	0,76	0,84	1800	
Оконные блоки с двухкамерными стеклопакетами	4,5	-	-	-	-	0,55
<b>Внутренние ограждения</b>						
<b>Междуэтажное перекрытие:</b>	21,6					
– паркет штучный	-	0,018	0,14	2,3	500	
– мастика	-	0,001	0,17	1,68	1000	
– цементно-песчаный раствор	-	0,04	0,76	0,84	1800	
– монолитный керамзитобетон	-	0,2	0,24	0,84	800	
– пенотерм	-	0,016	0,035	1,81	60	
<b>Межкомнатная перегородка:</b>	16					
– кладка из керамического кирпича на цементно-песчаном растворе	-	0,12	0,7	0,88	1800	
– штукатурка цементно-песчаным раствором	-	0,04	0,76	0,84	1800	
– входная дверь (деревянная)	2,0	0,04	0,14	2,3	500	

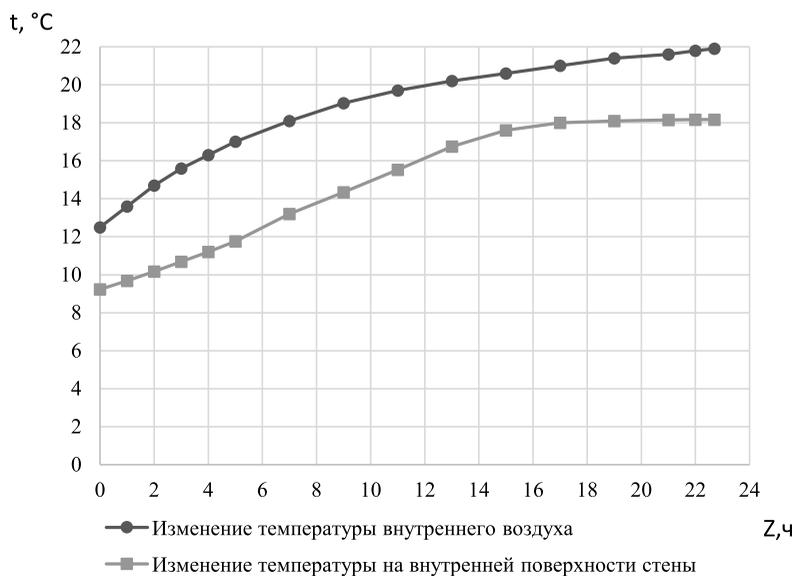


Рис. 2. График изменения температуры внутреннего воздуха и температуры на внутренней поверхности стены при натопе помещения

ния, температура на внутренней поверхности стены  $\tau_g = 18^\circ\text{C}$  через 17 ч после начала натопа помещения.

**Выводы.** 1. Разработана уточненная методика натопа помещений в зданиях с прерывистым отоплением.

2. Представлены результаты расчета изменения температуры внутреннего воздуха и внутренней поверхности наружной стены в жилой комнате загородного коттеджа.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анисимова Е.Ю. Энергоэффективность теплового режима здания при использовании отопительного режима прерывистого отопления // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2012. № 38. С. 55–59.
2. Панферов В.И., Анисимова Е.Ю. Анализ возможности экономии тепловой энергии при прерывистом режиме отопления // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2008. № 12. С. 30–37.
3. Береговой А.М., Грецишкин А.В., Береговой В.А. Энергоэкономичные и энергоактивные здания в архитектурно-строительном проектировании. Пенза: ПГУАС, 2012. 204 с.
4. Захаревич А.Э. Экономия тепловой энергии при прерывистом отоплении // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2014. № 1. С. 64–67.
5. Дацюк Т.А., Ивлев Ю.П., Пухкал В.А. Моделирование теплового режима жилых помещений при прерывистом отоплении // Современные проблемы науки и образования. М., 2014. № 5. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14698> (дата обращения: 25.04.2021).
6. Дацюк Т.А., Таурит В.Р. Моделирование микроклимата жилых помещений // Вестник гражданских инженеров. СПбГАСУ, 2012. № 4. С. 196–198.
7. Иванов В.В., Карасева Л.В. Процессы прогресса ограждающих конструкций после включения источника теплоты // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2013. № 4. С. 49–53.
8. Кононович Ю.В. Тепловой режим зданий массовой застройки. М.: Стройиздат, 1986. 157 с.
9. Вытчиков Ю.С., Титов В.Г., Власенкова Е.Н., Чулков А.А. Определение теплоаккумулирующей способности помещений жилых зданий // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей / под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара, 2019. С. 470–478.
10. Вытчиков Ю.С., Беляков И.Г., Сапарев М.Е. Математическое моделирование процесса нестационарной теплопередачи через строительные ограждающие конструкции в условиях прерывистого отопления // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6–2 (48). С. 42–48.
11. Вытчиков Ю.С., Сапарев М.Е., Чулков А.А. Оптимизация выбора уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий, эксплуатируемых в ус-

ловиях прерывистого отопления // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 3. С. 90–93.

## REFERENCES

1. Anisimova E.Y. Energy efficiency of temperature conditions for a building at optimum intermittent central heating use. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arhitektura»* [Bulletin of SUSU. Series «Construction Engineering and Architecture»]. 2012, no. 38, pp. 55-59. (in Russian)
2. Panferov V.I., Anisimova E.Y. Analysis of the possibility of economy of thermal energy with interrupted heating mode. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arhitektura»* [Bulletin of SUSU. Series «Construction Engineering and Architecture»], 2008, no.12, pp. 30-37. (in Russian)
3. Beregovoy A.M., Grechishkin A.V., Beregovoy V.A. *Energoeconomichnyye i energoaktivnyye zdaniya v arhitekturno-stroitel'nom proektirovanii. Ychebnoe posobie* [Energy-efficient and energy-efficient buildings in architectural and construction design. Tutorial]. Penza, PGUAS, 2012. 204 p.
4. Zakharevich A.E. Saving thermal energy with intermittent heating. *Santekhnika, otoplenie, kondicionirovanie* [Plumbing, heating, air conditioning], 2014, no. 1, pp. 64-67. (in Russian)
5. Datciuk T.A., Ivlev Y.P., Pukhkal V.A. Modeling of living room thermal conditions with intermittent heating in use. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2014, no. 5. Available at: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14698> (Accessed 25 April 2021). (in Russian)
6. Datciuk T.A., Taurit V.R. Modeling the microclimate of residential premises. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers], 2012, no. 4, pp. 196-198. (in Russian)
7. Ivanov V.V., Karaseva L.V. The processes of heating the source of enclosing structures after turning on the heat. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura* [Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture], 2013, no. 4, pp.49-53. (in Russian)
8. Kononovich Yu.V. *Teplovooy rezhim zdaniy massovoy zastroyki* [Thermal mode of buildings of mass building]. Moscow, 1986. 157 p.
9. Vytchikov Yu.S., Titov V.G., Vlasenkova E.N., Chulkov A.A. Determination of the heat storage capacity of residential buildings. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'nye tekhnologii. sbornik statej. Pod redakciej M.V. Shuvalova, A.A. Pishchuleva, A.K. Strelkova* [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies]. Collection of articles edited by Shuvalov M.V., Pishchulev A.A., Strelkov A.K]. Samara, SSTU, 2019, pp. 470-478. (in Russian)
10. Vytchikov Yu.S., Belyakov I.G., Saparev M.E. Mathematical simulation of nonstationary process of heat transfer through the building cladding structures in conditions of intermittent heating. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [International research journal], 2016, no.6-2, pp.42-48. (in Russian)

11. Vytchikov Yu.S., Saparev M.E., Chulkov A.A. Optimization of choice of heat protection level of enclosing structures operated under conditions of intermittent heating. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering], 2017, no. 3, pp. 90-93. (in Russian)

Об авторах:

**ВЫТЧИКОВ Юрий Серафимович**

кандидат технических наук, доцент, профессор  
кафедры теплогазоснабжения и вентиляции  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: git.2008@mail.ru

**ЧУЛКОВ Александр Анатольевич**

инженер Центра энергосбережения в строительстве  
Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: ch\_aleks01@mail.ru

**ГОЛИКОВ Владислав Андреевич**

аспирант  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: vladislavgol@rambler.ru

**VYTCHIKOV Yuri S.**

PhD of Engineering Science, associate Professor,  
Professor of heat and gas supply and ventilation Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: git.2008@mail.ru

**CHULKOV Alexander A.**

Engineer of the center for energy saving in construction  
Samara State Technical University  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: ch\_aleks01@mail.ru

**GOLIKOV Vladislav A.**

Postgraduate student  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: vladislavgol@rambler.ru

Для цитирования: *Вытчиков Ю.С., Чулков А.А., Голиков В.А.* Уточненная методика расчета натопа в помещениях зданий при прерывистом отоплении // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 9–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.02.

For citation: Vytchikov Yu.S., Chulkov A.A., Golikov V.A. An Updated Method for Heating Calculating in Buildings with Intermittent Heating. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 9–14. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.02.

А. Б. КОСТУГАНОВ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНФИЛЬТРАЦИИ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА НА ВЕЛИЧИНУ ВОЗДУХООБМЕНА ПОМЕЩЕНИЙ МАЛОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

THE RESEARCH THE INFILTRATION EFFECT OF OUTSIDE AIR ON THE VALUE OF AIR EXCHANGE IN LOW-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS

*Приведены результаты теоретического исследования влияния инфильтрации наружного воздуха через ограждающие конструкции на величину воздухообмена помещений малоэтажных жилых зданий. На основе анализа информации официальных документов государственных органов статистики и аналитики определены наиболее часто применяемые в современном малоэтажном жилом строительстве типы наружных ограждающих конструкций. На основе анализа положений современных нормативных документов в области строительства определены минимальные величины требуемого воздухообмена и произведены расчёты величин расходов инфильтрационного воздуха через наружные ограждения для различных помещений малоэтажных жилых зданий. По результатам проведённого анализа и расчётов сделан обобщающий вывод о том, что для рассмотренных помещений современных малоэтажных жилых зданий за счёт инфильтрации наружного воздуха через ограждающие конструкции невозможно обеспечить даже 20 % величины минимального воздухообмена.*

**Ключевые слова:** малоэтажные жилые здания, вентиляция, инфильтрация наружного воздуха, ограждающие конструкции и воздухообмен помещений

### Введение

Одной из существенных проблем современного жилищного строительства в РФ является проблема организации энергоэффективного воздухообмена в жилых зданиях с учётом сегодняшней специфики строительства и требований нормативных документов. Обеспечение воздухообмена является задачей систем вентиляции помещений. Анализ требований нормативной (СП 50.13330, СП 60 13330, СП 54.13330), специализированной (Р НП «АВОК» 5.2-2012 «Технические рекомендации по организации воздухообмена в квартирах жилых зданий») [1–5] и периодической литературы [6, 7] показал, что на данный момент существуют лишь общие указания и рекомендации по организации вентиляции жилых зданий, но,

*This article presents the results of a theoretical study of the influence the outside air infiltration through the enclosing structures of the walls on the amount the air's exchange in low-rise residential buildings. Based on the information analysis from official documents of state statistical and analytical bodies, the most frequently used external wall structures in modern low-rise residential construction have been determined. Based on the provisions analysis of modern regulatory documents in the construction's field, the minimum values the required air exchange were determined and the calculations of the values the infiltration air flow through the outer walls for various premises of low-rise residential buildings were made. Based on the results of the analysis and calculations was made a generalizing conclusion that for the considered premises of modern low-rise residential buildings, at the expense of the infiltration of outside air through the enclosing structures of the walls, it is impossible to provide even 20 % of the minimum air exchange.*

**Keywords:** low-rise residential buildings, ventilation, outside air's infiltration, enclosing structures and air exchange of premises

за исключением систем естественной вентиляции, достаточно апробированных и широко применяемых на практике решений данной проблемы на сегодняшний день нет. В настоящее время на государственном уровне ведутся работы по конкретизации общих требований нормативных документов к устройству вентиляции жилых зданий. Например, в программе прикладных научных исследований Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ на 2020 год (утверждена приказом министра № 163/пр от 27.03.2020 г.) была утверждена разработка методических рекомендаций по проектированию поквартирных систем вентиляции, а также пособия по проектированию регулируемой естественной вентиляции в многоэтажных жилых зданиях. Имеющиеся планы

по разработке таких методических документов, несомненно, ещё раз подчёркивают актуальность рассматриваемой проблемы. При этом необходимо отметить, что в планах стоит разработка решений проблемы преимущественно для многоэтажных зданий, в то время как достаточно масштабный сектор малоэтажных жилых зданий пока остаётся вне рассмотрения. Для понимания масштабности сектора малоэтажных жилых зданий следует отметить, что по данным, приведенным в [8, 9], в 2018 г. 32,4 млн. м<sup>2</sup> (т. е. 42,9 % площади построенного жилья) приходилось на индивидуальные жилые дома (ИЖД), причём 67,5 % ИЖД было построено в аграрно-промышленных регионах страны.

Малоизученным на сегодняшний день является и вопрос влияния инфильтрации наружного воздуха на величину воздухообмена в малоэтажных жилых зданиях. Принимая во внимание тот факт, что подавляющее большинство малоэтажных жилых зданий оборудовано системой естественной вентиляции, современными герметичными окнами, которые эксплуатируются в режиме проветривания, как правило только при нахождении человека в помещении, в настоящей статье поставлена цель определить величины воздухообмена за счёт инфильтрации наружного воздуха через наружные ограждения, сопоставить их с минимальными нормативными величинами воздухообмена помещений и сделать вывод о возможности вентилирования помещения хотя бы в дежурном режиме (0,2–0,4 величины минимального нормативного воздухообмена) за счёт инфильтрации наружного воздуха.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить наиболее часто применяемые в современном малоэтажном жилом строительстве конструкции наружных ограждений.
2. Определить минимальные величины требуемого воздухообмена для помещений малоэтажных жилых зданий.
3. Выполнить расчёты величин расходов инфильтрационного воздуха через наружные ограждения для различных помещений малоэтажных жилых зданий и проанализировать полученные результаты.

### Материалы и методы исследования

Для решения первой задачи сначала выберем объекты для анализа:

- индивидуальный жилой дом в Самаре (рис. 1);
- многоквартирный трёхэтажный жилой дом в Самаре (рис. 2);

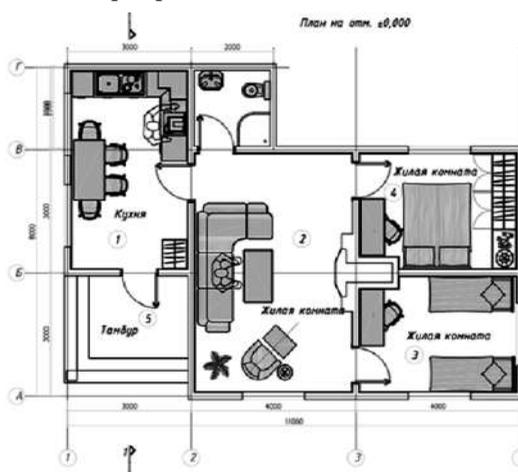


Рис. 1. Индивидуальный жилой дом в Самаре

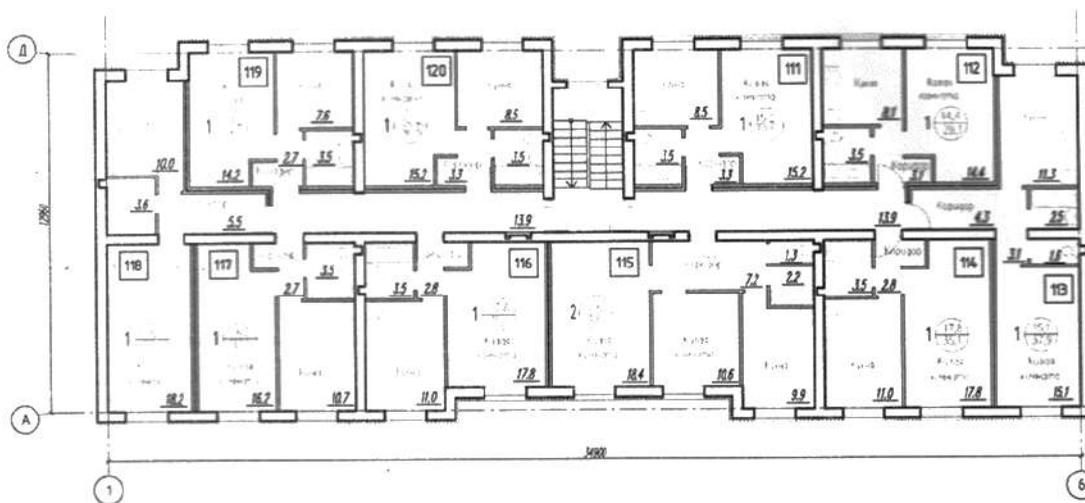


Рис. 2. Многоквартирный трёхэтажный жилой дом в Самаре

– многоквартирный трёхэтажный жилой дом в Оренбурге (рис. 3).

Отметим, что по данным [8, 9] основными видами вводимых ИЖД по преобладающим материалам стен в 2018 г. стали кирпичные, блочные и деревянные дома. Совокупно на их долю пришлось 73,2 % от общей площади ИЖД, вве-

дённых в эксплуатацию. При этом средние площади ИЖД составили: 167 м<sup>2</sup> – кирпичные дома, 149 м<sup>2</sup> – блочные дома, 99 м<sup>2</sup> – деревянные дома. На основании данных [8, 9] и обзора других литературных источников примем к дальнейшему рассмотрению следующие типы ограждающих конструкций стен, перечисленные в табл. 1–3.

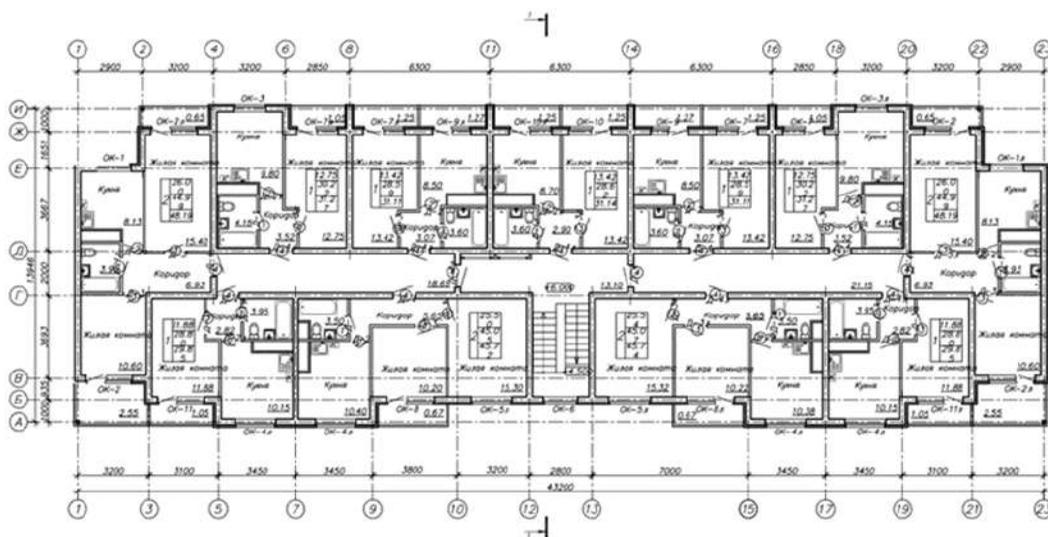


Рис. 3. Многоквартирный трёхэтажный жилой дом в Оренбурге

Таблица 1

Варианты ограждающих конструкций стен для индивидуального жилого дома в Самаре

Конструкция № 1	Конструкция № 2	Конструкция № 3
<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из пустотелых керамзитобетонных блоков с двухрядной пустотностью                  3 – Кладка из кирпича керамического пустотного</p>	<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из легковесных камней на цементно-песчаном или тёплом растворе                  5 – Пенополистирол                  6 – Ветрозащитная мембрана                  7 – Вентилируемая воздушная прослойка                  8 – Декоративная панель</p>	<p>1 – Сосновый брус                  2 – Обрешетка                  3 – Утеплитель (плиты из минеральной ваты жёсткие);                  4 – Ветролагозащита                  5 – Вентилируемая воздушная прослойка                  6 – Блок-хаус</p>

Таблица 2

Варианты ограждающих конструкций стен для трёхэтажного жилого дома в Самаре

Конструкция № 1	Конструкция № 2	Конструкция № 3
<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Пенополистирол                  3 – Кирпичная кладка из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе                  4 – Цементно-песчаный раствор</p>	<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из легковесных камней на цементно-песчаном или тёплом растворе                  3 – Невентилируемая воздушная прослойка                  4 – Облицовочный керамический кирпич</p>	<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из легковесных камней на цементно-песчаном или тёплом растворе                  5 – Пенополистирол                  10 – Фактурный слой фасадной системы</p>

Таблица 3

Варианты ограждающих конструкций стен для трёхэтажного жилого дома в Оренбурге

Конструкция № 1	Конструкция № 2	Конструкция № 3
<p>1 – Декоративно-защитная штукатурка                  2 – Пенополистирол                  3 – Кладка из пустотелых бетонных блоков                  4 – Цементно-песчаный раствор</p>	<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из легковесных камней на цементно-песчаном или тёплом растворе                  3 – Пенополистирол                  4 – Фактурный слой фасадной системы</p>	<p>1 – Цементно-песчаный раствор                  2 – Кладка из пустотелых керамзитобетонных блоков с двухрядной пустотностью                  3 – Кладка из кирпича керамического пустотного</p>

В качестве оконных конструкций примем к расчёту однокамерные стеклопакеты.

Для решения второй задачи примем во внимание положения СП 50.13330, СП 60.13330, СП 54.13330, ГОСТ 30494 – 2011, а также методические рекомендации по определению минимального воздухообмена в помещениях жилых и общественных зданий, опубликованные на сайте Федерального автономного учреждения «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве» Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ (<https://www.faufcc.ru/>). Результаты проведённого анализа нормативных документов представлены в табл. 4.

Отметим, что для помещения кухни величина воздухообмена приведена из расчёта расхода воздуха на горение. Однако, как указано в [10], для ассимиляции продуктов горения требуемый воздухообмен составляет 175–360 м<sup>3</sup>/ч. Также на основании анализа данных о динамике жилищного строительства в РФ следует сделать вывод о том, что

средняя площадь жилья на одного человека в РФ составляет 24 м<sup>2</sup>. Таким образом, общий минимальный воздухообмен на среднюю однокомнатную квартиру составляет 250–300 м<sup>3</sup>/ч, на двухкомнатную квартиру – 300–350 м<sup>3</sup>/ч, на трёхкомнатную квартиру – 350–400 м<sup>3</sup>/ч, на индивидуальный жилой дом средней площадью 130 м<sup>2</sup> – 450 м<sup>3</sup>/ч.

#### Результаты исследования

Для решения третьей задачи воспользуемся методиками расчёта количества инфильтрационного воздуха, приведёнными в СП 50.13330 и в [11], положениями СП 60.13330, данными рис. 1–3 и табл. 1–3. Расчёты произведены для выбранных трёх типов зданий и всех соответствующих вариантов ограждающих конструкций стен. Результаты выполненного расчёта для индивидуального жилого дома в Самаре с ограждающими конструкциями стен № 1 в качестве примера представлены в табл. 5.

Осреднённые результаты всех проведённых расчётов представлены в табл. 6. Для многоквартирных домов приведены результаты расчёта для первого этажа.

Таблица 4

Величины минимального нормативного воздухообмена жилых помещений

Помещение	Минимальный воздухообмен
Жилая комната	45 м <sup>3</sup> /ч на 1 чел.
Кухня	60 м <sup>3</sup> /ч при установке электрической плиты и 100 м <sup>3</sup> /ч при установке газовой плиты (расход воздуха на горение)
Ванная комната и туалет (совмещённый санузел)	50 м <sup>3</sup> /ч
Теплогенераторная	Однократный воздухообмен
Прочие помещения	0,2-кратный воздухообмен

Таблица 5

Результаты расчёта расхода инфильтрационного воздуха

№ помещения	Наименование помещения	Температура внутреннего воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Ограждение	Размеры, м		Площадь F, м <sup>2</sup>	Удельный массовый расход инфильтрационного воздуха G, кг/м <sup>2</sup> ·ч	Объёмный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч
					a	b			
1	Кухня	19	-30	Наружная стена	5,1	2,7	13,8	0,0	8
		19	-30	Окно	1,5	1,6	2,4	9,7	
		19	-30	Наружная стена	3,0	2,7	8,1	0,0	

Окончание табл. 5

№ помещения	Наименование помещения	Температура внутреннего воздуха, °С	Температура наружного воздуха, °С	Ограждение	Размеры, м		Площадь $F$ , м <sup>2</sup>	Удельный массовый расход инфильтрационного воздуха, $G$ , кг/м <sup>2</sup> ·ч	Объёмный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч
					a	b			
2	Жилая комната	21	-30	Окно	1,8	1,6	2,9	11,6	10
		21	-30	Наружная стена	4,1	2,7	11,1	0,0	
		21	-30	Наружная стена	1,9	2,7	5,1	0,0	
3	Жилая комната	21	-30	Окно	1,5	1,6	2,4	9,7	16
		21	-30	Окно	1,5	1,6	2,4	9,7	
		21	-30	Наружная стена	3,1	2,7	8,4	0,0	
		21	-30	Наружная стена	4,1	2,7	11,1	0,0	
4	Жилая комната	21	-30	Наружная стена	4,1	2,7	11,1	0,0	8
		21	-30	Наружная стена	3,1	2,7	8,4	0,0	
		21	-30	Окно	1,5	1,6	2,4	9,7	
5	Тамбур	16	-30	Наружная стена	2,7	2,7	7,3	0,0	8
		16	-30	Наружная стена	3,1	2,7	8,4	0,0	
		16	-30	Наружная стена	1,1	2,2	2,4	10,1	
Общий объёмный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч									50

Таблица 6

## Осреднённые результаты расчёта расходов инфильтрационного воздуха

Тип здания	Тип ограждающей конструкции	Осреднённые пределы величины воздухообмена по помещениям, м <sup>3</sup> /ч	Общий воздухообмен в расчёте на одну двухкомнатную квартиру (дом), м <sup>3</sup> /ч
Индивидуальный жилой дом	Конструкция № 1	8 ...16	50
Индивидуальный жилой дом	Конструкция № 2	8 ...20	55
Индивидуальный жилой дом	Конструкция № 3	10 ...20	60
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 1 – г. Самара	10	30
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 2 – г. Самара	10	30
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 3 – г. Самара	10	30
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 1 – г. Оренбург	10	30
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 2 – г. Оренбург	10	30
Многоквартирный жилой дом	Конструкция № 3 – г. Оренбург	10	30

**Выводы.** 1. Суммарная величина инфильтрации через современные ограждающие конструкции (монолитные бетонные стены, кирпичные стены с утеплителем, стены из керамзитобетонных блоков, деревянные стены, однокамерные стеклопакеты), как показывают расчёты, в среднем не превышает максимального значения 20 % (а для кухонь, например, и 10 %) для помещений первого этажа.

2. Для второго и третьего этажей расчётная величина инфильтрации уменьшается пропорционально высоте здания. На третьем этаже величина инфильтрации достигает значений, близких к нулю.

Таким образом, для помещений современных малоэтажных жилых зданий с рассмотренными наиболее распространёнными ограждающими конструкциями фактически невозможно обеспечить даже 20 % минимального воздухообмена за счёт только инфильтрации. Повышение расхода инфильтрационного воздуха через ограждающие конструкции в то же время приводит к существенному снижению их теплозащитных характеристик.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инженерное оборудование зданий и сооружений: энциклопедия / гл. ред. С.В. Яковлев. М.: Стройиздат, 1994. 512 с.: ил.
2. Кокорин О.Я. Отечественное оборудование для создания систем вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: МГСУ, 2005. 99 с.: ил.
3. Сотников А.Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Т. 1 // Теория, техника и проектирование на рубеже столетий: в 2 т. Т.1. СПб.: издательство «АТ-PUBLISHING», 2005. 504 с.: ил.
4. Кузин В.Ю. Методы круглогодичного обеспечения воздушно-теплого режима многоквартирных жилых домов: автореф. дис. ... кандидата технических наук. Пенза, 2016. 23 с.
5. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России [Электронный ресурс] // Вестник МГСУ: Vestnik MGSU. 2011. № 3. Т.1. (Строительная теплофизика и энергосбережение). URL: <http://www.vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/issue.download/2011/3/pdf?part=1> (дата обращения: 21.12.2020).
6. Витчиков Ю.С., Сидорова А.В. Организация воздухообмена в современных энергоэффективных зданиях // Градостроительство и архитектура. 2013. № 4 (12). С. 87–94. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.04.15.
7. Исследование возможностей приточно-вытяжных устройств для обеспечения нормативного воздухообмена жилых помещений [Электронный ресурс] / В.Н. Куприянов, А.М. Сайфутдинова, А.М. Зиганшин, И.Ш. Сафин // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектур и строительных наук. 2013. С. 245–254. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25921050> (дата обращения: 21.12.2020).
8. Стратегия развития жилищной сферы Российской Федерации на период до 2025 года [Электронный ресурс] / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации: официальный сайт. 2020. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/15909/> (дата обращения: 21.12.2020).
9. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики «Динамика индивидуального жилищного строительства в России и государственные меры, направленные на развитие сектора». М.: Аналитический центр при Правительстве Российской Федерации, 2019 [Электронный ресурс]. № 54. 23 с.: ил.
10. Константинова В.Е. Воздушно-тепловой режим в жилых зданиях повышенной этажности. М.: Стройиздат, 1969. 135 с.: ил.
11. Малавина Е. Г. Теплопотери здания: справочное пособие. М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. 144 с.

## REFERENCES

1. Yakovlev S.V. *Inzhenernoye oborudovaniye zdaniy i sooruzheniy* [Engineering equipment of buildings and structures]. Ed. Yakovlev S.V. Moscow, Stroyizdat, 1994, 512 p. ISBN 5-274-02094-1.
2. Kokorin O.YA. *Otechestvennoye oborudovaniye dlya sozdaniya sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya* [Domestic equipment for the creation of ventilation and air conditioning systems]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet, 2005, 99 p. ISBN 5-93585-079-6.
3. Sotnikov A.G. *Protsessy, apparaty i sistemy konditsionirovaniya vozdukhа i ventilyatsii. Tom 1. Teoriya, tekhnika i proyektirovaniye na rubezhe stoletiy* [Processes, devices and systems of air conditioning and ventilation. Vol.1 . Theory, technology and design at the turn of the century]. St. Petersburg, At-Publishing, 2005, 504 p.
4. Kuzin V.YU. *Metody kruglogodichnogo obespecheniya vozdushno-teplovogo rezhima mnogokvartirnykh zhilykh domov* [Methods of year-round provision of air-thermal conditions in multi-apartment residential buildings]. Abstract of Ph. D. thesis. Penza, 2016, 23 p.
5. Gagarin V.G. *Perspektivy povysheniya energeticheskoy effektivnosti zhilykh zdaniy v Rossii* [Prospects for increasing the energy efficiency of residential buildings in Russia]. Elektronnyy vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta, 2011, no.3, available at: URL: <http://www.vestnikmgsu.ru/ru/component/sjarchive/issue/issue.download/2011/3/pdf?part=1> (accessed 21 December 2020).
6. Vytchikov, YU.S. *Organizatsiya vozdukhoobmena v sovremennykh energoeffektivnykh zdaniyakh* [Organization of air exchange in modern energy-efficient buildings]. Gradostroitel'stvo i arkhitektura, 2013, no. 4(12), pp. 87-94.
7. Kupriyanov V.N., Saifutdinova A.M., Ziganshin A.M., Safin I.Sh. *Issledovaniye vozmozhnostey pritchno-vytyazhnykh ustroystvo dlya obespecheniya normativnogo*

*vozdrukhoobmena zhilykh pomeshcheniy* [Study of the capabilities of the supply and exhaust devices to ensure the regulatory air exchange of residential premises]. *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk*, 2013, no.16, pp. 245-254, available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25921050> (accessed 21 December 2020).

8. *Strategiya razvitiya zhilishchnoy sfery Rossiyskoy Federatsii na period do 2025 goda* [Strategy for the development the housing sphere of the Russian Federation for the period up to 2025]. available at: URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/15909/> (accessed 21 December 2020).

9. *Byulleten' o tekushchikh tendentsiyakh rossiyskoy ekonomiki .Dinamika individual'nogo zhilishchnogo stroitel'stva v Rossii i gosudarstvennyye mery, napravlennyye na razvitiye sektora* [Bulletin on the current trends of the Russian economy. Dynamics of individual housing construction in Russia and state measures aimed at developing the sector]. *Analiticheskiy tsentr pri Pravitel'stve Rossiyskoy Federatsii*, Moscow, 2019, no. 54, 23 p.

10. Konstantinova V.Ye. *Vozdushno-teplovoy rezhim v zhilykh zdaniyakh povyshennoy etazhnosti* [Air-thermal regime in residential buildings of high floors]. Moscow, Stroyizdat, 1969, 135 p.

11. Malyavina Ye. G. *Teplopoteri zdaniya* [Loss of heat building]. Moscow, Avok Press, 2007, 144 p.

Об авторе:

**КОСТУГАНОВ Арман Берекович**

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и гидромеханики  
Оренбургский государственный университет  
460018, Россия, г. Оренбург, пр. Победы, 13  
аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: kostuganovab@gmail.com

**KOSTUGANOV Arman B.**

Senior lecturer at the Heat and Gas Supply, Ventilation and Hydromechanics Chair Orenburg State University  
460018, Russia, Orenburg, Victory Avenue, 13  
Postgraduate Student at the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, ul. Molodogvardeyskaya, 244  
E-mail: kostuganovab@gmail.com

Для цитирования: *Костуганов А.Б. Исследование влияния инфильтрации наружного воздуха на величину воздухообмена помещений малоэтажных жилых зданий // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 15–22. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.03.*

For citation: *Kostuganov A. B. The research the infiltration effect of outside air on the value of air exchange in low-rise residential buildings. Gradostroitel'stvo i arhitektura [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 15–22. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.03.*

**Н. П. ПЕТРОВА**  
**А. А. ЦЫНАЕВА**  
**В. В. БЕЛАЯ**

## **ИНТЕНСИФИКАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА И ТРЕНИЯ В ПЛАСТИНЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ НАГРЕВА ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ КМС-2 С ГРАДИЕНТОМ ДАВЛЕНИЯ**

**INTENSIFICATION AND STUDY OF HEAT TRANSFER AND FRICTION IN THE PLATE HEATING SURFACES OF THE KMS-2 AIR HEATER WITH A PRESSURE GRADIENT**

Выполнено численное исследование теплообмена и трения в каналах теплообменника при наличии переменного градиента давления. Исследования проводились в программных комплексах (Code\_Saturne, Salome). Приведены результаты валидации метода исследования, показавшие, что отклонение результатов численного моделирования от данных расчета по известным критериальным уравнениям находится в пределах погрешности обобщения экспериментальных данных критериальными уравнениями. По результатам исследований при  $Re_a=3000$ ,  $Re_a=4177$ ,  $Re_a=6000$  выявлено, что среднее значение коэффициента теплоотдачи канала переменного сечения до 20 % выше, чем для канала при  $dp/dx < 0$ , и на 16 % выше, чем при  $dp/dx > 0$ . При этом теплогидравлическая эффективность знакопеременного канала ( $L=117$  мм,  $l=58.5$  мм,  $n=2$ ) на начальном участке при  $\bar{x} = 0-0,08$  ниже, чем в канале с  $dp/dx > 0$  на 26.7 %, а при  $\bar{x} = 0,08-1$  выше на 5-15 %, при  $dp/dx < 0$  теплогидравлическая эффективность знакопеременного канала выше до 77 %.

**Ключевые слова:** поверхность нагрева, продольный градиент давления, воздухонагреватель

### **Введение**

В связи с ростом объемов строительства жилых комплексов высокоэтажных зданий и крупных торговых центров возрастают затраты на проектирование систем обеспечения микроклимата и расходы теплоты на подготовку воздуха в системах вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления. Это приводит к необходимости применения более эффективных теплообменных аппаратов в системах подготовки воздуха.

Интенсификация теплообмена со стороны нагреваемого воздуха позволит уменьшить габариты и металлоемкость теплообменников. Вопрос интенсификации теплообмена является практически значимым и актуальным, так как для обеспечения комфортных условий

A numerical study of heat transfer and friction in the heat exchanger channels in the presence of a variable pressure gradient is performed. The research was carried out in software complexes (Code\_Saturne, Salome). The results of the validation of the research method are presented and they showed that the deviation of the numerical simulation results from the calculation data according to the known criterion equations is within the error of generalization of the experimental data by the criterion equations. According to the results of studies at  $Re_d=3000$ ,  $Re_d=4177$ ,  $Re_d=6000$ , it was found that the average value of the heat transfer coefficient of the channel of variable cross-section is up to 20 % higher than for the channel at  $dp/dx < 0$  and 16 % higher than for  $dp/dx > 0$ . At the same time, the thermal-hydraulic efficiency of the alternating channel ( $L=117$  mm,  $l=58.5$  mm,  $n=2$ ) in the initial section at  $x = 0...0.08$  is lower than in the channel with  $dp/dx > 0$  by 26.7 %, and at  $x = 0.08...1$  it is higher by 5 ... 15 %, at  $dp/dx < 0$  the thermal-hydraulic efficiency of the alternating channel is higher by up to 77 %.

**Keywords:** heating surface, longitudinal pressure gradient, air heater

в жилых комплексах и крупных торговых центрах требуется развитая система подготовки воздуха с эффективными теплообменными аппаратами.

В настоящее время для повышения эффективности теплообменных аппаратов применяют следующие способы: использование поверхностных интенсификаторов (шероховатость стенки, нанесение лунок, шипов, ребер), применение динамического изменения характеристик рабочего потока (при пульсациях потока, при переменном знаке продольного градиента давления по потоку).

В работах Е.П. Дыбан, Э.Я. Эпик [1, 2] проведены экспериментальные исследования по теплообмену и трению в турбулентных потоках и влиянию различных факторов (степень

турбулентности, коэффициент ускоренности, физические свойства рабочего тела и т. д.) на структуру пограничных слоев и теплообмен.

Для повышения интенсивности теплообмена в теплообменном аппарате [3, 4] использован метод, основанный на применении осесимметричных каналов переменного сечения, образованных продольно-волнистыми ребрами при реализации двойного отсоса (вдува) пограничного слоя. Таким образом, реализуется продольный знакопеременный градиент давления, совмещенный с вдувом (отсосом) пограничного слоя. При переменном знаке градиента давления (положительном или отрицательном) открывается возможность управления интенсивностью теплообмена в теплообменных аппаратах. В работе [4] проведенное обобщение результатов экспериментальных исследований для диффузорно-конфузорных каналов в виде критериальных уравнений имело погрешность  $\pm 25\%$ . В современных условиях при проектировании и разработке нового теплообменного оборудования допустимая погрешность должна быть существенно ниже.

Исследование градиентных каналов достаточно широко представлено в работах [4–10]. В работах [5, 6] исследование выполнено для воздуха при значениях чисел Рейнольдса в диапазоне от 7300 до 10500 и коэффициенте ускоренности от  $3.8 \cdot 10^{-6}$  до  $12.4 \cdot 10^{-6}$ . Условия эксплуатации, характеризующиеся этими числами, не соответствуют условиям работы теплообменника КМС-2 и его модернизируемого аналога, применяемого в системах подготовки воздуха для вентиляции, кондиционирования и воздушного отопления. В этой связи требуется провести дополнительные численные исследования для модернизации такого теплообменника.

В работе В. И. Терехова, Т. В. Богатко [7] выявлено, что рост градиента давления приводит к уменьшению интенсивности теплообмена в отрывной области при условии, что исследования проводились при  $Re_d = 27500$ . Этот критерий Рейнольдса также не соответствует условиям эксплуатации воздухонагревателя КМС-2.

В работе А.В. Илинкова, А. В. Шукина и др. [8] проведено исследование совместного влияния применения различных типов интенсификаторов теплообмена (сферических лунок, выступов, полуцилиндрических выступов) – и градиента давления, и пространственно-временной перестройки профиля скорости, и пульсации потока на интенсивность теплообмена. Выявлено следующее [8]: для диффузорного канала при наличии сферической выемки интенсивность теплоотдачи в ней снижается на 20 %, для конфузорного канала теплоперенос в выем-

ке, напротив, возрастает в два раза. Это особенно характерно для зон с образованием вихревых течений в сферических выемках. При отсутствии лунок по данным [8] коэффициент теплоотдачи для конфузора оказывается ниже, чем в безградиентном канале  $\alpha_{int}/\alpha_0 = 0,2$ , а для диффузора  $\alpha_{int}/\alpha_0 = 1,2$ . Однако в проведенных исследованиях [8]  $Re = 1.5–3.4 \cdot 10^5$ , что не соответствует условиям работы теплообменника КМС-2.

В работе С.Г. Руденко [9] проводилось исследование по влиянию продольного градиента давления на сложный теплообмен при высоких температурах каналов и сопел при сильном вдуве, что характерно для ядерных энергоустановок. При таких условиях интенсивность теплообменных процессов снижается по длине пластины. Исследование [9] проводилось для пластины длиной  $L=25$  мм (для ламинарного пограничного слоя) при  $dp/dx < 0$  и  $L=500$  мм (для турбулентного пограничного слоя) при следующих параметрах: диапазон изменения скорости потока 10–200 м/с с температурой потока 8000–10000 К, рабочее тело – двухфазный поток (несущая среда – водород, вторая фаза – частицы лития до 1 % по объему). Показано, что для ламинарного пограничного слоя при наличии вдува конвективная составляющая теплопереноса возрастает в 8.45 раза, а лучистая составляющая снижается незначительно. При наличии градиента давления и вдува влияние лучистой составляющей уменьшается на 6 %. Изучение теплообмена в работе [9] производится при существенно более высоких температурах потока и стенки, чем температуры, характерные для эксплуатации теплообменника КМС-2.

Ю.А. Виноградовым и его коллегами [10] проводились исследования теплообмена на проникаемой пластине для градиентного и безградиентного течения в сверхзвуковом потоке газа. По предельной теории турбулентного пограничного слоя проведен расчетный анализ измеренных значений температуры. Авторами этой работы выявлено, что градиент давления находится в зависимости от температуры на поверхности пластины и при исследовании необходимо учитывать его влияние на теплообмен. Однако в теплообменнике КМС-2 реализуются существенно более низкие скорости потока воздуха, что требует проведения дополнительных исследований.

Конструктивно стандартный теплообменник КМС-2 состоит из распределительной коробки, патрубков для подвода горячей воды, трубок для прохода теплоносителя, съемных боковых щитков [11]. Теплообменная поверхность формируется пластинами размером 136x117 мм, расстояние между которыми составляет 5 мм [11].

При модернизации калорифера КМС-2 предлагается использовать конструктивные решения, представленные на рис. 1. Общая длина канала, составляющая 117 мм, разделяется на участки с расширяющимся по ходу потока сечением и сужающимся сечением соответственно (с положительным и отрицательным градиентом давления). Длина таких участков  $l = L/n$ , где  $L$  – длина всего канала,  $n$  – количество участков, угол раскрытия участка канала может принимать значения от 0 до 5 град. [7]. В данной работе угол расширения (сужения) составляет 3 град.

В настоящей работе исследованы следующие конструктивные решения: канал с переменным сечением (рис. 1, в), длина отдельных участков  $l = 58,5$  мм,  $n = 2$ . Первый участок канала – расширяющийся  $dp/dx > 0$ , второй – сужающийся  $dp/dx < 0$ , угол раскрытия (сужения)  $\beta = 3$  град. В дальнейшем планируется рассмотреть каналы теплообменников, в которых общая длина будет разделена более чем на два участка.

Разделение теплообменной поверхности на участки с положительным и отрицательным градиентом давления выполнено для того, чтобы интенсифицировать теплообмен и компенсировать потери давления. В расширяющемся канале давление возрастает, но скорость падает. Для сужающегося канала характерно возрастание скорости, но и существенный рост потерь давления, что снижает теплогидравлическую эффективность таких каналов. Для того чтобы скомбинировать отрицательные и положительные стороны конфузурных и диффузор-

ных участков, необходимо общую длину канала разделить на отдельные сегменты.

Для проведения численного исследования в качестве инструмента выбран программный комплекс Code\_Saturne [12], в котором реализуется численное решение уравнений сохранения количества движения, дифференциальное уравнение энергии, уравнение неразрывности и уравнение состояния.

Для построения расчетной сетки использовались алгоритмы, представленные в работе [13] и реализованные с помощью программного комплекса Salome [14]. Количество слоев вязкости и характеристики сетки выбирались в соответствии с параметрами [13].

Для численного исследования применялся RANS подход. Модель турбулентности выбиралась на основе ранее проведенных исследований [13].

### Численное исследование и валидация

Для подтверждения адекватности получаемых решений проведена валидация инструмента исследования. Для решения этой задачи проведено сравнение результатов численного эксперимента авторов с результатами физического эксперимента Э. Я. Эпик [15] и с расчетом по критериальному уравнению Жукаускаса из работы [16] и по формуле Василева, представленной в [17], для конфузуратора.

Условия моделирования:  $Re = 3000, 4177, 6000$ , рабочее тело – воздух, температура воздуха на входе минус 30 °С, что соответствует зимним

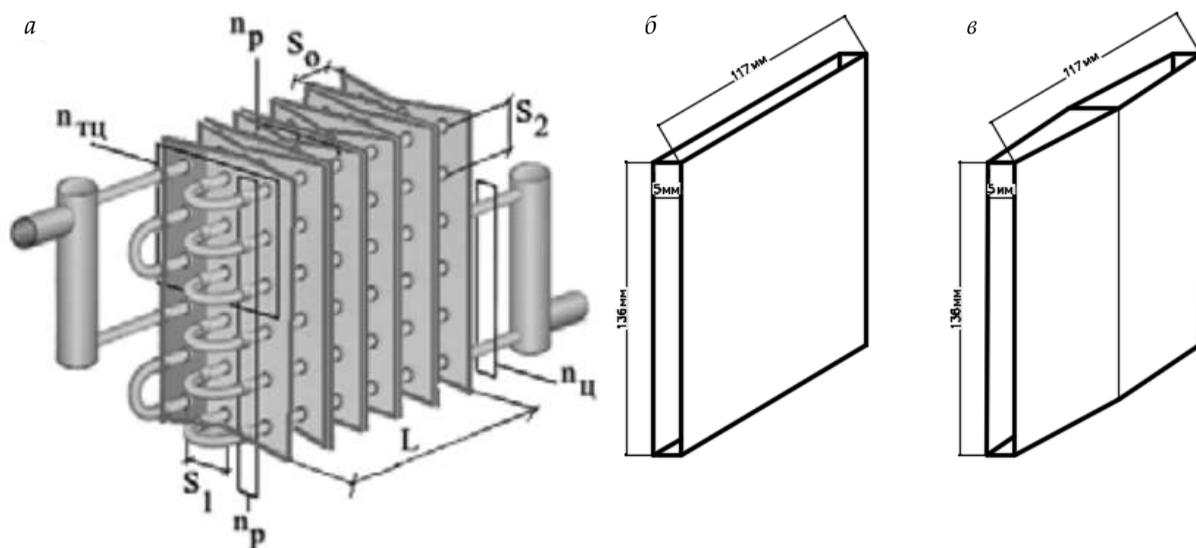


Рис. 1. Предлагаемая конструкция теплообменника:

*a* – с изогнутыми пластинами, где  $L$  – длина;  $S_0$  – шаг оребрения;  $S_1$  – продольный шаг трубок;  $S_2$  – поперечный шаг трубок;  $n_p$  – число трубок в ряду;  $n_{\text{ц}}$  – количество циркуляционных контуров;  $n_{\text{тц}}$  – число трубок в циркуляционном контуре; *b* – тип канала для стандартного теплообменника КМС2; *в* – тип канала для модернизированного теплообменника

условиям для г. Самары, боковые стенки являются обогреваемыми  $q_1 = 1832 \text{ Вт/м}^2$ ,  $q_2 = 2053 \text{ Вт/м}^2$ ,  $q_3 = 2370 \text{ Вт/м}^2$  (тепловые потоки для соответствующих чисел Рейнольдса); верхняя и нижняя стенка не обогреваются (рис. 1, б, в), на выходе канала реализуются условия свободного истечения.

Результаты сравнения численного эксперимента с физическим экспериментом Э. Я. Эпик показаны авторами в работах [13, 18]. Сопоставление результатов численного моделирования и результатов расчета по критериальным уравнениям Жукаускаса [16] и Василева [17] представлено на рис. 2.

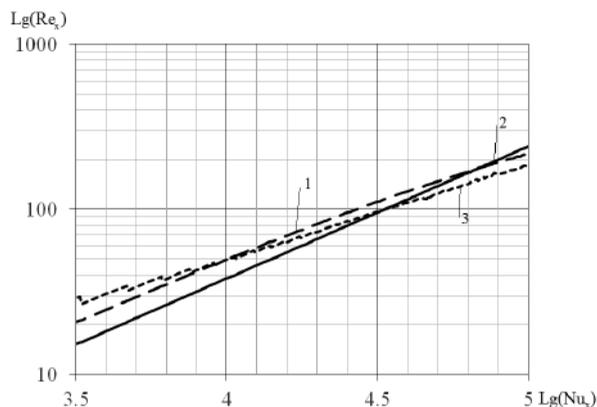


Рис. 2. Локальные значения коэффициента теплоотдачи по длине конфузора при  $v = 6.7 \text{ м/с}$ ,  $dp/dx < 0$ : 1 – расчет по формуле Жукаускаса [16]; 2 – расчет по формуле Василева [17]; 3 – численное моделирование авторов

Анализ рис. 2 показывает, что отклонение результатов численного моделирования от данных расчета по критериальным уравнениям находится в пределах погрешности обобщения экспериментальных данных критериальными уравнениями. При этом следует отметить, что количественное совпадение результатов численного исследования авторов более выражено при сравнении с расчетом по формуле Жукаускаса [16], а формула Василева будет давать более качественные результаты при более высоких значениях Рейнольдса и при углах раскрытия от 2 до 17 град. [17].

### Результаты моделирования

В результате численного моделирования определяется скорость, температура потока и поверхности канала, энергия пульсации потока. Далее производится обработка результатов численного исследования и рассчитываются локальные коэффициенты теплоотдачи, значения чисел Стантона, потери давления и другие характеристики.

На рис. 3 показаны результаты численного моделирования распределения избыточно-

го давления по длине канала при числах Рейнольдса 3000, 4177, 6000.

Из результатов исследования видно, что при наличии положительного градиента давления избыточное давление возрастает, при наличии отрицательного градиента давления избыточное давление уменьшается. В канале переменного сечения избыточное давление в расширяющейся части канала ( $dp/dx > 0$ ) возрастает на 40–66 %, а в сужающейся части канала ( $dp/dx < 0$ ) падает на 85–98 %.

Результаты исследования локального значения коэффициента теплоотдачи показаны на рис. 4.

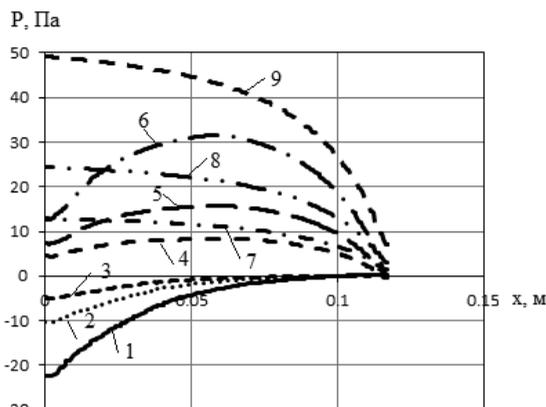


Рис. 3. Избыточное давление по длине канала: 1, 2, 3 – сужающийся канал  $dp/dx < 0$  при  $Re_d = 3000$ ,  $Re_d = 4177$ ,  $Re_d = 6000$  соответственно; 4, 5, 6 – канал с переменным продольным градиентом ( $L = 117 \text{ мм}$ ,  $l = 58.5 \text{ мм}$ ,  $n = 2$ ) при  $Re_d = 3000$ ,  $Re_d = 4177$ ,  $Re_d = 6000$  соответственно; 7, 8, 9 – расширяющийся канал  $dp/dx > 0$  при  $Re_d = 3000$ ,  $Re_d = 4177$ ,  $Re_d = 6000$

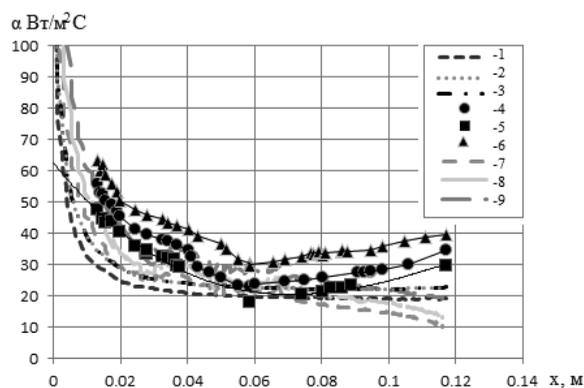


Рис. 4. Локальные коэффициенты теплоотдачи по длине канала:

1, 2, 3 – сужающийся канал  $dp/dx < 0$  при  $Re_d = 3000$ ,  $Re_d = 4177$ ,  $Re_d = 6000$  соответственно; 4, 5, 6 – канал с переменным продольным градиентом ( $L = 117 \text{ мм}$ ,  $l = 58.5 \text{ мм}$ ,  $n = 2$ ) при  $Re_d = 3000$ ,  $Re_d = 4177$ ,  $Re_d = 6000$  соответственно; 7, 8, 9 – расширяющийся канал  $dp/dx > 0$  при  $Re_d = 3000$ ,  $Re_d = 4177$ ,  $Re_d = 6000$

Из рис. 4 видно, что применение канала переменного сечения ведет к росту осредненных по длине канала коэффициентов теплоотдачи до 16 % при сравнении с каналом с  $dp/dx > 0$  и на 20 % при сравнении с каналом с  $dp/dx < 0$ .

Далее было проведено обобщение результатов исследования по числу Стантона и коэффициенту трения, и эти результаты представлены на рис 5.

Расчет коэффициента трения производился по формуле [19]:

$$f = \frac{\Delta P}{\frac{l}{d} \rho \frac{U_a^2}{2}}$$

где  $l$  – длина участка, м;  $d$  – диаметр канала, м;  $U_a$  – скорость, м/с;  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta P$  – потери давления, Па;  $f$  – коэффициент трения.

Из рис. 5 видно, что теплогидравлическая эффективность знакопеременного канала ( $L = 117$  мм,  $l = 58.5$  мм,  $n = 2$ ) на начальном участке (при  $\bar{x} = 0-0,08$  ниже, чем в канале с  $dp/dx > 0$  до 26.7 %, а при  $\bar{x} = 0,08-1$  выше на 5–15 %, но для канала с  $dp/dx < 0$  прирост может достигать 77 %.

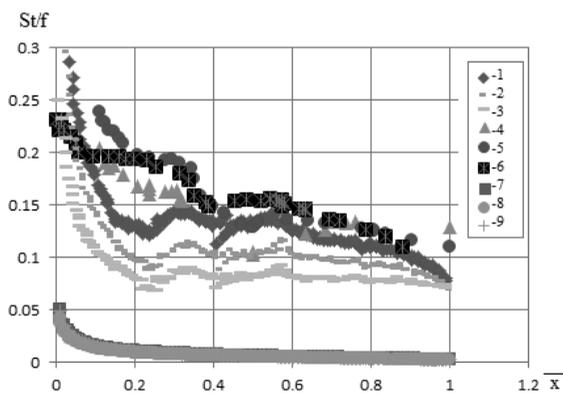


Рис. 5. Отношение числа Стантона на коэффициент трения:

1, 2, 3 –  $dp/dx > 0$  при  $Re_d = 3000, Re_d = 4177, Re_d = 6000$  соответственно; 4, 5, 6 – канал с переменным продольным градиентом ( $L = 117$  мм,  $l = 58.5$  мм,  $n = 2$ ) при  $Re_d = 3000, Re_d = 4177, Re_d = 6000$  соответственно; 7, 8, 9 –  $dp/dx < 0$  при  $Re_d = 3000, Re_d = 4177, Re_d = 6000$

**Вывод.** В результате численного исследования выявлено, что применение переменного продольного градиента давления ( $L = 117$  мм,  $l = 58.5$  мм,  $n = 2$ ) оказывает существенное влияние на интенсивность теплообмена.

Осредненное значение коэффициента теплоотдачи канала переменного сечения до 20 % выше, чем для канала при  $dp/dx < 0$ , и на 16 % выше, чем при  $dp/dx > 0$ .

Теплогидравлическая эффективность знакопеременного канала ( $L = 117$  мм,  $l = 58.5$  мм,

$n = 2$ ) на начальном участке (при ниже, чем в канале с  $dp/dx > 0$  до 26.7 %, а при выше на 5–15 %, но для канала с  $dp/dx < 0$  прирост может достигать 77 %.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дыбан Е.П., Этик Э.Я. Теплообмен и гидродинамика турбулизованных потоков. Киев: Наук.думка, 1985. 296 с.

2. Дыбан Е. П., Этик Э. Я. Структура пристенных пограничных слоев при наличии байпасного ламинарно-турбулентного перехода // Промышленная теплотехника. 1997. Т.19. №. 4–5. С. 25–33.

3. А.с. 285938 СССР. Способ интенсификации конвективного теплообмена / Кирпиков В.А., Гутарев В.В., Лейфман И.И.: заявитель и патентообладатель Московский институт химического машиностроения – 1280302/24-6, заявл: 04.10.1968, опубл. 10.11.1970. Бюл. № 34.

4. Бережная О.К. Моделирование теплогидравлических процессов и разработка методики обобщения данных по эффективным теплообменникам: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.04. М., 2005. 20 с.

5. Лущик В.Г., Решмин А.И. Интенсификация теплообмена в плоском безотрывном диффузоре // ТВТ. 2018. Т. 56. № 4. С. 586–593. <https://doi.org/10.31857/S004036440002725-1>.

6. Лущик В.Г., Макарова М.С., Решмин А.И. Ламинаризация потока при течении с теплообменом в плоском канале с конфузуром // Изв. РАН. МЖТ. 2019. № 1. С. 68–77.

7. Terekhov V.I., Yarygina N.I., Zhdanov R.F. Heat transfer in turbulent separated flows in the presence of high free-stream turbulence// Intern.J. Heat Mass Transfer.2003. V. 46. P. 4535–4551. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(03\)00291-6](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(03)00291-6).

8. Ilinkov A.V., Shchukin A.V., Takmoutsev V.V., Khabibullin I.I., Zaripov I.S., Enizerkin D.I. Heat transfer enhancement in the fields of mass forces, pressure gradients, velocity fluctuations, and impinging jets// Thermal Engineering. 2020. Т. 67. № 1. С. 36–42 <https://doi.org/10.1134/S0040601520010024>.

9. Рудненко С.Г. Влияние продольного градиента давления на сложный теплообмен на начальных участках высокотемпературных выходных каналов и сопел при сильном вдуве // НПО Энергомаш им. Академика В.П. Глушко. Химки, 2008. С.68–85 .

10. Виноградов Ю. А., Ермолаев И. К., Леонтьев А. И., Стронгин М. М. Экспериментальное исследование теплообмена на проницаемой поверхности при наличии продольного положительного градиента давления // Труды третьей Российской национальной конференции по теплообмену (Москва, 21-25 октября 2002). М.: Издательство ФГБОУ ВПО «НИУ» МЭИ, 2002. С. 95–98.

11. <http://zao-tst.ru/kalorifery-kms-kmb.html>.

12. Code\_Saturne. URL: <https://www.code-saturne.org/cms/>. Дата обращения 01.02.2018.

13. Петрова Н.П., Цынаева А.А. Численное исследование теплообмена в канале теплообменника

с градиентом давления // Тепловые процессы в технике. 2019. Т. 11. № 12. С. 532–540. DOI: 10.34759/tpt-2019-11-12-532-540.

14. Salome. URL: <http://salome-platform.org/>.

15. Эпик Э.Я. Влияние турбулентности и продольного градиента давления на теплообмен в турбулентном пограничном слое // РНКТ-2006. М.: МЭИ. Т.2. С. 270–273.

16. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М.: Наука, 1982. 472 с.

17. Василев Ф.В. Расчетно-экспериментальное исследование локальных и осредненных характеристик теплоотдачи при турбулентном течении теплоносителя в прямых, диффузорных и конфузорных каналах: дис...канд.техн.наук. Брянск: Брянский ордена «Знак Почета» институт транспортного машиностроения, 1983. 223 с.

18. Петрова Н.П., Цынаева А. А. Разработка и исследование калориферов с градиентными интенсификаторами теплообмена // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8. № 3. С.137–144. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.25.

19. Lienhard J.H., Lienhard J.H. A heat transfer textbook. 4 edition. Cambridge, Massachusetts: Phlogiston press. 2011. 755 p.

## REFERENCES

1. Dyban E. P., Epic E. Ya. *Teplomassoobmen i gidrodinamika turbulizirovannykh potokov* [Heat and mass transfer and hydrodynamics of turbulized flows]. Kiev: Nauk.dumka, 1985. 296 p.

2. Dyban E. P., Epic E. Ya. Structure of wall boundary layers in the presence of a bypass laminar-turbulent transition. *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial heat engineering], 1997, Vol. 19, no. 4-5, pp. 25-33. (in Russian)

3. Kirpikov V. A., Gutarev V. V., Leifman I. I. *Sposob intensivatsii konvektivnogo teploobmena* [Method of intensification of convective heat transfer]. Patent SSSR, no. 2280590, 1970.

4. Berezhnaya O. K. *Modelirovaniye teplogidravlicheskiy protsessov i razrabotka metodiki obobshcheniya dannykh po effektivnyy teploobmennikam. Cand, Abstract.* [Modeling of thermohydraulic processes and development of a methodology for generalizing data on efficient heat exchangers. Cand, Abstract]. Moscow, 2005. 20 p.

5. Luschik V. G., Reshmin A. Heat transfer enhancement in a plane separation-free diffuser. *High Temperature*, 2018, Vol. 56, no. 4, pp. 569–575. DOI:10.31857/S004036440002725-1. (in Russian)

6. Luschik V.G., Makarova M.S., Reshmin A.I. Laminarization of flow with heat transfer in a plane channel with a confuser. *Fluid Dynamics*, 2019, Vol. 54, no. 1, pp. 67–76. doi.org/10.1134/S0015462819010099. (in Russian)

7. Terekhov V.I., Yarygina N.I., Zhdanov R.F. Heat transfer in turbulent separated flows in the presence of high free-stream turbulence. *Intern.J. Heat Mass Transfer*, 2003, Vol. 46, pp. 4535-4551. DOI:10.1016/S0017-9310(03)00291-6

8. Ilinkov A.V., Shchukin A.V., Takmvtsev V.V., Khabibullin I.I., Zaripov I.S., Enizerkin D.I. Heat transfer

enhancement in the fields of mass forces, pressure gradients, velocity fluctuations, and impinging jets. *Thermal Engineering*, 2020, Vol. 67, no. 1, pp. 36-42. DOI: 10.1134/S0040601520010024

9. Rudnenko S. G. *Vliyanie prodol'nogo gradienta davleniya na slozhnyy teploobmen na nachal'nykh uchastkah vysokotemperaturnykh vyhodnykh kanalov i sopel pri sil'nom vduve* [Influence of the longitudinal pressure gradient on complex heat transfer in the initial sections of high-temperature output channels and nozzles under strong injection]. *Khimki, NPO Energomash im. Akademika V. P. Glushko*, 2008, pp. 68-85. (in Russian)

10. Vinogradov Yu. A., Ermolaev I. K., Leontiev A. I., Strongin M. M. Experimental study of heat transfer on a permeable surface in the presence of a longitudinal positive pressure gradient. *Trudy tret'ej Rossijskoj nacional'noj konferencii po teploobmenu* (Moskva, 21-25 oktyabrya 2002) [Proceedings of the Third Russian National Conference on Heat Exchange (Moscow, October 21-25, 2002)]. Moscow: Publishing House of FGBOU VPO "NIU" MEI, 2002, pp. 95-98. (in Russian)

11. <http://zao-tst.ru/kalorifery-kms-kmb.html>

12. Code\_Saturne. URL: <https://www.code-saturne.org/cms/>. Accessed 01.02.2018;

13. Petrova N. P., Tsynaeva A. A. Numerical study of heat transfer in the channel of a heat exchanger with a pressure gradient. *Teplovyye protsessy v tekhnike* [Thermal processes in engineering], 2019, Vol. 11, no. 12, pp. 532-540. DOI: 10.34759/tpt-2019-11-12-532-540. (in Russian)

14. Salome. URL: <http://salome-platform.org/>

15. Epic E.Ya. Effect of turbulence and longitudinal pressure gradient on heat transfer in a turbulent boundary layer. *Trudy 4 Rossijskoj natsional'noj konferentsii po teploobmenu* [Proc. 4th Russian National Conference on Heat Transfer]. Moscow: Publishing house MPEI, 2006, Vol. 2, pp. 270–273. (in Russian)

16. Zhukauskas A.A. *Konvektivnyy perenos v teploobmennikakh* [Convective transfer in heat exchangers]. Moscow: Nauka, 1982. 472 p.

17. Vasilev F.V. *Raschyotno-eksperimental'noe issledovanie lokal'nykh i osrednyonnykh kharakteristik teplootdachi pri turbulentnom techenii teplonositelya v pryamykh, diffuzornykh i konfuzornykh kanalakh. Diss. cand. techn. Nauk* [Calculation and experimental study of local and averaged heat transfer characteristics during turbulent flow of coolant in direct, diffuser and confuser channels. Ph. D. Diss.]. Bryansk, 1983. 223 p.

18. Petrova N.P., Tsynaeva A.A. Design and study of exchangers with pressure gradient heat intensifiers. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban planning and architecture], 2018, Vol. 8, no. 3, pp. 137–144. (in Russian)

19. Lienhard J.H., Lienhard J.H. A heat transfer textbook. Cambridge, Massachusetts: Phlogiston press. 2011. 755 p.

Об авторах:

**ПЕТРОВА Надежда Павловна**

аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: nadej.orlowa2013@mail.ru

**PETROVA Nadezhda P.**

Post Graduate Student of the Faculty of Life Support Systems and Environmental Engineering Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: nadej.orlowa2013@mail.ru

**ЦЫНАЕВА Анна Александровна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: a.tsinaeva@rambler.ru

**TSYNAEVA Anna A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: a.tsinaeva@rambler.ru

**БЕЛАЯ Валерия Викторовна**

аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: bonyparkery@gmail.com

**BELAYA Valeriya V.**

Postgraduate Student of the Faculty of Life Support Systems and Environmental Engineering Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: bonyparkery@gmail.com

Для цитирования: Петрова Н.П., Цынаева А.А., Белая В.В. Интенсификация и исследование теплообмена и трения в пластинчатых поверхностях нагрева воздухонагревателя КМС-2 с градиентом давления // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 23–29. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.04.

For citation: Petrova N.P., Tsinaeva A.A., Belaya V.V. Intensification and study of heat transfer and friction in the plate heating surfaces of the KMS-2 air heater with a pressure gradient. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 23–29. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.04.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
«ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»**

Направления  
деятельности



Научно-технический журнал «Градостроительство и архитектура» приглашает Вас опубликовать статью

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, индексируется в системе РИНЦ, каждой статье присваивается идентификатор цифрового объекта DOI

Индекс журнала в Объединенном каталоге «Пресса России»: И70570

Руководитель



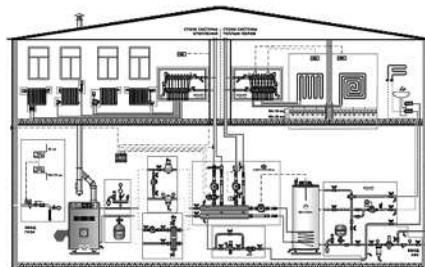
**Александр Кузьмич СРЕЛКОВ**  
доктор технических наук, главный редактор

Контакты



443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
(846) 242-36-98  
vestniksgasu@yandex.ru

# ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



УДК 628.311 + 628.312

DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.05

**С. В. СТЕПАНОВ**  
**О. С. ПОНОМАРЕНКО**  
**П. П. АВДЕЕНКОВ**  
**А. В. БЕЛЯКОВ**  
**А. С. СТЕПАНОВ**  
**Ю. В. РУЗАНОВА**

## АНАЛИЗ И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

### ANALYSIS AND TREATMENT OF WASTE WATER FROM FISH PROCESSING ENTERPRISES

Отличительной особенностью сточных вод предприятий переработки рыбы является высокое содержание органических веществ: ХПК – 620-3500 мг/дм<sup>3</sup>, БПК<sub>полн</sub> – 220-2860 мг/дм<sup>3</sup>. Соотношение БПК<sub>полн</sub>: ХПК=0,68-0,83 в сточных водах рыбоперерабатывающих предприятий показывает высокий потенциал применения биологических методов очистки. Дальнейшего изучения требует вопрос удаления биогенных элементов, т. к., например, для рыбоконсервного завода, отношение БПК<sub>полн</sub>: N:P=100:3,79:1,08 и 100:4,77:0,57. В данной статье представлен опыт проектирования, строительства, пуска и наладки канализационных очистных сооружений предприятия рыбоперерабатывающей промышленности. Для очистки сточных вод была разработана и изготовлена компанией «ЭКОЛОС» следующая схема: приемный колодец с корзиной, барабанная решетка, горизонтальный жируловитель, усреднитель, установка напорной реагентной флотации, мембранный биореактор, ультрафиолетовое обеззараживание. Качество сточной воды на выходе из очистных сооружений соответствует требованиям Нормативно-допустимого сброса, предоставленным ООО «Русская треска».

**Ключевые слова:** сточные воды, рыбохозяйственный комплекс, очистные сооружения, рыбоперерабатывающая промышленность, напорная реагентная флотация, мембранный биореактор (МБР), шнековый обезвоживатель

A distinctive feature of waste water of fish processing enterprises is the high content of organic substances: COD – 620-3500 mg/L, BOD-220-2860 mg/L. The ratio of BOD:COD=0.68-0.83 in the waste water of fish processing enterprises shows a high potential for the use of biological treatment methods. Further study requires the removal of biogenic elements, because, for example, for a fish cannery, the ratio of BOD:N:P=100:3.79:1.08 and 100:4.77:0.57. This article presents the experience of design, construction, start-up and adjustment of sewage treatment facilities of a fish processing enterprise. For wastewater treatment, the following scheme was developed and manufactured by the ECOLOS company: a receiving well with a basket, a drum grate, a horizontal grease trap, a homogenizer, a reagent pressure flotation unit, a membrane bioreactor, and ultraviolet disinfection. The quality of waste water at the outlet of the treatment facilities meets the requirements of the Normative-permissible discharge provided by LLC «Russkaya Treska».

**Keywords:** sewage, fishery complex, treatment facilities, fish processing industry, pressure reagent flotation, membrane bioreactor (MBR), screw dehydrator

В связи с утверждением Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации до 2030 года планируется строительство новых и реконструкция существующих рыбоперерабатывающих предприятий, существование которых без современных канализационных очистных сооружений невозможно.

Качественный и количественный состав сточных вод, образующихся на рыбоперерабатывающих предприятиях, зависит от перерабатываемой рыбы, ассортимента выпускаемой продукции, технологического процесса (количество сточных вод на единицу продукции, виды переработки продукции, применяемого оборудования), режима работы, объёма производства, используемых добавок (рассол, масло для процесса консервирования и др.), морской или пресной воды [1–3].

Белки, жиры, небелковые азотистые загрязнения, поваренная соль и моющие средства являются отличительной особенностью сточных вод рыбоперерабатывающей промышленности. Чаще всего загрязнения присутствуют в виде суспензий, взвешенных частиц, коллоидных систем, эмульсий, растворенных веществ

в молекулярной и ионной формах. В табл. 1 представлены обобщённые сведения о характеристике сточных вод различных предприятий рыбоперерабатывающей промышленности.

Значения рН сточных вод от рыбоперерабатывающих заводов обычно нейтральные. Исключениями являются производства рыбной муки и жиромучные комбинаты, где рН составляет 9-10 и 12,4 соответственно [9].

В целом сточные воды, образующиеся при переработке рыбы, содержат большое количество **взвешенных веществ**. В основном это чешуя, остатки внутренностей (печень, кишки, ястыки), белки и липиды. Поэтому при разработке технологии очистки необходимо уделять повышенное внимание механической и физико-химической предочистке стоков. Наибольшие концентрации взвеси встречаются в сточных водах пресервных цехов – до 5730 мг/дм<sup>3</sup>, а наименьшие – при замораживании рыбы – от 330-650 мг/дм<sup>3</sup>.

**Органические загрязнения** находятся в растворимой, коллоидной и дисперсной формах, которые сильно различаются в зависимости от типа переработки и вида рыбы [10]. Большое количество органических веществ по-

Таблица 1

Характеристика сточных вод различных предприятий рыбоперерабатывающей промышленности, мг/дм<sup>3</sup>

Производство	ХПК	БПК <sub>полн</sub>	Взвешенные вещества	Жиры	N <sub>общ.</sub>	N <sub>НН<sub>4</sub></sub>	Фосфаты	Источник
Рыбообрабатывающие, сбытовые	2940	2000	1430	1800	121	61	14	[4]
Рыбокомбинат, сбыт	1650	1170	850	500	60	20	10	[5]
Рыбоконсервный завод	1130-2160	820-1570	640-2500	98-880	31,1-75	3,4-31	8,9-9	[4–9]
Коптильно-вылочный цех	1800	110-1300	1100-1350	375-400	23-91	10-12	13-23	[4–6]
Цех посола	1060-1100	660-670	480-2500	120-218	96-210	10	-	[4–6]
Рыбомучное производство	3300	2220	2800	1900	224	31	72	[4, 5]
Пресервный цех	620-3500	510-2750	400-5730	62-500	6-240	15	-	[6]
Жиромучное производство	3265-3295	220-2250	2800	1900-1940	217-224	25,8-31	72-72,7	[6, 8]
Жироперерабатывающие	-	-	800	800	9,6-60	0,2-0,5	-	[4]
Кулинарное производство	1180-2000	820-1350	500-1350	200-650	33-38	3,5-14	16,8-17	[5–8]
Мороженая рыба	789-2300	-	300-980	27-70	86	5	53	[4]
Холодильник	560-1800	370-1650	330-650	27-14430	32-54	-	-	[6]
Общий сток производства солёной, вяленой и копчёной продукции	600-3400	512-2860	170-2630	80-320	24-120	8-14	-	[6]

падает в сточную воду при разделке рыбы и с водой, поступающей из трюма кораблей при выгрузке рыбы. Самые большие концентрации ХПК и БПК<sub>5</sub> приходится на производство рыбной муки и жиромучные комбинаты. Известно, что сточные воды, образующиеся при производстве рыбной муки, несут чрезвычайно высокую органическую нагрузку. Важным параметром является отношение БПК<sub>полн</sub>:ХПК. В соответствии с табл. 1 данное соотношение для всех видов производств лежит в диапазоне 0,68–0,83, что свидетельствует о целесообразности применения биологической очистки.

**Жиры, масло.** Отличительной особенностью промышленных сточных вод рыбообработывающей отрасли является высокое содержание жировых загрязнений. Жиры рыб и морских животных отличаются присутствием сильно насыщенных жирных кислот с четырьмя–шестью двойными связями. При проведении различных технологических операций жир подвергается действию тепла, воды, кислорода, что приводит к образованию новых веществ с измененными физическими, химическими свойствами и органолептическими признаками. Всё это следует учитывать при выборе способов очистки жиросодержащих сточных вод разных отраслей промышленности [11]. Около 60 % жира и масла поступает в сточные воды при разделке. Остальная часть масел и жиров вносится во время операций по консервированию и переработке рыбы.

**Соединения азота.** Высокие концентрации азота обусловлены в основном большим содержанием белка в сточных водах (белок составляет 15–20 % от сырого веса рыб). В основном азотистые небелковые вещества присутствуют в клеточной плазме и межклеточной жидкости мышц рыб. К ним относятся также и продукты распада белков. В среднем количество небелкового азота у морских рыб составляет 9–18 % общего азота, например камбала и тресковые (пикша, треска) – 9–14 %, сельдеобразные – 14–18 % [12].

На ряде рыбоперерабатывающих заводов общая концентрация аммиака составляла от 0,7 до 69,7 мг/дм<sup>3</sup>. В рыбном конденсате, образующемся при производстве рыбной муки, общее содержание аммиака может достигать 2000 мг/дм<sup>3</sup> [9].

Наибольшие концентрации общего азота наблюдаются в пресервных цехах – 240 мг/дм<sup>3</sup> и рыбо-жиромучном производстве – 224 мг/дм<sup>3</sup>.

**Фосфор** попадает в сточные воды при переработке рыбы, а также вместе с моющими и чистящими средствами [9, 10]. Концентрация зависит от перерабатываемой рыбы. Данные по содержанию фосфора в сточных водах представлены в табл. 1.

Согласно табл. 1, соотношение БПК<sub>полн</sub>:N:P=100:5:1 выполняется не всегда. Например для рыбоконсервного завода БПК<sub>полн</sub>:N:P=100:3,79:1,08 и 100:4,77:0,57, что может потребовать искусственного внесения биогенных элементов, которое приведёт к увеличению эксплуатационных расходов.

Для очистки сточных вод рыбоперерабатывающего завода «Русская треска» – совместное предприятие ООО «Русская Рыбопромышленная Компания» и группы компаний «Агама», г. Мурманск, была разработана технология очистки, изготовлено и запущено в эксплуатацию оборудование комплекса очистных сооружений. Данное предприятие производит около 15 т/сут филе трески и не менее 1 т/сут продукции из вторичного сырья рыбного производства.

Разработка технологии, которая описана ниже, и поставка оборудования проводились специалистами ГК «ЭКОЛОС».

Исходные сточные воды предприятия по переработке рыбы с максимальным расходом 181,0 м<sup>3</sup>/сут самотеком поступали в канализационную насосную станцию (КНС) горизонтального исполнения, откуда с помощью погружных насосных агрегатов подавались на тонкую механическую очистку. С целью усреднения пикового расхода сточных вод, образующегося при дефростации сырья, КНС рассчитана с регулирующим объемом V = 20 м<sup>3</sup>. Для удаления грубых примесей на входе в КНС была установлена корзина.

Механическая очистка осуществлялась на решетках барабанного типа. Профиль барабана решетки обеспечивал его постоянную очистку в процессе работы: твердые включения задерживались на внутренней поверхности барабана, вода проходила через ячейки барабана наружу в нижней его части. Производительность барабанной решетки 20 м<sup>3</sup>/ч, размер прозоров 2,5 мм для удаления остатков внутренностей рыб (кишки, ястыки, печень), чешуи. Задержанные отходы сбрасываются в контейнер с последующей утилизацией.

Далее механически очищенные сточные воды поступают в жироловитель, который представляет собой цилиндрическую горизонтальную емкость из стеклопластика. Принцип действия заключается в разделении суспензий сточных вод отстаиванием. Конструкция жироловителя предусматривает его деление с помощью перегородок на несколько технологических зон, общее время пребывания составляет 30 мин. В камере первичного отстаивания происходит накапливание всплывающего жира и осаждение взвешенных веществ. Из первого отделения стоки через перегородку с зубчатым

водосливом перетекают во второе основное отделение. Наличие зубчатого водослива успокаивает поток и обеспечивает его равномерное распределение по всему корпусу жируловителя. Пройдя через рабочую зону, поток стоков проходит под полупогружной перегородкой, поднимается вверх и переливается через водослив в выходную камеру, откуда через отводящий патрубок поступает в усреднительную емкость.

Усреднительная емкость представляет собой горизонтальный цилиндрический резервуар из стеклопластика 60 м<sup>3</sup>, предназначенный для усреднения расхода и концентраций сточной воды. Это необходимо для обеспечения стабильной и эффективной работы технологического оборудования, рассчитанного на среднечасовой круглосуточный режим работы. Во избежание выпадения осадка в усреднителе предусмотрено перемешивание при помощи системы рециркуляции стока от напорного патрубка. Из усреднительной емкости погружными насосными агрегатами (один рабочий, один резервный) сточные воды направлялись на физико-химическую очистку.

Основным оборудованием физико-химического метода очистки является установка реагентной напорной флотации производительностью 10 м<sup>3</sup>/ч. Установка предназначена для улавливания и удаления эмульгированных жиров, масел и коллоидных взвешенных веществ. Конструкция флотатора включает в себя камеру флотации и две камеры сепарации равных объемов. Из камер сепарации очищенный сток (рециркуляционный поток) забирается подсосной трубой бустера, расположенного перед циркуляционным насосным агрегатом. Применение бустера позволяет создать подпор на входе насоса, который складывается с давлением (напором) насосного агрегата. Напор бустера складывается с напором, развиваемым насосным агрегатом. Таким образом, схема циркуляции работает по принципу гидравлического трансформатора, в котором относительно большой расход и малый напор циркуляционного насоса преобразуется в требуемые малый расход (30–50 % полезного расхода сточных вод) и большой напор (45–50 м вод.ст.) на ответвлении от циркуляционного кольца. Давление контролируется манометром. Одновременно в подсосную трубу бустера подается воздух от компрессора. При этом в стоке, циркулирующем по бустерному кольцу, включающему сатуратор, образуется водовоздушная смесь. Далее водовоздушная смесь поступает в камеру флотации, куда также поступает исходный сток. Происходит резкое снижение давления. При этом растворенный воздух вы-

деляется в виде мелких пузырьков, которые задерживают на своей поверхности загрязнения, имеющиеся в стоке, образуя на зеркале (поверхности) флотатора пенный слой. Из камеры флотации сток перетекает в камеры сепарации с расположенными в них ламелями. В камерах сепарации происходит тонкослойное разделение воды и частиц загрязнений, налипших к пузырькам воздуха. Общее время очистки в установке составляет 20–30 мин. Образовавшийся на зеркале установки флотошлам удаляется в лоток механизмом шламоудаления. Из камеры сепарации часть очищенного стока поступает на рециркуляцию в бустер, другая часть – в камеру очищенного стока.

Для повышения эффективности процесса очистки во флотаторе используется коагулянт полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат 10М с дозой 52,8 мг/л. Подача коагулянта обеспечивается насосом-дозатором в трубчатый флокулятор, который снабжен трубным смесителем для смешения стоков с подающимися реагентами.

После механической и физико-химической очистки стоков по напорному коллектору из канализационной насосной станции подавался на сооружения биологической очистки. В рассматриваемом случае биологическая очистка реализована на мембранной технологии разделения активного ила от очищенной воды с применением ультрафильтрационных полуволонных мембранных касет.

Мембранный биореактор состоит из двух линий, в состав которых входят денитрификатор, аэротенк-нитрификатор и мембранный резервуар. В денитрификаторе органические загрязнения окисляются активным илом в аноксидных условиях с выделением свободного азота. Для предотвращения осаждения иловой смеси в денитрификаторе установлена погружная мешалка. Иловая смесь из денитрификатора через разделительную перегородку поступает в аэротенк-нитрификатор.

В аэротенке расположена мелкопузырчатая система аэрации, которая обеспечивает концентрацию растворенного кислорода в пределах 2–3 мг/л, что необходимо для окисления органических веществ и обеспечения нитрификации.

Далее из аэротенка-нитрификатора через разделительную перегородку сточные воды поступали в мембранный резервуар, где были установлены погружные мембранные касеты. Модель касеты GEMINI-2000X14, количество модулей – 14 шт., общая площадь одной касеты – 434 м<sup>2</sup>, размер пор мембран – 0,02 мкм.

Каждая мембранная касета имеет подключение к коллектору пермеата, который

соединен со всасывающим патрубком центробежного насоса. Под действием разрежения, создаваемого насосом, очищенные сточные воды (пермеат) поступают сквозь поры через внешнюю сторону полволоконных мембран внутрь их. Далее по трубопроводу пермеата очищенная вода с помощью насоса отводится в резервуар чистой воды (РЧВ), имеющий перелив, через который она самотеком поступает на установку УФ-обеззараживания. Обеззараженные сточные воды по отводящему коллектору отводятся на сброс в отводящий канализационный коллектор.

Иловая смесь с помощью погружного насосного агрегата перекачивается из конца аэротенка-нитрификатора в денитрификатор, кратность циркуляции иловой смеси составляет  $R_m = 3$ , при этом циркуляционный расход равен произведению кратности циркуляции на среднечасовой расход – 12 м<sup>3</sup>/ч для каждой линии. За счет рециркуляции обеспечивается денитрификация и однородность иловой смеси внутри установки. Доза ила  $a_i$  – 8 г/л, зольность  $s$  – 0,3 г/г, иловый индекс  $J_i$  – 150 см<sup>3</sup>/г. Общий расход воздуха на аэрацию нитрификатора и мембранных каскад составляет  $Q_{\text{возд}} = 211$  м<sup>3</sup>/ч.

Качество сточной воды на выходе из очистных сооружений соответствует требованиям Нормативно-допустимого сброса, представленным ООО «Русская треска».

Шлам от флотационной установки и избыточный активный ил отводятся в накопительную емкость – шламонакопитель. В шламонакопителе установлена мешалка для обеспечения однородности шлама и предотвращения его расслоения на жидкую и твердую фракции. По сигналу от ультразвукового датчика уровня шлам подается винтовыми насосами на шнековый обезвоживатель. Сначала осадок поступает в дозирующую емкость, где смешивается миксером с поступающим флокулянтom SUPERFLOC марки А-130 с дозой 6 г/кг до образования флоккул. Образующиеся флоккулы попадают в зону сгущения обезвоживающего барабана. Шнек перемещает сгущенный осадок в зону обезвоживания, давление в барабане возрастает, осадок отжимается. Таким образом, влажность осадка снижается до 85 %. Обезвоженный осадок собирается в контейнер с последующим вывозом на специализированные полигоны.

Технико-экономические показатели работы локальных очистных сооружений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Технико-экономические показатели работы локальных очистных сооружений

Показатель	Ед. изм.	Количество/сумма
Максимальная суточная производительность	м <sup>3</sup> /сут	181
Электропотребление	кВт·ч/год	896 250,8
Электропотребление удельное	кВт·ч/м <sup>3</sup>	13,6
Затраты на электроснабжение	руб./год	2 700 000
Затраты на реагенты	руб./год	1 700 000
Расходы на содержание штата	руб./год	473 700
Прочие эксплуатационные затраты	руб./год	448 300
Эксплуатационные затраты	руб./год	5 322 000
Эксплуатационные затраты удельные	руб./м <sup>3</sup>	80,6

**Выводы.** 1. Отличительной особенностью сточных вод предприятий переработки рыбы является высокое содержание органических веществ: ХПК – 620–3500 мг/дм<sup>3</sup>, БПК<sub>полн</sub> – 220–2860 мг/дм<sup>3</sup>.

2. Биологическая очистка для сточных вод переработки рыбы крайне эффективна, целесообразна, так как отношение БПК<sub>полн</sub> : ХПК=0,68-0,83.

3. Удаление биогенных элементов при помощи биологических методов может быть осложнено, например, для рыбоконсервного завода, так как отношение БПК<sub>полн</sub> :N :P=100:3,79:1,08 и 100:4,77:0,57.

4. Для очистки сточных вод рыбоперерабатывающего предприятия ООО «Русская

треска» принята схема, включающая в себя механическую, физико-химическую, биологическую очистку на основе мембранных технологий и обеззараживание ультрафиолетовым облучением.

5. Обезвоживание осадков предусмотрено на шнековом обезвоживателе. Влажность обезвоженного шлама составляет 85 %.

6. Реализованная схема очистных сооружений позволяет достичь требований, предъявляемых к отведению очищенных сточных вод в водоемы рыбохозяйственного значения.

7. Удельные эксплуатационные затраты составили 80,6 руб./м<sup>3</sup>.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берёза И.Г. Совершенствование систем водного хозяйства предприятий рыбообработывающей промышленности: дис. ... доктора техн. наук: 05.23.04. Санкт-Петербург, 2004. 382 с.
2. Fish canning industry wastewater treatment for water reuse – a case study/ Raquel O. Cristóvão, Cidália M. Botelho, Ramiro J. E. Martins, José M. Loureiro, Rui A. R. Boaventura // *Journal of Cleaner Production*–2015. V. 87. P. 603–612.
3. Канализация населенных мест и промышленных предприятий /Н. И. Лихачев, И. И. Ларин, С, А. Хаскин и др.; под общ.ред. В. Н. Самохина. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1981. 639 с.
4. Трухин Н.В. Очистка сточных вод рыбообработывающих предприятий // Инф. пакет «Обработка рыбы и рыбных продуктов»; ВНИЭРХ. 1993. № 3 (1). 1993. 38 с.
5. Патент 1669868. Способ очистки сточных вод рыбоперерабатывающих производств / Александрова Л. А.; заявл.: 25.04.1989 г.; опубл.: 15.08.1991.
6. Егорова Н. И. Промышленная экология рыбообработывающих предприятий. Керчь: КГМТУ, 2008. 201 с.
7. Шифрин С.М., Хосид Е.В. Очистка сточных вод предприятий рыбоперерабатывающей промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1977. 67 с.
8. Саинова В.Н. Интенсификация биологической очистки и обеззараживания сточных вод рыбоперерабатывающей промышленности: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. М., 1996. 163 с.
9. Pankaj C. Biological treatment processes for fish processing wastewater – A review /Pankaj Chowdhury, T. Viraraghavan, A. Srinivasan // *Bioresource Technology*. 2010. V. 101. P. 439–449.
10. Shobha M., Kanagaratnam B. Organic and nutrient reduction in a fish processing facility – A case study // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2013. V. 85. P. 563–570.
11. Барышников Т.Н. Очистка высококонцентрированных стоков рыбообработывающих производств методом ультрафильтрации: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. Санкт-Петербург, 2001. 214 с.
12. Станкевич О.И. Совершенствование процесса биологической очистки сточных вод рыбообработывающих производств методом нитри-денитрификации: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. Мурманск, 2003. 128 с.

## REFERENCES

1. Beryoza I.G. *Sovershenstvovanie sistem vodnogo hozyajstva predpriyatij ryboobrabatyvayushchej promyshlennosti. Kand, Diss.* [Improvement of water management systems of fish processing industry enterprises. Cand. Diss.]. St. Petersburg, 2004. 382 p.
2. Raquel O. Fish canning industry wastewater treatment for water reuse – a case study. *Journal of Cleaner Production*, 2015, Vol. 87, pp. 603-612.
3. Likhachev N. I., Larin I. I., Haskin S.A. and others. *Kanalizatsiya naseleennykh mest i promyshlennykh predpri-*

*yatij* [Sewerage of settlements and industrial enterprises]. Moscow, Stroyizdat, 1981. 639 p.

4. Trukhin N.V. Wastewater treatment of fish processing enterprises. *Otkrytoe akcionernoe obshchestvo "vse-rossijskij nauchno-issledovatel'skij i proektno-konstruktorskij institut ekonomiki, informacii i avtomatizirovannykh sistem upravleniya rybnogo hozyajstva* [Open joint stock company " all-russian research and design institute of economics, information and automated management systems of fisheries], 1993, no. 3 (1). 38 p.

5. Patent 1669868 Method for treating waste water from fish processing plants L. Aleksandrova; application: 04/25/1989; published: 15.08.1999.

6. Egorova N.I. *Promyshlennaya ekologiya ryboobrabatyvayushchih predpriyatij* [Industrial ecology of fish processing enterprises]. Kerch: KGMТУ, 2008. 201 p.

7. Shifrin S.M., Hosid E.V. *Ochistka stochnykh vod predpriyatij rybopererabatyvayushchej promyshlennosti* [Wastewater treatment of fish processing industry enterprises]. Moscow: Food Industry, 1977. 111 p.

8. Sainova V.N. *Intensifikatsiya biologicheskoy ochistki i obezrazhivaniya stochnykh vod rybopererabatyvayushchej promyshlennosti. Kand, Diss.* [Intensification of biological treatment and disinfection of wastewater from the fish processing industry. Cand. Diss.]. Moscow, 1996. 163 p.

9. Pankaj C. and the others. Biological treatment processes for fish processing wastewater – A review. *Bioresource Technology*, 2010, Vol. 101, pp. 439-449.

10. Shobha M. and others. Organic and nutrient reduction in a fish processing facility - A case study. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, Vol. 85, pp. P. 563-570.

11. Baryshnikova T.N. *Ochistka vysokokoncentrirovannykh stokov ryboobrabatyvayushchih proizvodstv metodom ul'trafil'tracii. Kand, Diss.* [Purification of highly concentrated wastewater from fish processing industries by ultrafiltration. Cand. Diss.]. St. Petersburg, 2001. 214 p.

12. Stankevich O.I. *Sovershenstvovanie processa biologicheskoy ochistki stochnykh vod ryboobrabatyvayushchih proizvodstv metodom nitri-denitifikatsii. Kand, Diss.* [Improvement of the process of biological treatment of waste waters of fish processing industries by the method of nitri-denitrification. Cand. Diss.]. Murmansk, 2003. 128 p.

Об авторах:

**СТЕПАНОВ Сергей Валериевич**

доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры водоснабжения и водоотведения  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: stepanovsv3@yandex.ru

**ПОНОМАРЕНКО Ольга Сергеевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
водоснабжения и водоотведения  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: olga\_solkina@mail.ru

**АВДЕЕНКОВ Павел Павлович**

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: avdeenkovpp@mail.ru

**БЕЛЯКОВ Андрей Владимирович**

кандидат технических наук, технический директор  
ООО «Торговый Дом "ЭКОЛОС"»  
443036, Россия, г. Самара, ул. Набережная реки  
Самары, 1  
E-mail: tehdir@ecolos.ru

**СТЕПАНОВ Александр Сергеевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
водоснабжения и водоотведения  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: alstepanov@ecolos.ru

**РУЗАНОВА Юлия Владимировна**

руководитель инженерной группы  
ООО «Торговый Дом "ЭКОЛОС"»  
443036, Россия, г. Самара, ул. Набережная реки  
Самары, 1  
E-mail: engineer10@ecolos.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  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: stepanovsv3@yandex.ru

**PONOMARENKO Olga S.**

PhD in Engineering Science,  
Associate Professor of the Water Supply and  
Wastewater Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: olga\_solkina@mail.ru

**AVDEENKOV Pavel P.**

Postgraduate Student of the Water Supply and  
Wastewater Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: avdeenkovpp@mail.ru

**BELIAKOV Andrey V.**

PhD in Engineering Science, Technical Director  
LLC «Trading House «ECOLOС»»  
443100, Russia, Samara, Naberezhnaya reki Samary, 1  
E-mail: tehdir@ecolos.ru

**STEPANOV Aleksandr S.**

PhD in Engineering Science,  
Associate Professor of the the Water Supply and  
Wastewater Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244

**RUZANOVA Julia V.**

Head of the engineering group  
LLC «Trading House «ECOLOС»»  
443100, Russia, Samara, Naberezhnaya reki Samary, 1  
E-mail: engineer10@ecolos.ru

Для цитирования: Степанов С.В., Пономаренко О.С., Авдеенков П.П., Беляков А.В., Степанов А.С., Рузанова Ю.В. Анализ и очистка сточных вод рыбоперерабатывающих предприятий // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 30–36. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.05.

For citation: Stepanov S.V., Ponomarenko O.S., Avdeenkov P.P., Belyakov A.V., Stepanov A.S., Ruzanova Yu.V. Analysis and Treatment of Waste Water from Fish Processing Enterprises. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 30–36. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.05.

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

## **ОСОБЕННОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ**

**FEATURES OF THE HYDRAULIC CALCULATION OF HOUSEHOLD DRINKING WATER SUPPLY SYSTEMS OF APARTMENT BUILDINGS**

*Статья посвящена практической реализации изменений в действующей системе правового регулирования в сфере водоснабжения и водоотведения многоквартирных домов. Приведены результаты анализа эксплуатационных и проектных норм водопотребления. Показана необходимость корректировки нормативно-технических документов в части совершенствования методологических основ проектирования внутридомовых систем холодного и горячего водоснабжения многоквартирного дома и создания легитимного методического инструментария. Разработаны рекомендации по дополнению норм свода правил 30.13330.2016 «Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85\*».*

**Ключевые слова:** методическое обеспечение, свод правил, внутренняя система водоснабжения, многоквартирный дом

Первоочередной задачей гидравлического расчета является определение максимальных расчетных расходов холодной и горячей воды, величины которых определяют пропускную способность системы водоснабжения многоквартирных домов (МКД). Некорректный выбор исходных данных может привести либо к необеспеченности потребителей коммунальных ресурсов (холодной и горячей воды) в МКД, либо к перерасходу ресурсов.

В настоящее время в соответствии с нормами федерального закона № 190-ФЗ от 29.12.2004 г. «Градостроительный Кодекс Российской Федерации» (ГрК РФ) установлено, что система водоснабжения МКД должна быть спроектирована на основе проектных норм, а ее эксплуатация осуществляется в соответствии с эксплуатационными нормами. Реализация этих требований предусматривает по существу использование специального режима технико-юридического регулирования, т. е. требует учета в нормативно-технических документах по расчету систем водоснабжения МКД (сводах

*The article is devoted to the practical implementation of changes in the current system of legal regulation in the field of water supply and sanitation of apartment buildings. The results of the analysis of operational and design standards of water consumption are presented. The necessity of adjusting the normative and technical documents in terms of improving the methodological foundations of designing indoor cold and hot water supply systems for an apartment building and creating a legitimate methodological toolkit is shown. Recommendations have been developed to supplement the norms of the set of rules 30.13330.2016 "Internal water supply and sewerage systems of buildings. Updated edition of SNiP 2.04.01-85 \*".*

**Keywords:** methodological support, set of rules, internal water supply system, apartment building

правил, стандартах и пр.) не только требований нормативно-правовых актов в сфере строительства, но и требований правовых (федеральных, региональных, муниципальных) актов сферы жилищного законодательства [1–3].

Существенное расхождение в величинах действительных расходов воды при эксплуатации МКД и их проектных значений требует проведения анализа этого несоответствия. Поэтому исследование по данной проблеме является своевременной и актуальной задачей.

**Требования системы технико-юридического регулирования при проектировании и эксплуатации МКД.** Техничко-юридическое регулирование предусматривает, что эксплуатация систем водоснабжения МКД должна осуществляться в соответствии с требованиями как технических, так и нормативных документов жилищного законодательства [1, 4]. Однако потребление воды населением на хозяйственно-питьевые нужды, в соответствии с Правилами предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений

в многоквартирных домах и жилых домов (Постановление Правительства Российской Федерации от 6.05.2011 г. № 354), возможно только при условии наличия возможности обеспечения транспортировки в жилые и нежилые помещения МКД коммунального ресурса, т. е. наличия внутридомовых систем водоснабжения, пропускная способность которых соответствует эксплуатационным нормам. В противном случае требования ГрК РФ, а также принятое органом исполнительной власти субъекта Российской Федерации решение об установлении нормативов коммунальных ресурсов в жилых и нежилых помещениях МКД не могут быть реализованы. Учитывая, что оценка технического состояния и надлежащего технического обслуживания на их соответствие требованиям жилищного законодательства осуществляется по параметрам и характеристикам систем, указанным в проектной документации (формируются на основе действующих проектных норм), необходима оценка целесообразности корректировки методологического обеспечения и, в случае необходимости, методик гидравлического расчета внутренних систем водоснабжения в МКД.

**Методология и методы системы технического регулирования в строительстве.** Основным нормативно-техническим документом системы технического регулирования применительно к процессам проектирования систем водоснабжения МКД является свод правил СП 30.1330.2016 «Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85\*» (утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации № 951/пр от 16.12.2016 г.). Методология гидравлического расчета предусматривает при определении пропускной способности элементов систем водоснабжения МКД (максимального расхода через поперечное сечение труб и оборудования) учет в качестве исходных данных только расчетного числа жителей и (или) водоразборных приборов при установленных величинах среднесуточной нормы расхода воды для жилых зданий. Таким образом, учитываются только технические факторы – хозяйственно-бытовая (в том числе хозяйственно-питьевая) потребность в воде. Другие факторы, влияющие на водопотребление, а именно временные и социальные, не учитываются. В методике гидравлического расчета используются следующие гидравлические закономерности: модель напорного движения воды в трубах и вероятностная модель хозяйственно-питьевого водопотребления. Исходными данными при расчете являются: величины усредненных секундных и часовых расходов воды для

одного водоразборного прибора и нормы расходов воды в час и сутки наибольшего водопотребления.

**Методология и методы деятельности, регулирующей отношения по предоставлению коммунальных услуг.** Основные нормативные акты, содержащие требования и рекомендации жилищного законодательства применительно к процессам проектирования систем водоснабжения МКД: «Об утверждении правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (Постановление Правительства Российской Федерации № 644 от 29.07.2013 г.); ГОСТ Р 51617-2014 «Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами. Коммунальные услуги. Общие требования» (Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11.06.2014 г. № 544-ст); ГОСТ Р 56501-2015 «Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами. Услуги содержания внутридомовых систем теплоснабжения, отопления и горячего водоснабжения многоквартирных домов. Общие требования» (Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30.06.2015 г. № 823-ст); ГОСТ Р 56533-2015 «Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами. Услуги содержания внутридомовых систем холодного водоснабжения многоквартирных домов. Общие требования» (Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.07.2015 г. № 1003-ст) [4]. Главными требованиями [4] в части формирования методологического обеспечения деятельности, регулирующей функционирование системы коммунальной инфраструктуры МКД, являются:

- определение величин потребления холодной и горячей воды в жилых помещениях МКД необходимо проводить исходя из нормативов потребления;

- определение величин пиковых расходов воды в жилых помещениях МКД необходимо проводить с учетом дифференциации по времени суток потребления коммунального ресурса и коммунальных услуг различными потребителями.

Следовательно, методика гидравлического расчета (при определении пропускной способности элементов систем водоснабжения МКД) должна учитывать в качестве исходных данных не только расчетное число жителей и (или) водоразборных приборов при установленных нормах расходов воды в час и сутки наибольшего водопотребления, но и нормативы потре-

ния коммунальных ресурсов. Таким образом, должны учитываться не только технические, но и другие факторы, влияющие на водопотребление, а именно – временные и социальные. Соответственно в методике гидравлического расчета должны использоваться не только известные гидравлические закономерности (модель напорного движения воды в трубах и вероятностная модель хозяйственно-питьевого водопотребления), но и новые параметры гидравлических закономерностей, характеризующие зависимость величин расходов воды в час и сутки наибольшего водопотребления от величин нормативов потребления коммунальных ресурсов. Соответственно исходными данными при расчете должны быть – величины усредненных секундных и часовых расходов воды для одного водоразборного прибора и нормы расходов воды в час и сутки наибольшего водопотребления, рассчитанные исходя из нормативов потребления коммунальных ресурсов в многоквартирных домах.

Указанные требования были реализованы в методике расчета («Программа swc-1 расчетный расход воды – квартира»), разработанной в Академии строительства и архитектуры Самарского государственного технического университета (методика АСА СамГТУ) И.Ю. Михайловой под руководством д.т.н., профессора А.К. Стрелкова (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015615869 Российская Федерация, Программа swc-1 расчетный расход воды - квартира / А.К. Стрелков, Ю.Н. Зотов, И.Ю. Михайлова; заявитель и патентообладатель СГАСУ № 2015612362; заявл. 30.03.2015; опубл. 20.06.2015, бюл. № 6-2015. 1 с.).

**Оценка целесообразности корректировки методического обеспечения гидравлического расчета внутренних систем водоснабжения МКД.** Сравнение требований системы технического регулирования с требованиями

системы регулирования отношений по предоставлению коммунальных услуг определило задачу научного исследования – проведение сравнения результатов расчета пропускной способности систем хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД, рассчитанной по методике расчета, приведенной в своде правил 30.13330.2016 (на основе проектных норм), и рассчитанной по методике расчета, разработанной в АСА СамГТУ (на основе эксплуатационных норм).

Основное отличие методики АСА СамГТУ от методики СП 30.13330.2016 заключается в ином подходе при выборе исходных данных для расчета, а именно: выбор величин диаметров труб и типоразмеров оборудования в методике АСА СамГТУ проводится исходя из величин пиковых расходов коммунального ресурса, определенного по нормативам его потребления. То есть при определении величин расчетных расходов и выбору диаметров труб учитывается не только хозяйственно-гигиеническая потребность в воде, но и социальные, а также временные факторы.

В расчетах сосредоточенных расходов воды рассматривался 16-этажный многоквартирный дом, расположенный во 2-й строительной-климатической зоне. Количество жителей – 864 человека. Количество водоразборных приборов: для холодной воды – 1152 шт., для горячей воды – 864 шт. Нормативы потребления: холодной воды – 5,92 м<sup>3</sup>/мес.чел., горячей воды – 3,24 м<sup>3</sup>/мес.чел. В целях корректного сравнения результатов расчета по вышеуказанным методикам при определении секундной и часовой вероятности действия эквивалентного водоразборного прибора использовались одинаковые величины усредненных секундных и часовых расходов воды для одного эквивалентного водоразборного прибора и одинаковые усредненные нормы расхода воды в час и сутки наибольшего водопотребления.

Результаты расчетов приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Расходы холодной воды, рассчитанные по различным методикам

Параметр	Расчетная величина	
	Методика АСА СамГТУ	Методика СП 30.13330.2016
Часовая норма расхода $q_{hr,ч}^c$ л/ч	7,1	
Расход воды прибором $q_{ор}^c$ л/с	0,2	
Расход воды прибором $q_{0,hr}^c$ л/ч	200	
Суточная норма расхода воды $Q_{д}^c$ л/ч	165	
Секундная вероятность $P^c$	0,0074	
Часовая вероятность $P_{hr}^c$	0,0266	
Часовой расход $q_{hr}^c$ м <sup>3</sup> /ч	9,608	

Окончание табл. 1

Суточный расход в МКД $Q_{0,r}^c$ , м <sup>3</sup> /сут	236,7	142,6
Средний часовой расход $q_{hr}^c$ , м <sup>3</sup> /ч	5,94	
Секундный расход $q_{0,r}^c$ , л/с	4,384	3,683

Таблица 2

## Расходы горячей воды, рассчитанные по различным методикам

Параметр	Расчетная величина	
	Методика АСА СамГТУ	Методика СП 30.13330.2016
Часовая норма расхода $q_{hr,h}^h$ , л/ч	8,5	
Расход воды прибором $q_{0,r}^h$ , л/с	0,2	
Расход воды прибором $q_{0,hr}^h$ , л/ч	200	
Суточная норма расхода воды $Q_{0,r}^h$ , л/ч	85	
Вероятность $P^h$	0,0118	
Вероятность $P_{hr}^h$	0,042	
Часовой расход $q_{hr}^h$ , м <sup>3</sup> /ч	11,02	
Суточный расход в МКД $Q_{0,r}^h$ , м <sup>3</sup> /сут	156,4	73,4
Средний часовой расход $q_{hr}^h$ , м <sup>3</sup> /ч	3,1	
Секундный расход $q_{0,r}^h$ , л/с	6,516	4,160

Результаты расчета показали, что величины максимальных секундных расходов воды, рассчитанные по методике СП 30.13330.2016, меньше в 1,19 раза для холодной воды и в 1,57 раза для горячей воды величин расходов, рассчитанных по методике АСА СамГТУ. Поэтому важно на этапе проектирования определить расчетный расход, максимально приближенный к эксплуатационному, и корректно выбрать соответствующие ему величины диаметров труб и необходимое оборудование.

**Практическая реализация результатов научного исследования.** По результатам научной работы был подготовлен Стандарт Саморегулируемой организации «Приволжская региональная ассоциация архитекторов и проектировщиков» (СРО «ПРААП») «Определение расчетных расходов холодной и горячей воды во внутренних системах хозяйственно-питьевого водопровода многоквартирных домов», дополняющий СП 30.13330.2016, утверждение которого планируется в мае 2021 г.

**Выводы.** 1. Сравнение эксплуатационных и проектных норм водопотребления выявило определенную функционально-целевую недостаточность и системную незавершенность в конкретизации требований Градостроительного Кодекса Российской Федерации в действующих нормативно-технических документах сферы технического регулирования в строительстве.

2. Анализ требований к внутренним системам хозяйственно-питьевого водоснабжения

МКД позволил выявить новые методологические аспекты их гидравлического расчета, соответствующие требованиям жилищного законодательства.

3. Обоснована необходимость дополнения существующей методики гидравлического расчета СП 30.13330.2016 рекомендациями по расчету частей системы водоснабжения, транспортирующих воду в жилые помещения многоквартирного дома.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комментарий к статье 55.24 Градостроительного Кодекса Российской Федерации. Источник: <http://stgrkrf.ru/55-24>

2. Агешкина Н.А., Коржов В.Ю., Агешкина Н.А. Комментарий к Федеральному закону от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [Электронный ресурс]. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. 151 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/73978.html>. - ЭБС «IPRbooks» (дата обращения: 1.03.2021).

3. Городов О.А., Губаева А.К., Лебедев К.К., Попондоцло В.Ф., Долгополый М.Н., Стрембелев С.В. Комментарий к Жилищному кодексу Российской Федерации (постатейный). 4-е изд., перераб. и доп. М.: Проспект, 2017. 252 с.

4. Михайлова И.Ю. Определение расчетных расходов во внутренних централизованных системах хозяйственно-питьевого водоснабжения многоквартирных домов // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 53–60. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.9.

## REFERENCES

1. *Kommentarij k stat'e 55.24 Gradostroitel'nogo Kodeksa Rossijskoj Federacii* [Commentary to Article 55.24 of the Urban Planning Code of the Russian Federation]. Available at: <http://stgrkrf.ru/55-24>
2. Ageshkina N.A., Korzhov V.Yu. Ageshkina N.A. *Kommentarij k Federal'nomu zakonu ot 27 dekabrya.2002 g. № 184-FZ «O tekhnicheskom regulirovanii»* [Commentary on the Federal Law of December 27, 2002 No. 184-FZ "On Technical Regulation"]. Saratov: Ai Pi Er Media, 2018. 151 p. Available at: <http://www.iprbookshop.ru/73978.html>. - EBS "IPRbooks." (Accessed 1 March 2021).
3. Gorodov O. A., Gubaeva A.K., Lebedev K.K., Popondopulo V.F., Dolgopoly M.N., Strembelev S.V. *Kommentarij k ZHilishchnomu kodeksu Rossijskoj Federacii (postatejnyj). 4-e izdanie, pererabotannoe i dopolnennoe* [Comment on the Housing Code of the Russian Federation (article-by-article). 4th edition, revised and supplemented]. M.: Prospect, 2017. 252 p.
4. Mikhaylova I.Yu. Determination of calculated costs in internal centralized systems of drinking water supply of multi-apartment houses. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, vol. 9, no. 4, pp. 53-60. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.9. (in Russian)

Об авторах:

**СТРЕЛКОВ Александр Кузьмич**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. (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 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: nauka\_zotov@mail.ru

**МИХАЙЛОВА Ирина Юрьевна**

инженер общебольничного немедицинского персонала Государственное бюджетное учреждение здравоохранения «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

**STRELKOV Alexander K.**

Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244, tel. (846) 339-14-11  
E-mail: a19400209@yandex.ru

**ZOTOV Yuri N.**

PhD of Engineering Science, Associate Professor of Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244, tel. (846) 339-14-76  
E-mail: nauka\_zotov@mail.ru

**MIKHAILOVA Irina Yu.**

Engineer of General Hospital Non-medical Personnel Samara regional children's clinical hospital named after N. N. Ivanova 443079, Russia, Samara, Karla Marksa str., 165-A, tel. (846) 207-30-43  
E-mail: vk-sgasu.zotova@yandex.ru

Для цитирования: Стрелков А.К., Зотов Ю.Н., Михайлова И.Ю. Особенности гидравлического расчета систем хозяйственно-питьевого водоснабжения многоквартирных домов // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 37–41. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.06.

For citation: Strelkov A.K., Zotov Yu.N., Mikhaylova I.Yu. Features of the Hydraulic Calculation of Household Drinking Water Supply Systems of Apartment Buildings. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 37–41. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.06.

С. Ю. ТЕПЛЫХ  
Д. С. БОЧКОВ  
А. О. БАЗАРОВА

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО УДАЛЕНИЯ ФОСФАТОВ ИЗ СТОЧНОЙ ВОДЫ

### PROMISING METHODS FOR BIOLOGICAL REMOVAL OF PHOSPHATES FROM WASTEWATER

*В статье сравнивается удаление фосфатов из сточных вод перспективными биологическими методами, а именно биотехнологиями, основанными на использовании фосфат-аккумулирующих организмов. Исследуемое микробное сообщество является альтернативным как для дальнейших фундаментальных исследований метаболизма фосфат-аккумулирующих организмов, так и для совершенствования биотехнологий очистки сточных вод от фосфора.*

**Ключевые слова:** биологическое удаление фосфора, фосфат-аккумулирующие организмы, активный ил, очистка сточных вод, технология усовершенствованного биологического удаления фосфора, фосфатация, дефосфатация.

Одним из биогенных элементов, входящих в состав биомассы всех живых организмов, является фосфор, который выполняет важную роль в конструктивном и энергетическом метаболизме. Фосфаты широко используются в различных областях, поэтому они становятся компонентом сточных вод коммунального хозяйства и агропромышленного комплекса. Поступление избыточного количества фосфора в реки и озера нарушает сбалансированность этих экосистем и приводит к их эвтрофикации. Таким образом, очистка сточных вод от фосфатов является важной практической задачей.

Все чаще на станциях очистки сточных вод применяются биотехнологии для удаления фосфатов. Данные технологии основаны на способности организмов к внутриклеточному накоплению полифосфатов, которая встречается среди про- и эукариот.

При исследовании активного ила биореакторов в системе очистки сточных вод были обнаружены фосфат-аккумулирующие организмы (ФАО), неорганические фосфаты из среды и включающие их в свою биомассу в виде полифосфатов при циклическом росте в анаэробных и аэробных условиях.

*The article compares the removal of phosphates from wastewater by promising biological methods, namely biotechnologies based on the use of phosphate-accumulating organisms. The microbial community under study gives great hopes for further fundamental studies of the metabolism of phosphate-accumulating organisms, and for improving biotechnologies for purifying wastewater from phosphorus.*

**Keywords:** biological phosphorus removal, phosphate-accumulating organisms, activated sludge, wastewater treatment, technology for improved biological phosphorus removal, phosphatation, dephosphate

Исследования микробных сообществ активного ила промышленных установок очистки сточных вод и обогащенных ФАО лабораторных культур указывают на то, что основную роль в удалении фосфора играют бета-протеобактерии, относящиеся к роду "Candidatus Accumulibacter".

Протеобактерии являются весьма неоднородной группой. В эту группу включены симбионты эукариот и большое число патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, фото- и хемотрофные виды бактерий (автотрофы, гетеротрофы). Все протеобактерии грам-отрицательны, внешняя мембрана построена из липополисахарида. Группа включает как облигатно, так и факультативно аэробные и анаэробные бактерии. Кроме того, отличны и типы движения: в группу входят бактерии, имеющие жгутики, и неподвижные бактерии, а также бактерии, имеющие так называемый «скользящий» тип движения, т. е. движение отдельных бактериальных клеток или их колоний по твердой поверхности вдоль их длинной оси без участия бактериальных жгутиков.

Был проведен метагеномный анализ микробного консорциума, сформировавшегося в лабораторной установке по очистке сточ-

ных вод от фосфатов и обеспечивающего удаление до 80 % фосфора из среды. В сообществе преобладали представители филумов Proteobacteria (82,5 %), Bacteroidetes (10,5 %) и Chloroflexi (1,6 %). Среди протеобактерий были обнаружены Betaproteobacteria, среди которых преобладали представители рода 'Ca. Accumulibacter' и Gammaproteobacteria (26,8 %), большинство из них относилось к семейству 'Ca. Competibacteraceae'. На основе метагеномных данных получен геном доминирующей в сообществе фосфат-аккумулирующей бактерии, который представляет новый вид рода 'Ca. Accumulibacter'. Исследуемое микробное сообщество является перспективным объектом как для дальнейших фундаментальных исследований метаболизма фосфат-аккумулирующих организмов, так и для совершенствования биотехнологий очистки сточных вод от фосфора [1].

Направление разработки новых подходов биологического удаления фосфора из сточных вод связано с достижениями в области синтетической биологии и метаболической инженерии микроорганизмов. Учитывая, что выделить ФАО в чистые культуры до настоящего времени не удастся, одним из способов повышения эффективности удаления фосфора является использование генно-инженерных штаммов бактерий других видов, способных эффективно поглощать фосфаты из среды. Например, был получен штамм *Pseudomonas aeruginosa* с инактивируемым геном *phoU* и рекомбинантный штамм магнитотактической бактерии *Magnetospirillum gryphiswaldense*, в которой был дополнительно экспрессирован ген полифосфат-киназы (*ppk*). В результате этих модификаций полученные генно-инженерным способом бактерии стали более эффективно аккумулировать полифосфаты из окружающей среды. Использование таких микроорганизмов является перспективным направлением разработки новых эффективных биотехнологических подходов для удаления фосфатов из сточных вод [2].

За рубежом активно используется очистка канализационных стоков методом установок локальных систем по технологии последовательно-переменного действия SBR (sequencing batch reactor). Системы компактны и построены по принципу миниатюрных промышленных очистных сооружений активного типа. Реактор системы активно участвует в процессе очистки стоков.

В отличие от традиционного метода аэробной биологической очистки, при котором вода протекает через несколько последовательных ёмкостей разного назначения, в реакторе SBR

все этапы очистки проходят в одной ёмкости (биореакторе) последовательно, с разделением по времени. Последовательные периодические реакторы или SBR используют отдельную секцию предварительной обработки для механического удержания твердых частиц и биологического аэрационного и отстойного резервуара. Небольшие системы очистки сточных вод SBR очищают поступающие сточные воды в течение нескольких циклов. Работа биореактора осуществляется в циклах, каждый из которых включает следующие фазы: наполнение, реакция (аэрация, периодическая или непрерывная), седиментация, удаление очищенной воды, удаление избыточного ила. Продолжительность каждого цикла определяется с учётом свойств поступающей на сооружения сточной воды, требуемых показателей для очищенной воды и других условий. Исходя из удобства эксплуатации обычно выбирают 6-, 8-, 12-часовые циклы. При наличии двух реакторов начало циклов смещено относительно друг друга так, чтобы фазы наполнения и слива не пересекались во времени. Продолжительность фаз при изменении характеристик сточных вод с учётом сезонных колебаний, расширения и т. п. можно настраивать в определённых диапазонах с помощью интерфейса системы управления. Такая особенность является одним из главных технологических преимуществ SBR, поскольку обеспечивает максимальную гибкость в управлении процессом очистки.

Основная особенность технологии периодической биологической очистки состоит в том, что все биохимические процессы (полного окисления органики, нитрификации аммоний-ионов, денитрификации нитрит- и нитрат-анионов, биологического удаления фосфора), а также вспомогательные процессы загрузки, отстаивания, выгрузки (декантации) очищенной воды осуществляются в одном резервуаре – по международной терминологии SBR (рис. 1).

Эта технология позволяет принимать стоки с высоким коэффициентом неравномерности поступления и практически не зависит от качества поступающей воды.

Первый простейший непрерывный процесс для биологического удаления фосфора из сточной воды Phoredox (PHOosphorus REDuction OXidation) был разработан еще в 70-е гг. XX в. (рис. 2). Цикличность условий для развития ФАО реализуется в результате прохождения иловой смеси через две последовательно расположенные зоны. В первой, анаэробной (без аэрации) зоне происходит смешивание возвратного активного ила и сточной воды. Вместе со сточной водой поступают легкодоступные

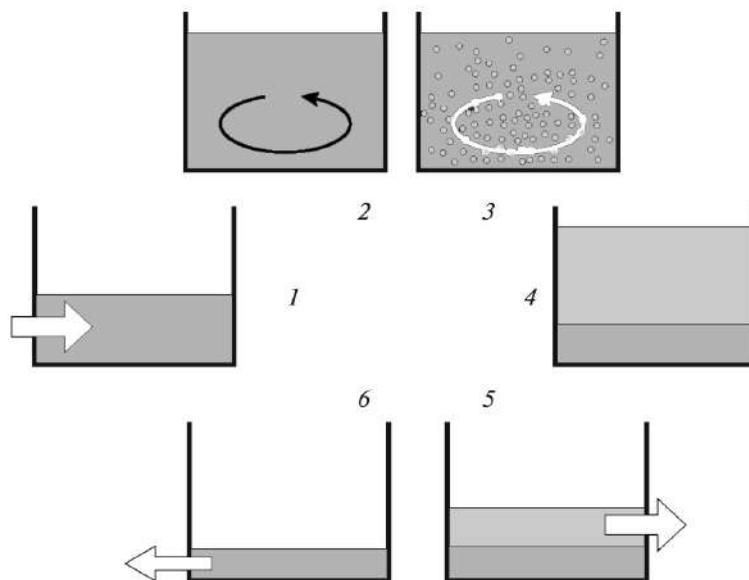


Рис. 1. Вариант биологического удаления фосфора из сточных вод в биореакторе типа SBR:

1 – подача в биореактор с активным илом сточной воды; 2 – анаэробная фаза; 3 – аэробная фаза; 4 – отстаивание; 5 – удаление очищенной сточной воды; 6 – удаление приросшего (избыточного) активного ила, обогащенного полифосфатами [2]

органические вещества, а отсутствие или крайне низкие концентрации  $O_2$  создают условия для их ферментации с образованием летучих жирных кислот. В этой зоне ФАО потребляют органическое вещество и выбрасывают в среду фосфаты. Затем иловая смесь поступает в аэробную зону, обогащающуюся кислородом принудительной аэрацией. В этой зоне ФАО поглощают фосфаты, а затем ил поступает в илоотделитель. После отделения ила часть обогащенного фосфором активного ила (избыточный активный ил или прирост активного ила) выводится из процесса, а остальная часть возвращается в анаэробную зону и цикл удаления фосфора повторяется. Длительность пребывания в зонах и концентрация активного ила подбираются таким образом, чтобы концентрация фосфора на выходе из аэробной зоны была ниже, чем в поступающей воде, и соответствовала проектному значению. Процесс Phoredox (Phosphorus Reduction Oxidation) предназначен для очистки сточных вод от органического вещества и фосфора, однако в настоящее время к очистным сооружениям предъявляются требования очистки не только от этих загрязнителей, но и от азота.

Ведутся работы и в направлении оптимизации традиционной схемы удаления фосфора за счет повышения разнообразия взаимовыгодных полезных связей между организмами внутри биоценоза активного ила. Например, появились обнадеживающие результаты использования в качестве источника кислорода

фотосинтетических микроорганизмов (цианобактерии, зеленые и коричневые водоросли и др.), заменяющих принудительную аэрацию и, тем самым, существенно повышающих экономическую привлекательность такой технологии [3].

Среди факторов среды (параметров обработки сточных вод), которые по данным целого ряда исследований оказывают существенное влияние на эффективность биологической очистки сточных вод от фосфатов, выделяют [4–10]: температуру иловой смеси; pH среды; БПК; концентрации в сточных водах летучих жирных кислот (ЛЖК), железа, калия, кальция и магния, азота, фосфора и соотношение их концентраций с концентрациями органических загрязнений; концентрацию растворенного кислорода, нитратов; нагрузку на ил (гидравлическую и удельную); возраст ила и продолжительность обработки.

Поскольку в настоящее время механизм процесса биологического удаления фосфора далеко не полностью изучен, он создает ряд проблем для стабильного и эффективного применения на практике. Исследования миграции фосфора в системе сточная вода – активный ил, выявление оперативно контролируемых управляющих воздействий этим процессом очень актуальны для разработки способов повышения эффективности извлечения фосфатов без существенных капитальных и эксплуатационных затрат, в том числе и на сооружениях, работающих по традиционной схеме [11].

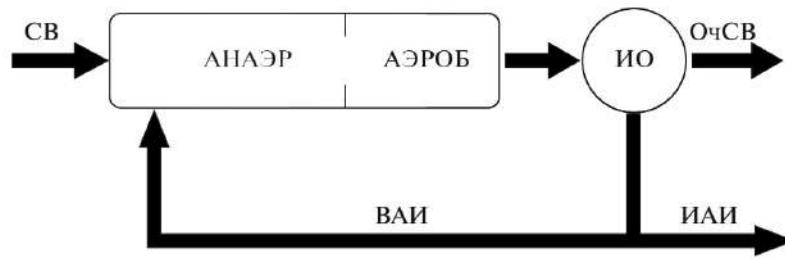


Рис. 2. Схема процесса Phoredox:  
СВ – сточная вода; АНАЭР – анаэробная зона биореактора; АЭРОБ – аэробная зона биореактора; ИО – отстойник ила; ОчСВ – очищенная сточная вода; ВАИ – возвратный активный ил; ИАИ – избыточный активный ил [2]

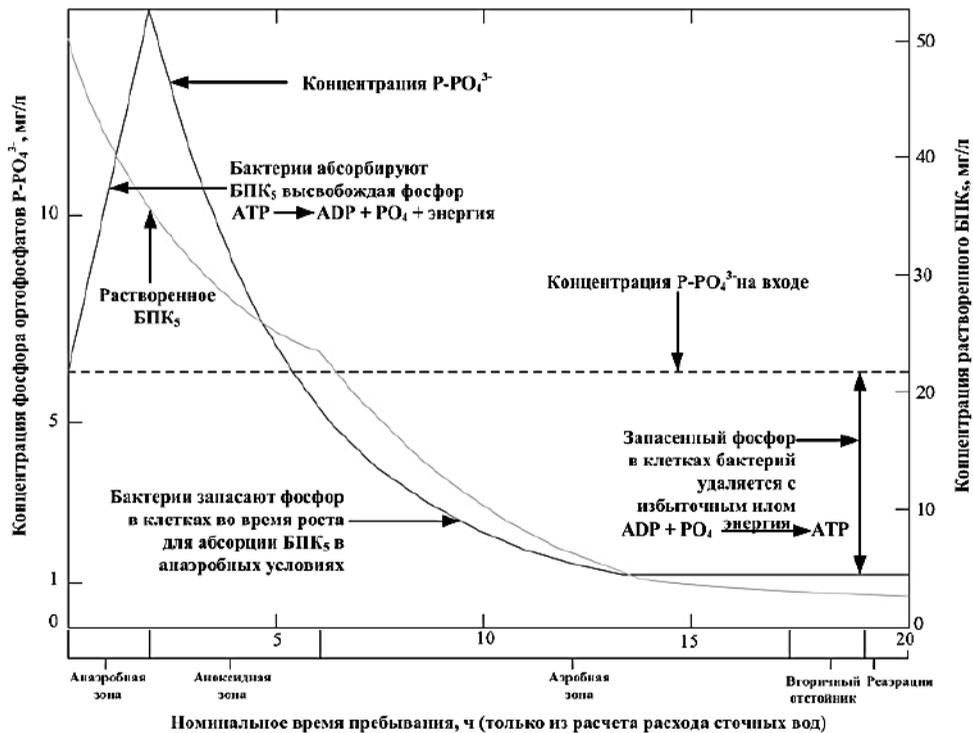


Рис. 3. Профиль изменения концентрации фосфатов при биологической очистке городских сточных вод от фосфора [12]

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) иловой жидкости является оперативно контролируемым показателем окислительно-восстановительной ситуации в этой среде.

В лабораторных экспериментах и на городских очистных сооружениях были установлены количественные характеристики корреляции между переменными параметрами очистки сточных вод – ОВП среды, разностью ОВП в течение обработки и миграцией фосфатов в системе активный ил–сточная вода.

Установлено, что более объективно (в том числе при обосновании миграций фосфатов в аноксидной зоне) на динамику концен-

трации фосфатов воздействует не абсолютное значение ОВП среды, а разность в ОВП между зонами.

Отмечено позитивное влияние на величину фосфат-аккумулирующей емкости исследованных активных илов и их адаптации к чередованию анаэробных и аэробных зон [13].

**Вывод.** Обзор литературы показал, что исследуемое микробное сообщество, относящееся к роду “*Candidatus Accumulibacter*”, до конца не изучено и будет исследоваться в диссертационной работе, так как является перспективным объектом для дальнейших фундаментальных исследований метаболизма фосфат-аккумулирующих организмов и для совершенство-

вания биотехнологий очистки сточных вод от фосфора. Методы биологического окисления позволяют удалить фосфор вместе с избытком активного ила в количестве, составляющем около полтора процентов от его массы по сухому веществу. Для устойчивого и стабильного удаления фосфора фосфатов при биологической очистке сточной воды важно наличие достаточного количества органического вещества для процессов денитрификации и биологической дефосфатации.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котляров Р.Ю., Белецкий А.В., Каллистова А.Ю. Новые фосфат-аккумулирующие бактерии, обнаруженные в установке для очистки сточных вод от фосфатов // *Микробиология*. 2019. № 6. С. 710–714.
2. Дорофеев А.Г., Николаев Ю.А., Марданов А.В., Пименов Н.В. Роль фосфат-аккумулирующих бактерий в биологической очистке сточных вод от фосфора // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2020. № 1. С. 3–18.
3. Oyserman B.O., Martirano J.M., Wipperfurth S., Owen B.R., Noguera D.R., McMahon. K.D. // *Environ. Sci. Technol.* 2017. V. 51. № 6. P. 3165–3175.
4. Амбросова Г.Т., Меркель О.М., Бойко Т.А., Хвостова Е.В., Перминов А.А. Закономерности процесса дефосфатизации активного ила в анаэробных условиях // *Известия вузов. Строительство*. 2003. № 6. С. 73–78.
5. Дзюба И.П., Маркевич Р.М., Сигиневич Т.М. Исследование процесса накопления фосфора фосфор-аккумулирующими бактериями // *Труды БГТУ*. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2011. № 4 (142). С. 182–184.
6. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: АКВАРОС, 2003. 512 с.
7. Эпов А.Н., Канунникова М.А. Сравнение методик расчета сооружений с биологическим удалением азота и фосфора и применение математического моделирования // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2016. № 1. С. 3–14.
8. Blackall L.L., Crocetti G.R., Saunders A.M. and Bond P.L. A review and update of the microbiology of enhanced biological phosphorus removal in wastewater treatment plants. *Antonie Van Leeuwenhoek*, Vol. 81, Issue 1–4, pp. 681–691. DOI: 10.1023/a:1020538429009.
9. Randall C.W., Barnard J.L. and Stensel H.D. Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal. Lancaster: Technomic Publishing Company, 420 p.
10. The Cadmus Group, Inc. EPA/600/R-09/012. Nutrient Control Design Manual—State of the Technology Review Report. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2009. 102 p.
11. Юрченко В.А., Смирнов А.В., Бахарева А.Ю. Влияние редокс-потенциала среды на миграцию фосфора в иловой смеси // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. Т. 6, № 6 (78). С. 78–84.
12. Stark K., Plaza B. and Hultman B. Phosphorus release from ash, dried sludge and sludge residue from supercritical water oxidation by acid or base. *Chemosphere*, Vol. 62, Issue 5, pp. 827832. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.04.069.
13. Юрченко В.А., Смирнов А.В., Есин М.А., Левашова Ю.С. Влияние редокс-потенциала на фосфатацию иловой жидкости в технологиях биологического удаления фосфора // *Вода и экология: проблемы и решения*. 2019. № 3. С. 26–37.

## REFERENCES

1. Kotlyarov R.Yu., Beletsky A.V., Callistova A.Yu., etc. New phosphate-accumulating bacteria found in a phosphate-removing plant. *Mikrobiologiya* [Microbiology], 2019, no. 6, pp. 710-714. (in Russian)
2. Dorofeev A.G., Nikolaev Yu.A., Mardanov A.V., Pimenov N.V. The role of phosphate-accumulating bacteria in biological wastewater treatment from phosphorus (review). *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Applied Biochemistry and Microbiology], 2020, no. 1, pp. 3-18. (in Russian)
3. Oyserman B.O., Martirano J.M., Wipperfurth S., Owen B.R., Noguera D.R., McMahon. K.D. *Environ. Sci. Technol*, 2017, vol. 51, no. 6, pp. 3165–3175.
4. Ambrosova, G. T., Merkel, O. M., Boiko, T. A., Khvostova, E. V. and Perminov, A. A. Regularity of dephosphotization process of active sludge in anaerobic conditions. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 2003, no. 6, pp. 73–78. (in Russian)
5. Dzyuba, I. P., Markevich, R. M. and Siginevich, T. M. Studying the process of phosphorus accumulation by phosphorus accumulating bacteria. *Trudy BGTU*. № 4. *Himiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya* [Proceedings of BSTU. 4 Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology], 2011, no. 4 (142), pp. 182–184. (in Russian)
6. Jmour, N. S. (2003). Technological and biochemical processes of wastewater treatment on treatment plants with aerotanks. Moscow. *AKVAROS* [AKVAROS], 512 p.
7. Epov, A. N. and Kanunnikova, M. A. Comparison of structural analysis methods of nitrogen/phosphorus biological removal plants with mathematical modeling application. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* [Water and Ecology], 2016, no. 1, pp. 3–14. (in Russian)
8. Blackall, L. L., Crocetti, G. R., Saunders A. M. and Bond, P. L. A review and update of the microbiology of enhanced biological phosphorus removal in wastewater treatment plants. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 2002, vol. 81, is. 1–4, pp. 681–691. DOI: 10.1023/a:1020538429009.
9. Randall, C. W., Barnard, J. L. and Stensel, H. D. Design and retrofit of wastewater treatment plants for biological nutrient removal. Lancaster: Technomic Publishing Company, 1992. 420 p.
10. The Cadmus Group, Inc. EPA/600/R-09/012. Nutrient Control Design Manual—State of the Technology Review Report. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency, 2009. 102 p.

11. Yurchenko, V. A., Smyrnov, O. V. and Bakhareva, A. Yu. Influence of redox potential of the medium on phosphorus migration in sludge liquor. *Vostochno-Evropskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 2015, vol. 6, no. 6 (78), pp. 78–84. (in Russian)

12. Stark, K., Plaza, B. and Hultman, B. Phosphorus release from ash, dried sludge and sludge residue from supercritical water oxidation by acid or base. *Chemosphere*, 2006, vol. 62, no. 5, pp. 827–832. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.04.069.

13. Yurchenko, V. A., Smyrnov, O. V. and Bakhareva, A. Yu. Influence of the redox potential on the sludge phosphatation in the technologies of biological phosphorus removal. *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* [Water and ecology: problems and solutions], 2019, no. 3, pp. 26–37. (in Russian)

Об авторах:

**ТЕПЛЫХ Светлана Юрьевна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: kafvv@mail.ru

**TEPLYKH Svetlana Yu**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: kafvv@mail.ru

**БОЧКОВ Дмитрий Сергеевич**

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: b.o.c.h.k.o.v@icloud.com

**BOCHKOV Dmitrii S.**

Postgraduate Student of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: b.o.c.h.k.o.v@icloud.com

**БАЗАРОВА Анастасия Олеговна**

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: bystranova14@mail.ru

**BAZAROVA Anastasya O.**

Postgraduate Student of the Watter Supply and Wastwater Chair Samara State Technical University, Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: bystranova14@mail.ru

Для цитирования: Теплых С.Ю., Бочков Д.С., Базарова А.О. Перспективные методы биологического удаления фосфатов из сточной воды // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 42–47. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.07.

For citation: Teplykh S.Yu, Bochkov D.S., Bazarova A.O. Promising Methods for Biological Removal of Phosphates from Wastewater. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 42–47. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.07.



Н. М. БОЧАРОВ

## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ КОРРОЗИЯ ТОНКОЛИСТОВОЙ СТАЛИ 08КП В СРЕДЕ ВОЗДУХА

### HIGH TEMPERATURE CORROSION OF THIN SHEET STEEL 08KP IN AIR

Исследование характера высокотемпературной коррозии металлов составляет одну из задач в обосновании актуальности применения коррозионно-стойких, термостойких покрытий и барьерных слоёв, полученных на основе естественного процесса окисления. В статье приводится градация окисления поверхностей тонколистовой стали марки 08кп при разных температурно-временных параметрах одного цикла «нагрев–охлаждение». Для регулирования режимов обработки и регистрации тепловых эффектов применялся прибор дифференциально-термического анализа. Показано, что воздействие повышенных температур на сталь в среде воздуха при атмосферном давлении запускает интенсивный рост окалины, которая отслаивается от металлической основы и разрушается. После удаления окалины на поверхности стали, кроме синей побежалости, в отдельных случаях обнаружены плёнки красного оттенка. На основе данных дифференциально-термического анализа предпринята попытка разделения и интерпретации превращений, относящихся непосредственно к стали и к реакциям в окалине, связанным с оксидами железа.

**Ключевые слова:** высокотемпературная коррозия, окисление, окалина, тонколистовая сталь, прокатная сталь, 08кп

**Введение.** Высокотемпературная коррозия возникает в процессе гетерогенных химических реакций на поверхности металла как следствие совместного воздействия высоких температур и агрессивных газов [1, 2]. Аналогичный смысл имеет термин газовая коррозия в ГОСТ 5272–68 «Коррозия металлов. Термины». В отличие от низкотемпературной, высокотемпературная

The study of the nature of high-temperature corrosion of metals is one of the tasks in substantiating the relevance of the use of corrosion-resistant, heat-resistant coatings and barrier layers obtained on the basis of the natural oxidation process. The article presents the gradation of oxidation of surfaces of 08kp thin-sheet steel at different temperature-time parameters of one cycle “heating-cooling”. To regulate the processing modes and register thermal effects, a differential thermal analysis device was used. It is shown that the effect of elevated temperatures on steel in air at atmospheric pressure triggers an intensive growth of scale, which peels off from the metal base and breaks down. After descaling on the steel surface, in addition to blue tarnishing, in some cases, films of a red tint were found. Based on the data of differential thermal analysis, an attempt was made to separate and interpret transformations related directly to steel and to reactions in scale associated with iron oxides.

**Keywords:** high-temperature corrosion, oxidation, scale, sheet steel, rolled steel, 08KP

коррозия сталей в атмосфере воздуха характеризуется интенсивным образованием окалины и сильной деградацией механических свойств [3]. Различные марки сталей имеют температурный порог начала коррозионного разрушения в разных интервалах в зависимости от ориентации составов и механических свойств на параметры производственных процессов.

Автор работы [4] относит высокотемпературную коррозию сталей при атмосферном давлении к температурам, превышающим 400 °С. В источнике [5] утверждается, что большинство реакций данного вида коррозии происходит выше 500 °С, однако сильные коррозионные повреждения могут происходить и ниже этой температуры.

Тонколистовая сталь марки 08кп обладает высокой пластичностью [6], не относится к жаростойким сплавам, при воздействии температур выше 400 °С подвержена деградации прочностных характеристик и сильному окислению кислородом воздуха. Следовательно, термическая обработка холоднокатаного тонколистового проката должна происходить в защитных газах, за исключением преследования специфических целей. Например, создание особых свойств поверхности синтезом естественных оксидных покрытий. Получение таких покрытий зависит от способности образовывать плотные оксидные плёнки [7], которые обычно защищают металл или сплав от дальнейшего окисления. Соответственно обоснование адаптации стали к агрессивным средам и впоследствии повышение качества жаростойкости или коррозионной стойкости поверхности требует знания о температурных повреждениях в естественном состоянии без покрытий.

Целью работы является исследование градации окисления поверхности тонколистового проката 08кп при разных температурно-временных параметрах одного цикла «нагрев–охлаждение».

**Материалы и методы исследования.** Образцы размерами 4(±0,1)×5(±0,1) мм и массой 72–76 мг изготавливались нарезкой листового проката толщиной 0,5 мм. Поверхности не обрабатывались абразивами и химическими средствами травления. Состав стали определён оптико-эмиссионным спектрометром ДФС–500. Результаты сведены в таблицу. Значения средних концентраций элементов совпали с требованиями по химическому составу ГОСТ 1050–2013 «Металлопродукция из нелегированных конструкционных качественных и специальных сталей. Общие технические условия», ГОСТ 9045–93 «Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические

условия» для качественной нелегированной стали марки 08кп.

Эксперимент проводился в среде воздуха на откалиброванной по металлическому ряду веществ установке дифференциально-термического анализа ДТА–1000 конструкции д.х.н. А.С. Трунина, инж. А.В. Мешалкина [8, 9], согласно режимам на рис. 1–3 в двух диапазонах температур 500–850 и 100–600 °С.

В первом случае (рис. 1, 2) проба помещалась в камеру прибора на один из платино-платинородиевых термодатчиков, нагревалась от комнатной до заданной максимальной температуры в диапазоне 500–850 °С с шагом 50 °С, затем охлаждалась в измерительной ячейке без регулирования скорости. Скорости охлаждения программа записывает в области отрицательных значений (рис. 2, б). Кривые ДТА сняты только при охлаждении образцов, так как необходимо показать тепловые эффекты с окисленной поверхности.

Во втором случае (рис. 3) образец закладывали в предварительно нагретую камеру также на одну из термопар, выдерживая в течение 1 мин. По истечении времени образец извлекался для охлаждения на воздухе. Полученная при нагревании кривая иллюстрирует зависимость разницы термоэлектродвижущей силы (ТЭДС) от времени между точкой контакта поверхности образца с первой термопарой и точкой поверхности прибора в месте расположения второй термопары. Геометрически график имеет вид импульса, который описывается функцией по типу распределения Вейбулла.

**Результаты дифференциально-термического анализа.** Результаты ДТА тонколистовой стали 08кп приведены на рис. 4. По кривым ДТА видно, что все зарегистрированные тепловые эффекты в процессе охлаждения протекают с выделением теплоты. Некоторые кривые характеризуются отсутствием фазовых переходов (500, 550, 600 °С) и потерей данных в начальный период быстрого охлаждения, когда график резко устремляется вниз. В таком случае наблюдаются относительно плавные линии с небольшими отклонениями от базовой траектории. Наиболее выраженные профили пиков относительно фона выделены в рамки под номерами 1–6 и перенесены на рис. 5 в детальном виде.

Определяя принадлежность фазовых переходов к той или иной реакции, следует учи-

Результаты анализа концентрации химических элементов стали

Средняя концентрация химических элементов в стали, вес. %															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Fe	Mn	C	Cu	Cr	Al	Ni	Si	P	As	Mo	Co	S	V	Ti	W
99,411	0,310	0,078	0,042	0,039	0,038	0,026	0,012	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006	0,003	0,001	0,001

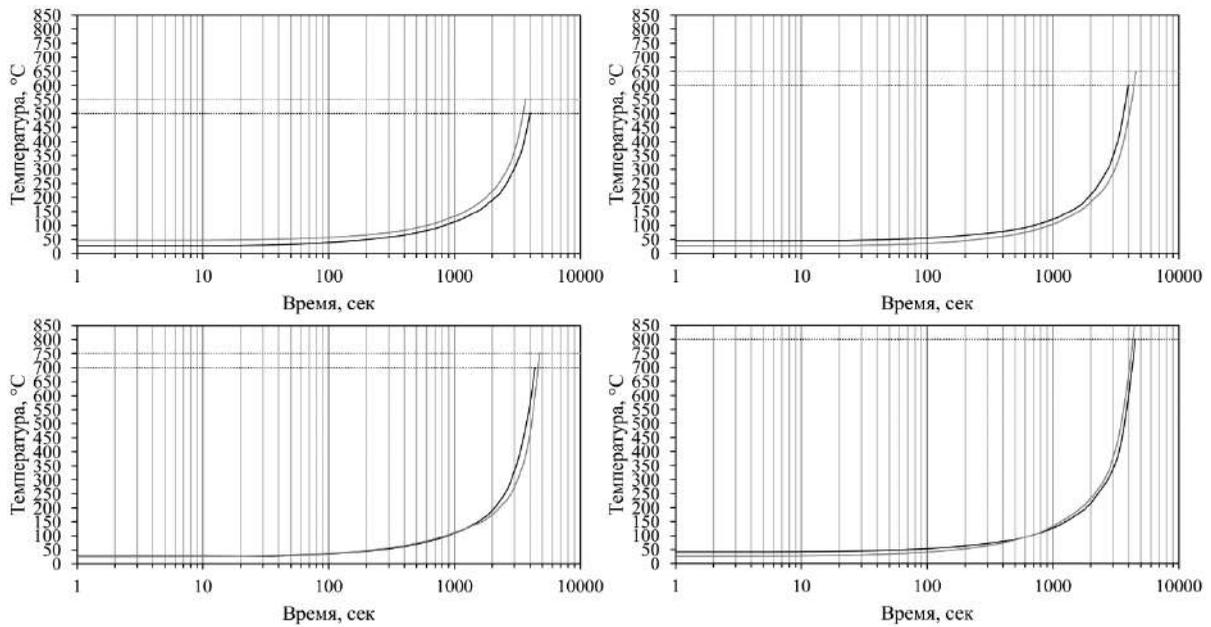


Рис. 1. Температурно-временные параметры нагрева образцов

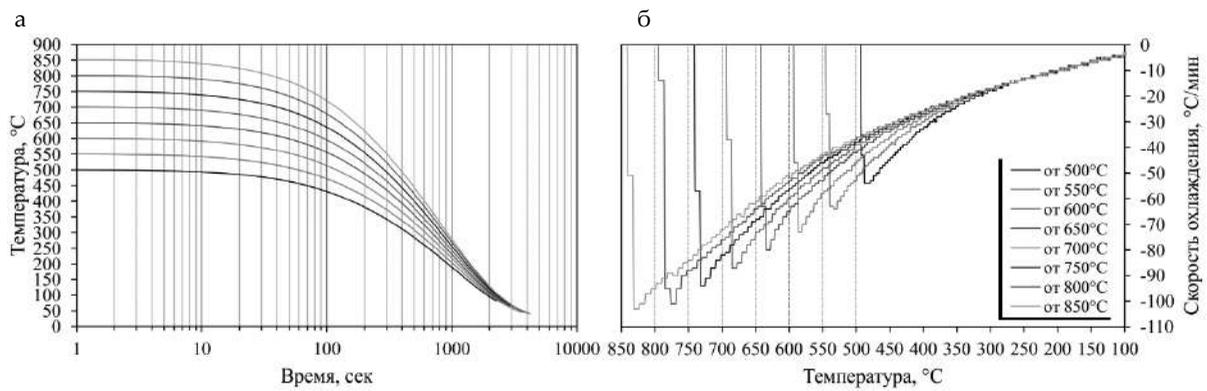


Рис. 2. Температурно-временные параметры охлаждения (а) и графики скоростей охлаждения образцов (б)

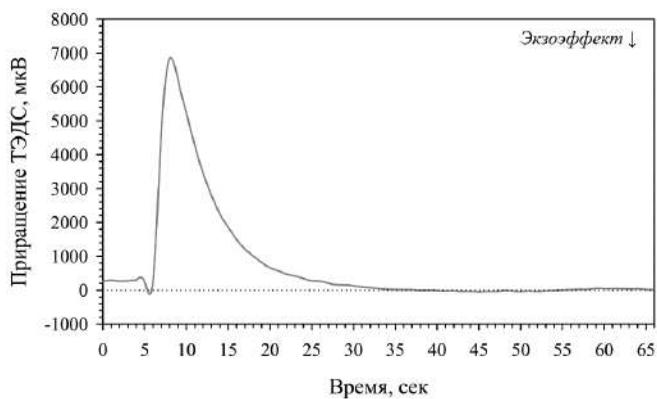


Рис. 3. Пример типового импульса приращения ТЭДС в момент термостатической обработки образца стали 08кп толщиной 0,5 мм при 100 °С

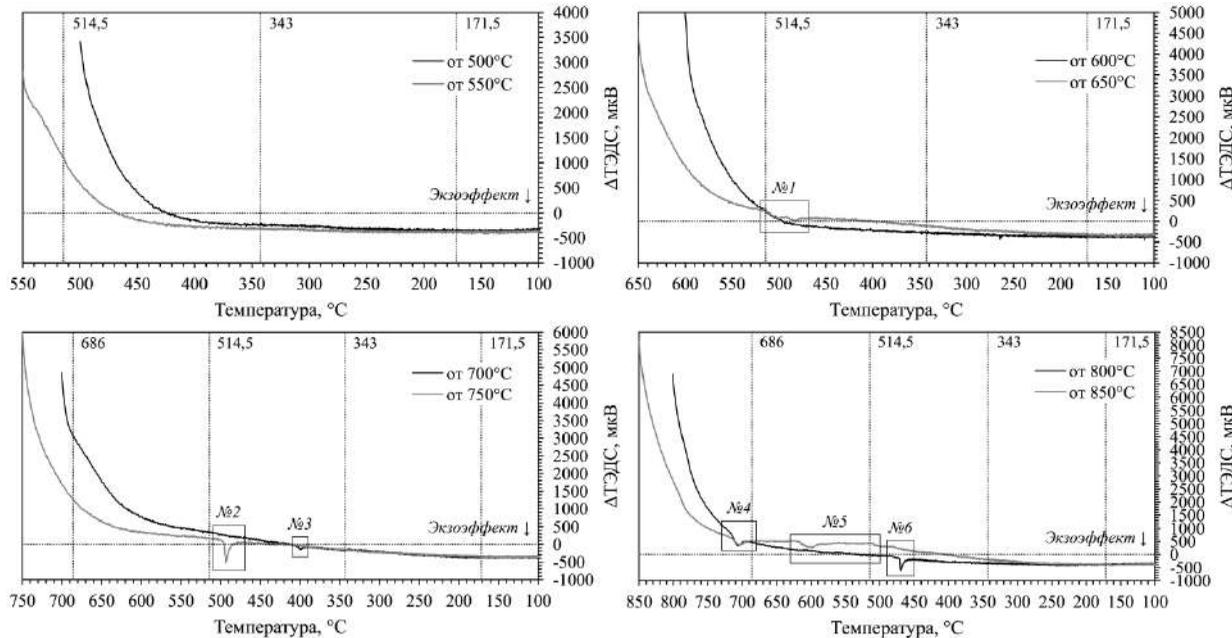


Рис. 4. Кривые ДТА, снятые при охлаждении образцов стали 08кп

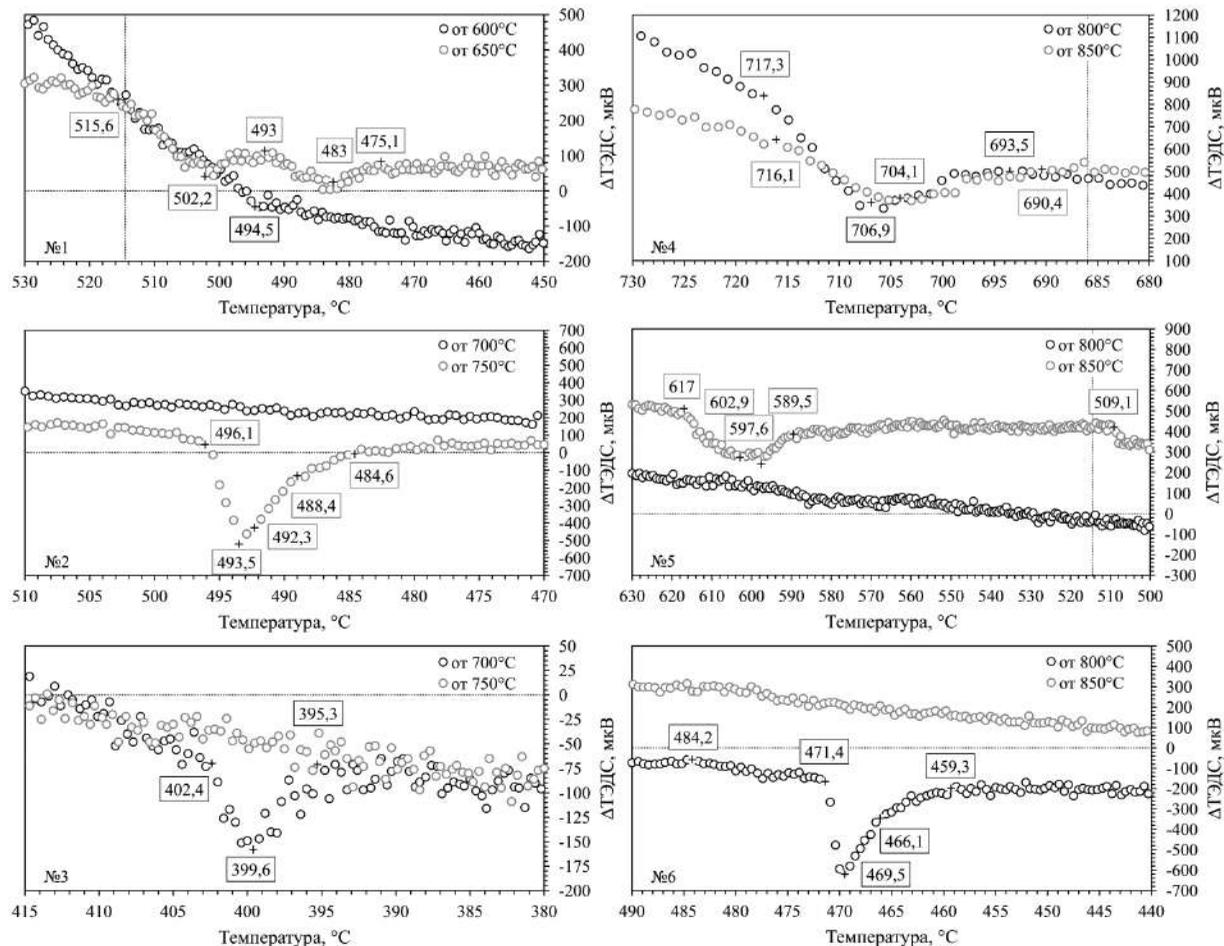


Рис. 5. Детализация областей фазовых переходов в разном масштабе по рис. 4

тывать факт, что при нагреве и охлаждении образцов появление тепловых эффектов зависит не только от кристаллографической перероентации или диссоциации образовавшихся на поверхности оксидов, но и от фазовых переходов в структуре стали. Соответственно учитывались критические температуры [10], фазовая диаграмма Fe–C [11] и термокинетическая диаграмма (ТКД) [12]. Для марки 08кп при охлаждении значения критических температур следующие [10]:  $Ar_3 = 854\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $Ar_1 = 680\text{ }^\circ\text{C}$ . По диаграмме Fe–C изотермический распад аустенита происходит ниже  $727\text{ }^\circ\text{C}$ . Совмещение кривой охлаждения от  $850\text{ }^\circ\text{C}$  (см. рис. 2, а) и ТКД обозначило область распада аустенита в приблизительном интервале  $700\text{--}660\text{ }^\circ\text{C}$  [12]. Эффекту предшествует температурная область выделения структурно-свободного цемента [12]. Фазовые переходы на рис. 5, № 4 соответствуют изотермическим реакциям распада аустенита на феррит и вторичный цементит. Процессы идут с выделением теплоты в примерно одинаковых интервалах  $717,3\text{--}693,5$  и  $716,1\text{--}690,4\text{ }^\circ\text{C}$ . Небольшой сдвиг температур является реакцией на более быструю скорость охлаждения (см. рис. 2, б).

Остальные пики (рис. 5, № 1–3, 5, 6), напротив, значительно смещаются по оси температур. Эти реакции, безусловно, связаны с превращениями продуктов окисления стали.

Химический состав стальной окалины может значительно варьироваться в отличие от соединений, образующихся на поверхности чистого железа в воздухе, и содержать не только оксиды основного металла, но и сложные углеродные соединения, оксикарбиды железа, оксиды легирующих элементов, природных примесей, следы раскислителей. Поэтому достаточно затруднительно без привлечения дополнительных методов соотнести фазовые превращения с реагирующими веществами. Трудности расшифровки возникают дополнительно из-за отсутствия данных о локализации сигнала, поступающего на термопару, а именно в разделении отклика от поверхности первичной окалины и эффектов последующего окисления поверхности стали под отслоившейся окалиной.

Однако предполагается, что упомянутые реакции всё же связаны с окислением поверхности магнетита  $Fe_3O_4$  до плёнки  $Fe_2O_3$ . Маленький экзотермический эффект на рис. 5, № 3 относится к высвобождению энергии рекристаллизации слоя или частиц  $Fe_3O_4$ . Окисление  $Fe_3O_4$  может происходить непосредственно с образованием плёнки  $\alpha\text{-}Fe_2O_3$  за один экзотермический эффект, либо с промежуточным превращением «маггемит–гематит»  $\gamma \rightarrow \alpha\text{-}Fe_2O_3$  с двумя пиками на кривой, как на рис. 5, № 1,

т. е. первый эффект – окислирование  $Fe_3O_4$  до образования  $\gamma\text{-}Fe_2O_3$ , второй – смена модификации на  $\alpha\text{-}Fe_2O_3$ . Не стоит пренебрегать вероятностью слияния в одном диапазоне температур двух превращений. К такому выводу можно прийти, анализируя геометрию правых фронтов пиков на рис. 5, № 2, 6. Существует вероятность, что обнаруженные эффекты относятся только к смене  $\gamma \rightarrow \alpha$  модификации оксида  $Fe_2O_3$ , которые имеют широкий температурный интервал смещения и сопровождаются выделением теплоты. Отклонение линии ЭДС при охлаждении в интервале  $617\text{--}589,5\text{ }^\circ\text{C}$  (рис. 5, № 5) ассоциируется с окислением верхнего слоя  $Fe_3O_4$ , образовавшегося на поверхности стали под пузырьём, до одной из модификаций  $Fe_2O_3$ , так как состав оболочки пузыря в указанном диапазоне в основном состоит из ещё не распавшегося вюстита  $Fe_{1-x}O$ , очень тонких слоёв  $Fe_3O_4$  и  $Fe_2O_3$ .

**Результаты окисления поверхностей образцов.** Съёмка кривых ДТА по режимам на рис. 1, 2 в среде лабораторного воздуха сопровождается ростом толстой оксидной плёнки, которая отслаивается от металлической основы в местах слабого сцепления. Образовавшиеся полости могут занимать значительную часть поверхности, искажая процесс окисления стали под слоем окалины (рис. 6,  $700\text{--}850\text{ }^\circ\text{C}$ ). Градация окисления поверхностей (рис. 6) показывает, что сталь, нагретая ниже температуры Шодрона до  $500, 550\text{ }^\circ\text{C}$ , покрыта пятнами серой окалины. Проба с маркировкой предельной температуры  $600\text{ }^\circ\text{C}$  окислена сильнее, небольшие обособленные участки окалины становятся достаточно толстыми и хрупкими, чтобы отколоться под действием внутренних напряжений. Участки в месте отвалившейся окалины имеют оттенки синей побежалости, как и на образцах с маркировкой  $650, 750, 800\text{ }^\circ\text{C}$ . На поверхности стали с температурами нагрева  $650, 700\text{ }^\circ\text{C}$  при охлаждении выделяется чёрный оксид железа – магнетит  $Fe_3O_4$ . В последнем случае (рис. 6,  $700\text{ }^\circ\text{C}$ ) продукт коррозии занимает практически всю площадь поверхности между пузырями. В соответствии с диаграммой Fe–O по Кубшевскому [15] и с диаграммой Шодрона основная фаза стальной окалины – вюстит  $Fe_{1-x}O$  [13], образующаяся при высокотемпературном нагреве в атмосфере воздуха, становится термодинамически неустойчива ниже  $570\text{--}560\text{ }^\circ\text{C}$  и распадается при охлаждении с выделением магнетита  $Fe_3O_4$  и обеднённого раствора кислорода в  $\alpha\text{Fe}$ .

В диапазоне  $750\text{--}850\text{ }^\circ\text{C}$  толстая оксидная корка полностью отслаивается от металлической основы в плоскости горизонтальной поверхно-

сти, но частично сохраняет сцепление по боковым граням. Такие нарушения непрерывности на границе раздела «металл–оксид» блокируют диффузионные потоки ионов и останавливают рост слоя окиси железа  $Fe_{1-x}O$ , одновременно ускоряя сборку плёнок магнетита  $Fe_3O_4$  и гематита  $Fe_2O_3$  [14]. По мере увеличения площади отслаивания и роста пузыря, внутренние напряжения в окалине превышают прочность. Впоследствии оболочка пузыря разрушается, и на открывшейся поверхности металла инициируются реакции атомной хемосорбции кислорода воздуха и молекулярной сорбции с выделением теплоты. Поверхности стальных образцов под окалиной окисляются по-разному в корреляции с объёмом поступающих реагентов в полости, ограниченные сверху оксидной оболоч-

кой, а снизу стальной подложкой. Как видно по рис. 6, одна сторона стали ( $750\text{ }^\circ\text{C}$ ) частично покрыта серой окалиной, синей побежалостью и чешуйками красного оттенка, в отдельных случаях это светопрозрачные тонкие плёнки. Другая сторона ( $750\text{ }^\circ\text{C}$ ) имеет «однородный» продукт окисления только в виде оксидной плёнки синей побежалости, прочно сцепляющейся с металлом. Характер деформации красных плёнок после отслаивания и растрескивания похож на типичные дефекты лакокрасочного покрытия. Некоторые чешуйки завиваются, подобно стружке, что свидетельствует о наличии остаточных напряжений.

Результаты изотермической обработки стальных образцов в среде воздуха сведены в спектр цветов побежалости на рис. 7. Цвето-

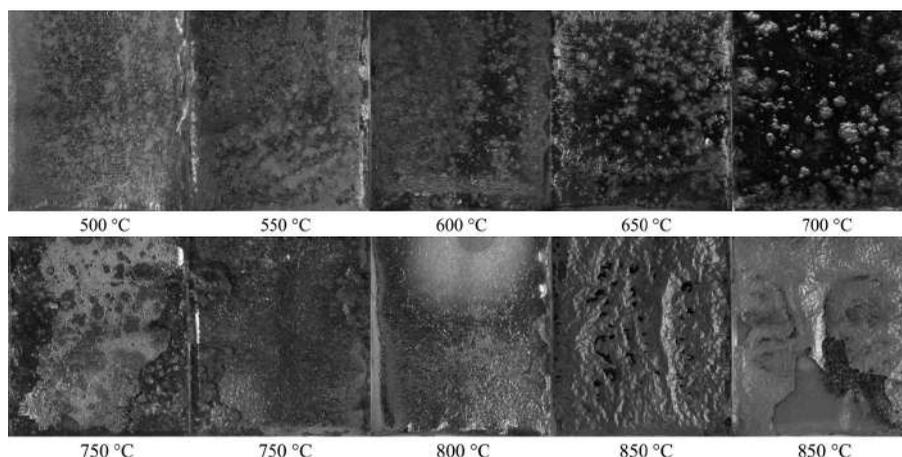


Рис. 6. Продукты газовой коррозии на поверхности стали 08кп при разных температурно-временных циклах «нагрев–охлаждение» в воздушной среде

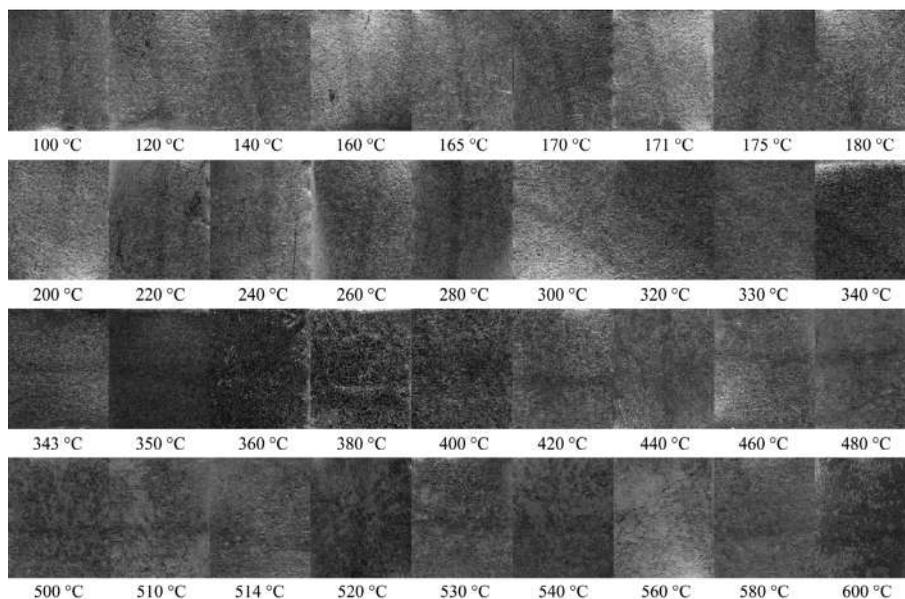


Рис. 7. Состояние поверхности стали 08кп при разных температурах изотермической выдержки в течение 60 секунд

вая гамма смещается в сторону более высоких температур, в отличие от общепринятых для углеродистых сталей. Начало появления пятен окалины серого оттенка соответствует температурам 440, 460 °С. При длительном изотермическом воздействии серый оттенок окалины сместится к более низким значениям температур.

**Выводы.** 1. Окисление, как одна из основных реакций высокотемпературной коррозии тонколистовой стали 08кп в атмосфере воздуха, сопровождается активным ростом окалины. При этом для появления пятен окалины достаточно кратковременной изотермической обработки образцов массой 72–76 мг в течение 60 секунд при температурах 440, 460 °С.

2. В результате длительного нагрева исследуемой стали до 750, 800, 850 °С и охлаждения совместно с прибором ДТА до комнатной температуры, окалина практически полностью отслаивается от металлического основания и процесс окисления продолжается в полости пузыря. После удаления оксидной оболочки на поверхности могут быть обнаружены плёнки красного оттенка. Предполагается, что это одна из модификаций Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Такие результаты являются трудновоспроизводимыми и зависят от подготовки поверхности и газопроницаемости отделившейся окалины.

3. Тепловые эффекты на кривых ДТА, снятые при охлаждении серии образцов в атмосфере воздуха, в данном случае относятся к экзотермическим реакциям. В первую очередь к перлитному превращению (аустенит–перлит) в металлической подложке, которое минимально смещается относительно оси температур при охлаждении от 800, 850 °С. Во-вторых, к реакциям, связанным с окислами железа, пики которых регистрируются со значительным смещением либо вовсе не проявляются на кривых ДТА. Несомненно, что в представленных диапазонах охлаждения стали 08кп должны присутствовать и превращения в окалине с поглощением теплоты, однако в эксперименте на примере данной серии образцов их не обнаружено.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Handbook of environmental degradation of materials / Edited by Kutz M. NY: William Andrew Inc., 2005. 152 p.
2. Handbook of environmental degradation of materials. Third edition / Edited by Kutz M. NY: William Andrew Inc., 2018. 29 p.
3. Cesar A. C. Sequeira High Temperature Corrosion: Fundamentals and Engineering / Edited by R. Winston Revie. Hoboken, NJ: Wiley, 2018. P. 1–3.
4. Omar J. Yepez On the Mechanism of High Temperature Corrosion [Электронный ресурс]. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/329488067\\_On\\_the\\_Mechanism\\_of\\_High\\_Temperature\\_Corrosion](https://www.researchgate.net/publication/329488067_On_the_Mechanism_of_High_Temperature_Corrosion) (дата обращения: 16.12.2020).

5. Lai G. Y. High-temperature corrosion and materials applications. Ohio: ASM International, 2007. P. 1–2. DOI: [dx.doi.org/10.1361/hcma2007p001](https://doi.org/10.1361/hcma2007p001).

6. Коновалов Р. П. Слиток кипящей стали. М.: Металлургия, 1986. 80 с.

7. Кофстад П. Высокотемпературное окисление металлов / пер. с англ. Г. С. Петелиной, С. И. Троянова; под ред. О. П. Колчина. М.: Мир, 1969. 275 с.

8. Мобильная малогабаритная установка дифференциального термического анализа с интерактивным управлением через ПК / А.С. Трунин, О.Е. Моргунова, Е.А. Катасонова, О.А. Грибенников, С.Е. Ломаева // Материалы IV Всероссийской с международным участием научной Бергмановской конференции «Физико-химический анализ: состояние, проблемы, перспективы развития». Махачкала, 13–14 апреля 2012 года. С. 76–79.

9. Мешалкин А.В., Трунин А.С. Методическое руководство по эксплуатации установки дифференциально-термического анализа ДТА–500. Самара: Самарский государственный политехнический университет, 2010. 32 с.

10. Марочник сталей и сплавов / М. М. Колосков, Е. Т. Долбенко, Ю. В. Каширский и др.; под ред. А. С. Зубченко. М.: Машиностроение, 2001. 72 с.

11. Ortrud Kubaschewski-von Goldbeck IRON – Binary Phase Diagrams. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1982. 100 p.

12. Дифференциально-термический анализ и технологии термической обработки: монография / О.П. Клименко, А.И. Карнаух, О.И. Буря, В.И. Ситар. Днепропетровск: «Пороги», 2008. 252 с.

13. Перспективы использования экологически чистого способа подготовки поверхности бунтового проката к волочению / Э.В. Парусов, А.Б. Сычков, С.И. Губенко, И.Н. Чуйко // Проблемы трибологии. 2016. № 2 (80). С. 74–82.

14. Бенар Ж. Окисление металлов: монография. Т. 2 / пер. с фр. М.: Металлургия, 1969. 80 с.

15. Ortrud Kubaschewski-von Goldbeck IRON – Binary Phase Diagrams. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1982. 100 p.

## REFERENCES

1. Handbook of environmental degradation of materials / Edited by Kutz M. NY: William Andrew Inc., 2005. 152 p.
2. Handbook of environmental degradation of materials. Third edition / Edited by Kutz M. NY: William Andrew Inc., 2018. 29 p.
3. Cesar A. C. Sequeira High Temperature Corrosion: Fundamentals and Engineering / Edited by R. Winston Revie. Hoboken, NJ: Wiley, 2018. pp. 1–3.
4. Omar J. Yepez On the Mechanism of High Temperature Corrosion. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/329488067\\_On\\_the\\_Mechanism\\_of\\_High\\_Temperature\\_Corrosion](https://www.researchgate.net/publication/329488067_On_the_Mechanism_of_High_Temperature_Corrosion) (Accessed 16 December 2020).

5. Lai G. Y. High-temperature corrosion and materials applications. Ohio: ASM International, 2007, pp. 1–2. DOI: dx.doi.org/10.1361/hcma2007p001.
6. Konovalov R.P. *Slitok kipyashhej stali* [Boiling Steel Ingot]. Moscow: Metallurgy, 1986, 80 p. (in Russian)
7. Per Kofstad High-temperature oxidation of metals. New York–London–Sydney: John Wiley & Sons. Inc., 1966. 275 p.
8. Trunin A.S. Mobile compact unit for differential thermal analysis with interactive control via a PC. *Materialy IV Vserossijskoj s mezhdunarodnym uchastiem nauchnoj Bergmanovskoj konferencii «Fiziko-himicheskij analiz: sostoyanie, problemy, perspektivy razvoitiya»* [Materials of the 4th All-Russian scientific Bergman conference with international participation “Physical and chemical analysis: state, problems, development prospects”] 13–14 Apr. 2012. Makhachkala, 2012, pp. 76–79. (in Russian)
9. Meshalkin A.V., Trunin A.S. *Metodicheskoe rukovodstvo po e'kspluataczii ustanovki differenczial'no-termicheskogo analiza DTA–500* [Methodical manual for the operation of the DTA–500 differential thermal analysis unit.]. Samara: Samara State Technical University, 2010. 32 p.
10. Koloskov M.M., Dolbenko E.T., Kashirskij YU.V., and others. *Marochnik stalej i splavov* [Grade list of steels and alloys]. Moscow: Mashinostroenie [Mechanical engineering], 2001. 72 p.
11. Ortrud Kubaschewski-von Goldbeck IRON – Binary Phase Diagrams. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1982, 100 p.
12. Klimenko O.P., Karnaukh A.I., Tempest O.I., and others. *Differencijal'no-termicheskij analiz i tekhnologii termicheskij obrabotki: monografiya* [Differential thermal analysis and heat treatment technologies: monograph]. Dnepropetrovsk: «Porogi», 2008. 252 p.
13. Parusov E.V., Sychkov A.B., Gubenko S.I. and others. Prospects for the use of an environmentally friendly method for preparing the surface of coiled steel for drawing. *Problemi tribologii* [Tribology problems], 2016, no. 2(80), pp. 74–82. (In Russian)
14. Benard J, Oxidation of metals: monograph. Vol.2. Paris: Gauthier-Villars Editeur, Qual des Grands-Augustins, 1964, 80 p.
15. Ortrud Kubaschewski-von Goldbeck IRON – Binary Phase Diagrams. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1982, 100 p.

Об авторе:

**БОЧАРОВ Николай Михайлович**

соискатель кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: bocharov\_nikolya@mail.ru

**BOCHAROV Nikolay M.**

Postgraduate Student of the Production of Building Materials and Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: bocharov\_nikolya@mail.ru

Для цитирования: Бочаров Н.М. Высокотемпературная коррозия тонколистовой стали 08кп в среде воздуха // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 48–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.08.

For citation: Bocharov N.M. High Temperature Corrosion of Thin Sheet Steel 08KP in Air. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 48–55. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.08.

**М. А. КРАШЕНИННИКОВ****ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОКСИДОВ КАЛЬЦИЯ  
В ЛЕГКОПЛАВКОМ СЫРЬЕ НА СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКОГО ИЗДЕЛИЯ****STUDY OF THE INFLUENCE OF CALCIUM OXIDES IN LIGHT-FUSION RAW  
MATERIALS ON THE PROPERTIES OF A CERAMIC PRODUCT**

Одна из главных проблем современной строительной керамики на основе легкоплавкого сырья – повышенное содержание оксида кальция (CaO) в шихте. Такое отклонение от нормативных значений технологических параметров производства приводит к дефектам – недожог/пережог, дутики, рыхлость, низкая прочность. Режим обжига, параметры формования, внесение добавок, подготовка сырья – факторы решения данной проблемы. Исследованы алексеевская легкоплавкая глина и ярмышский (Узбекистан) лёссовидный суглинок, графически смоделировано разрушение структуры образца при впитывании влаги из воздуха CaO, построены диаграммы зависимости температуры обжига на прочность при сжатии, выведено влияние формования и тонкости помола сырья на прочность при сжатии и характер образования дефектов керамики.

**Ключевые слова:** оксид кальция (CaO), легкоплавкое сырьё, керамический кирпич, лёссовидный суглинок, изотермическое дискретное сканирование, дутики, дефекты кирпича

**Введение.** В условиях современного рынка становятся востребованными и постепенно развиваются крупногабаритные стеновые блоки и облицовочные штучные керамические изделия. Для облегчения и удешевления конструкций, а также повышения теплозащитных характеристик, изделия производят пористыми или с техническими отверстиями. Для керамических стеновых блоков и поризованных облицовочных кирпичей более всего используется смесь легкоплавких глин с тугоплавкими и огнеупорными глинами, с добавлением модифицированных техногенных отходов и кремнезёмистых добавок. Важные аспекты – эксплуатация без отказа и срок службы – зависят от множества факторов, куда входят состав и режим обжига. Известно, что высокое содержание оксида кальция (CaO) может вызывать ряд дефектов в изделиях, например дутики (включения оксида кальция в керамике). Современные производители строительной керамики из легкоплавкого сырья, такие как АО «Самарский комбинат керамических материалов», сталкиваются с проблемой содержания каль-

One of the main problems of modern building ceramics based on low-melting raw materials is the increased CaO content in the charge. This deviation from the normative values of the technological parameters of production leads to defects - underburning / overburning, quirks, looseness, low strength. Firing mode, molding parameters, addition of additives, preparation of raw materials are the factors for solving this problem. The Alekseevsk low-melting clay and the Yarmysh (Uzbekistan) loess-like loam were investigated, the destruction of the sample structure upon absorption of moisture from the CaO air was graphically modeled, the diagrams of the dependence of the firing temperature on the compressive strength were plotted, the influence of molding and the fineness of grinding of raw materials on the compressive strength and the nature of the formation of ceramic defects was derived.

**Keywords:** CaO, low-melting raw materials, ceramic bricks, loess-like loam, isothermal discrete scanning, durtik, brick defects

ция в сырье выше значений, необходимых для получения однородных изделий на имеющемся оборудовании. Узкий интервал спекания даёт пережог изделий с остекловыванием изделий внутри печи по краям кладки, а по центру недожог с рыхлой структурой. Крупные, но непрореагировавшие частицы кальция в любом из случаев могут привести к образованию дутика.

**Актуальность.** CaO в легкоплавком сырье переходит в алюминаты и силикаты кальция [1, 2] и прочие соединения в узком интервале температур, крупные его частицы не полностью реагируют с другими глинистыми оксидами. Для разрешения данной проблемы различными исследователями применялись методы тонкого помола сырья, введение шамота тонкого помола [3], алюминийсодержащие добавки, повышение температуры обжига до 1300 °С. Изменение режима формования оказывает влияние на рост прочности и режим обжига, что будет исследоваться в данной работе. В работе использовано два типа сырья – характерная для Самарской области легкоплавкая глина (Алексеевского месторождения) с содержанием CaO

10–20 % и ярмышский (Узбекистан) лёссовидный суглинок с содержанием СаО 16,5 %. Влияние СаО на характеристики изделий, такие как прочность при сжатии, прочность на изгиб, водопоглощение, морозостойкость и другие, требует уточнений и может быть исследовано с помощью изотермического дискретного сканирования (далее – ИДС).

**Теоретическая часть.** При обжиге СаО взаимодействует с  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , образуя силикаты и алюминаты кальция, для легкоплавкого сырья в диапазоне 1000–1100 °С. Однако образование первичной стекловидной фазы начинается при 870 °С, первый экзотермический эффект, связанный с образованием муллита, – при 1050 °С, второй – начиная с 1150 °С. Температура обжига, время выдержки, плотность упаковки частиц после формования, размер частиц и их конфигурация будут определяющими факторами включения СаО в реакцию спекания. Непрореагировавший СаО поглощает влагу из воздуха, расширяется в объёме и тем самым разрушает керамическое тело. Крупные включения СаО реагируют не по всему объёму зерна, а только на поверхности, в результате образуется дутик. Более мелкие частицы СаО при недожоге не превращаются в более устойчивые

к влаге соединения и потому разрушают керамическое тело локально, раздвигая более крупные частицы, разрывая механическую связь между ними, в результате создаётся эффект рыхлости. СаО в шихте уменьшает интервал спекания и после интервала спекания помогает образовать большое количество расплава, что способствует остекловыванию образца.

**Задачи исследования.** 1. Определить влияние количества СаО на прочность при сжатии образцов из легкоплавкого сырья. 2. Определить влияние факторов формования и помола на прочность при сжатии. 3. Смоделировать разрушение керамической структуры под воздействием СаО.

**Практическая значимость.** Определение параметров обжига, количества добавок и регулирование прочих факторов могут помочь с проблемой кальция в легкоплавком глинистом сырье.

**Результаты экспериментальных исследований.** Были сформованы при давлении 90 и 40 МПа цилиндрические образцы диаметром 8 мм из алексеевской легкоплавкой глины и ярмышского лёссовидного суглинка (табл. 1, 2), затем обожжены при температуре 1000–1100 и 870–1150 °С соответственно.

Таблица 1

Химический состав лёссового суглинка месторождения Ярмыш, Узбекистан

% содержания в смеси										
$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	СаО	MgO	$\text{SO}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	п.п.п.	$\Sigma$
52,75	11,92	0,56	3,91	16,52	2,70	0,49	2,33	1,43	7,38	100,00

Таблица 2

Химический состав типичной легкоплавкой глины Самарской области

% содержания в смеси									
$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	СаО	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	$\Sigma$
55-65	9-13	3-7	0,4-0,7	6-12	2-3	1-2	1-2	0,1-0,7	100

После изотермического обжига образцы были испытаны на прочность при сжатии. При длительном хранении образцов из лёссовидного суглинка было отмечено, что сразу после остывания керамическое тело образца плотное, твёрдое. Спустя около десяти суток образец становится рыхлым, рассыпчатым и уже не подлежит испытаниям на прочность. Данная особенность была характерна для образцов, обожжённых при 870–1100 °С. Отмечено, что при температуре около 1100 °С образцы более длительное время сохраняли свои характеристики (рис. 1).

На рис. 1 представлена фотография перемолотого образца из лёссовидного суглинка, на которой хорошо различаются зёрна кварца –

полупрозрачные, чаще крупные, и частицы оксида кальция – белые, непрозрачные. Крупные частицы покрыты смесью прочих оксидов –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и плавней.

Образцы, обожжённые при 1150 °С, сохраняли свои характеристики полностью, но остекловывались (рис. 2).

На рис. 2 показана фотография поверхности образца из лёссовидного суглинка, обожжённого при 1150 °С, где хорошо видна стекловидная структура, характерная как для поверхности образца, так и для внутреннего объёма. Данный эффект связан с резким переходом кальция при спекании легкоплавкой смеси выше 1100 °С в расплав. Влияние СаО существенно уменьшает интервал спекания

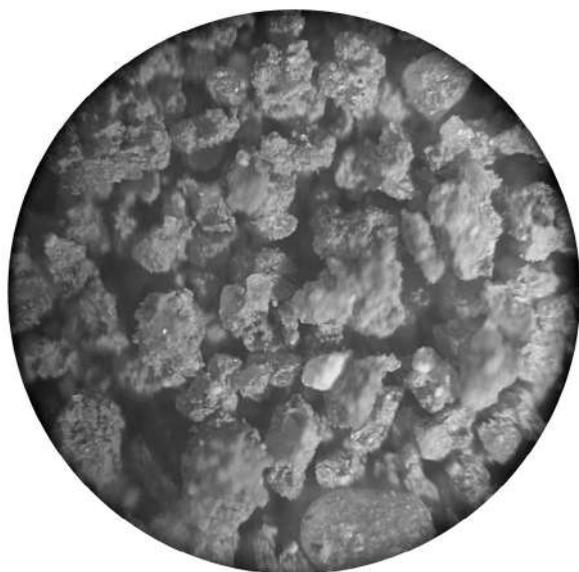


Рис. 1. Фотография порошка из лёссовидного суглинка, обожжённого при 950 °С, сделанная с помощью микроскопа с 8-кратным увеличением

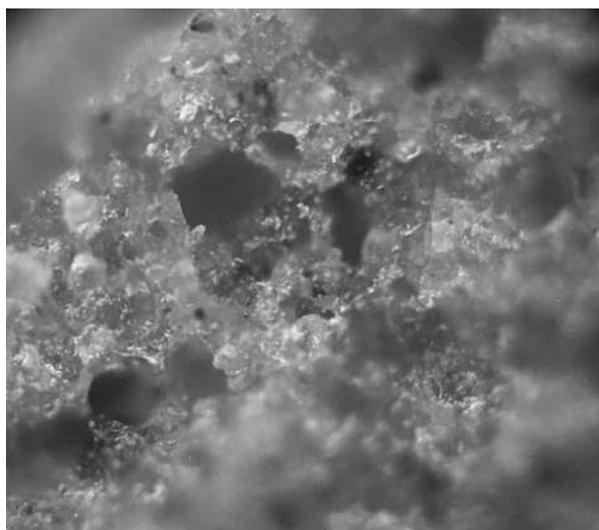


Рис. 2. Фотография образца из лёссовидного суглинка, обожжённого при 1150 °С, сделанная с помощью микроскопа с 10-кратным увеличением

сырья, что характеризует резкий переход состояний при температуре от 1100 до 1150 °С. Оплавление и деформация изделия, связанные с образованием большого количества расплава при обжиге выше 1100 °С для легкоплавких шихт с содержанием кальция от 8 %, были отмечены и авторами работ [4, 5]. При обжиге ниже 1100 °С СаО почти не реагирует с другими частицами, что видно на фотографии. На это влияет доля плавней в шихте [6] и тонкость помола самого СаО [7]. Следует отметить, что

для образцов, спечённых при 1100 °С и менее, СаО, впитывая влагу из воздуха и увеличиваясь в объёме, разрушал связи между соседними зёрнами. При этом образцы из перемолотого сырья с просевом через сито 0,063 показывали более равномерное разрушение образца. После просева было определено, что частицы кальция заметно меньше частиц кварца, хотя перед просевом были сопоставимы по размерам. Это объясняется тем, что частицы кварца, являясь более твёрдыми, дополнительно растирают более мягкие частицы. Поэтому частицы монооксида кальция распределены по всему образцу и его разрушение будет характеризоваться всем его объёмом, что показано на модели (рис. 3).

На рис. 3 показано, как увеличивающиеся в объёме частицы разрушают образец, так как создавшиеся мостики связей являются непрочными и неэластичными, хрупкими, представлены плавнями и тонкодисперсным  $Al_2O_3$  и, что хорошо видно на рис. 3 справа, разрываются, покрывая тонким слоем частицы кварца.

Только тонкий помол и гомогенизация не решают полностью проблему производства высокомарочного кирпича из лёссовидного суглинка. Распределённый по всему объёму СаО уже не приводит к дутикам, лучше реагирует с другими оксидами за счёт повышения удельной площади поверхности частиц. Для его вовлечения требуется более плотная упаковка и управление режимом обжига. Для этого проведено формование при 40 МПа и обжиг [8, 9].

На рис. 4 показано, что прочность растёт скачкообразно с 1000 до 1050 °С, далее в диапазоне температур 1050–1150 °С рост замедляется. В данном случае это связано с экзотермическим эффектом и возможным образованием первичного муллита. При этом, как отмечено выше, водопоглощение, в том числе из воздуха (абсорбция), резко падает начиная с 1100 °С. Это обстоятельство и рост прочности в диапазоне 1100–1150 °С связаны с участием СаО в термохимической реакции с другими оксидами [10]. В алексеевской легкоплавкой глине содержится меньше СаО, и подобная абсорбция не наблюдалась при аналогичном обжиге.

На рис. 5 видны скачки прочности в узком интервале температур, что характерно для термохимических эффектов: 1030 °С – образование первичного муллита, 1090 °С – реакция кальция. Формование глины и суглинка проводилось при разных значениях давления, и были выявлены следующие зависимости:

1. Для лёссовидного суглинка тонкого помола (сито 0,063) плотность упаковки (диапазон давления 0–300 МПа) не имеет значения для реакции СаО и дальнейшего дефекта разрушения образца.

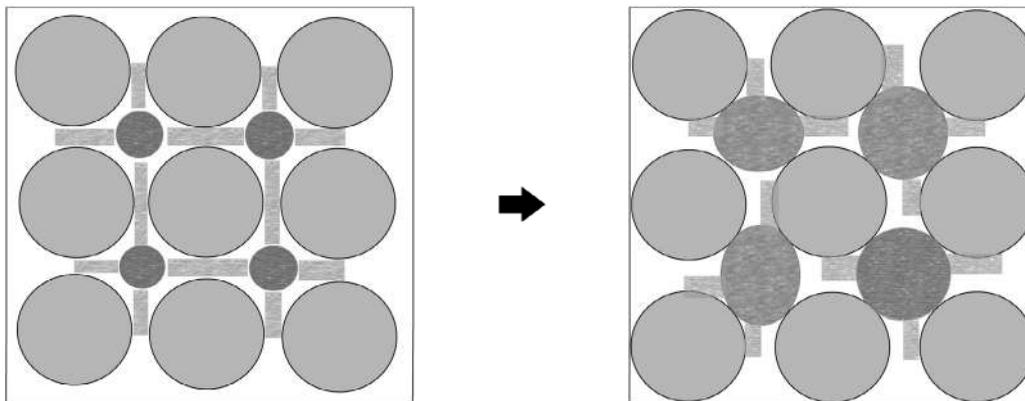


Рис. 3. Этапы гидратации СаО посредством абсорбции и разрушение образца (слева – остывший после обжига образец, справа – образец спустя неделю; большие светлые круги – частицы кварца, тёмные круги между ними – частицы кальция, светлая штриховка между всеми кругами – мостики из плавней и прочих оксидов)

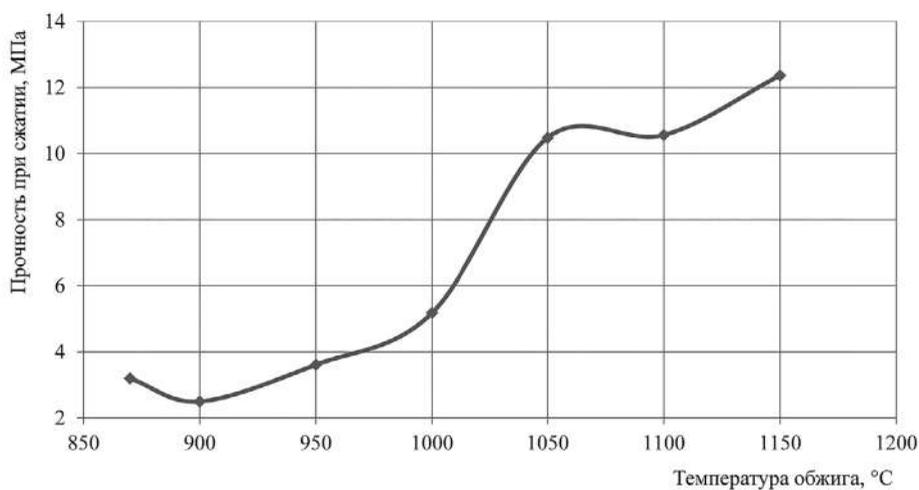


Рис. 4. Влияние температуры обжига на прочность при сжатии ярмышского лёссовидного сутлинка, сформованного при давлении 40 МПа

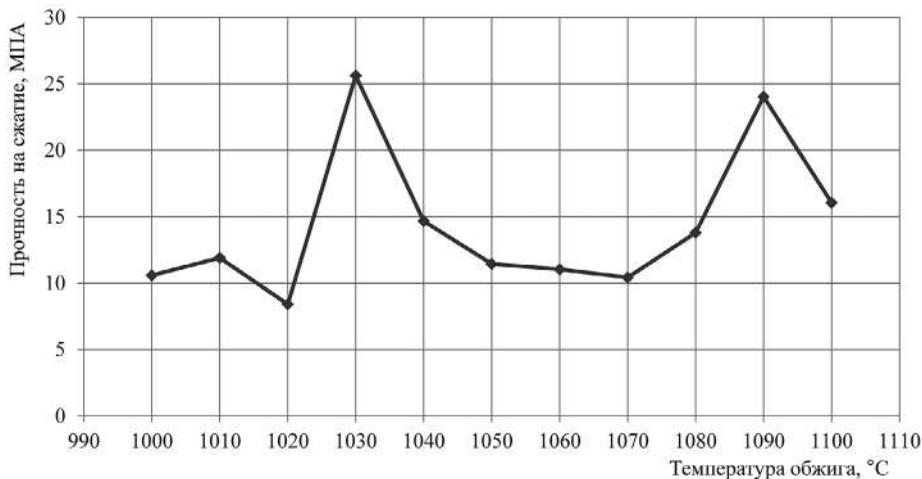


Рис. 5. Влияние температуры обжига на прочность при сжатии образцов из алексеевской глины, сформованных при давлении 90 МПа

2. Для алексеевской глины давление при формовании меняет прочность тенденциально, т. е. термоэффекты сохраняются, но при меньшем давлении проявляются меньше.

**Выводы.** 1. Для ярмышского лёссовидного суглинка температура обжига от 1090 °С при тонком помоле и формовании при 40 МПа включает в процесс спекания СаО. СаО, не прореагировавший при обжиге, поглощает влагу из воздуха и разрушает керамическое тело.

2. Непрореагировавшие частицы СаО в керамическом теле, тонкость помола сырья влияют на характер дефектов/разрушений: крупные, локально расположенные частицы СаО приведут к дутикам; пылеватые частицы, равномерно распределённые по объёму, приведут к разрыхлению образца и нарушению механических связей. Давление формования влияет на силу термомеханического эффекта, но не влияет на его профиль.

3. Уменьшение количества СаО в сырье уменьшает влияние негативных эффектов абсорбции – дутиков и рыхлого разрушения при эксплуатации, что доказано в исследованиях на алексеевской глине.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проявление структурного и фазового разнообразия силикатов в керамических материалах / Т.З. Лыгина, Н.И. Наумкина, В.А. Гревцев, О.М. Ильичева // Вестник Казанского технологического университета. 2010. № 6. С. 213–217.

2. Синтез керамических облицовочных материалов в системе СаО – SiO<sub>2</sub> / Э.М. Никифорова, Р.Г. Еромасов, Д.А. Гриценко, Е.Н. Осокин, В.Ю. Таскин // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 114–118.

3. Исследование технологических и эксплуатационных свойств керамических масс на основе лёссовидных суглинков / С.А. Монтаев, Б.Т. Шакешев, К.С. Батырханов, Н.М. Туржанов // Наука и техника Казахстана. 2007. № 4. С. 54–57.

4. Рациональные способы массоподготовки сырья в технологии стеновой керамики компрессионного формования / А.Ю. Столбоушкин, Г.И. Стороженов, А.И. Иванов, В.А. Сыромьясов, Д.В. Акст // Construction materials. 2016. № 4. С. 26–30.

5. Саяхов Р.И., Салахов А.М. Влияние добавки оксида кальция на свойства керамики на основе глины Хлыстовского месторождения // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 23. С. 54–56.

6. Яценко Н.Д., Вильбицкая Н.А., Яценко А.И. Формирование структуры и свойств эффективной стеновой керамики на основе отходов металлургического производства // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2019. № 2 (202). С. 43–47.

7. Влияние дисперсности непластичных компонентов керамических масс на спекание и свой-

ства строительной керамики / А.Е. Бурученко, В.И. Берецагин, С.И. Мушарапова, В.К. Меньшикова // Construction materials. 2015. № 8. С. 64–67.

8. Крашенинников М.А. Определение параметров формования и обжига клинкерного кирпича из лёссовидного суглинка [Электронный ресурс] // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сб. статей 77-й Всероссийской научно-технической конференции. Архитектура и градостроительство. Самара: СамГТУ, 2020 (дата обращения: 16.03.2021).

9. Котляр В.Д., Терёхина Ю.В., Котляр А.В. Методика испытания камневидного сырья для производства стеновых керамических изделий компрессионного формования // Construction materials. 2014. № 4. С. 24–27.

10. P093 Grinding of alumina ceramics: Influence of difference coolant supply. Hirose, Suguru & Nuriya, Takahiko & Tashiro, Tetsuya. // The Proceedings of Conference of Kansai Branch. 2015. 511 с.

## REFERENCES

1. Lygina T. Z., Naumkina N. I., Grevev V. A., Il'icheva O. M. Manifestation of the structural and phase diversity of silicates in ceramic materials. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2010, no.6, pp. 213-217. (in Russian)

2. Nikiforova Je.M., Eromasov R.G., Gricenko D.A., Osokin E.N., Taskin V.Ju. Synthesis of ceramic facing materials in the СаО - SiO<sub>2</sub> system. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2012, no.4, 114 p. (in Russian)

3. Montaev S.A., Shakeshev B.T., Batyrhanov K.S., Turzhanov N.M. Investigation of the technological and operational properties of ceramic masses based on loess-like loams. *Nauka i tehnika Kazahstana* [Science and technology of Kazakhstan], 2007, no.4, pp. 54-57. (in Russian)

4. Stolboushkin A.Ju., Storozhenko G.I., Ivanov A.I., Syromjasov V.A., Akst D.V. Rational methods of mass preparation of raw materials in the technology of compression molding wall ceramics. *Construction materials*, 2016, no.4, pp. 26-30. (in Russian)

5. Sajahov R. I., Salahov A. M. Influence of calcium oxide additives on the properties of ceramics on the basis of the Hlystovskogo deposit. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2013, no. 23, pp. 54-56. (in Russian)

6. Jacenko N. D., Vil'bickaja N. A., Jacenko A. I. Formation of structure and properties of effective wall ceramics on the basis of metallurgical production wastes. *Izvestija vuzov. Severo-Kavkazskij region. Serija: Tehniceskie nauki* [Proceedings of universities. North Caucasian region. Series: Engineering Sciences], 2019, no.2 (202), pp. 43-47. (in Russian)

7. Buruchenko A.E., Vereshhagin V.I., Musharapova S.I., Men'shikova V.K. Influence of dispersion of non-plastic components of ceramic masses on sintering and properties of building ceramics. *Construction materials*, 2015, no.8, pp. 64-67. (in Russian)

8. Krashennnikov M. A. Determination of parameters of molding and firing of clinker bricks from loess-

like loam. *V sbornike: Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'nye tehnologii. sbornik statej. Pod redakciej M.V. Shuvalova, A.A. Pishhuleva, A.K. Strelkova* [In the collection: Traditions and innovations in construction and architecture. Construction technologies. Digest of articles. Edited by Shuvalova M. V., Pishhuleva A.A., Strelkova A.K.], 2020, pp. 72-78. (in Russian)

9. Kotljar V.D., Terjohina Ju.V., Kotljar A.V. Testing technique for stone-like raw materials for the production of compression molded wall ceramic products. *Construction materials*, 2014, no.4, pp. 24-27. (in Russian)

10. Hirose, Suguru & Nuriya, Takahiko & Tashiro, Tetsuya. P093 Grinding of alumina ceramics: Influence of difference coolant supply. *The Proceedings of Conference of Kansai Branch*, 2015. DOI: 10.1299/jsmekansai.2015.90.511.

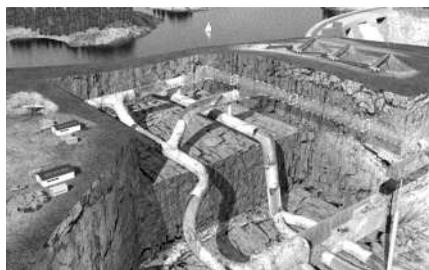
Об авторе:

**КРАШЕНИННИКОВ Максим Александрович**  
исследователь, преподаватель-исследователь  
кафедры производства строительных материалов  
изделий и конструкций  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: maxkra@list.ru

**KRASHENINNIKOV Maxim A.**  
Researcher, Teacher-researcher of the Production of  
Building Materials, Products and Structures  
Samara State Technical University, Academy of  
Construction and Architecture  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 244  
E-mail: maxkra@list.ru

Для цитирования: Крашенинников М.А. Исследование влияния оксидов кальция в легкоплавком сырье на свойства керамического изделия // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 56–61. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.9.

For citation: Krasheninnikov M.A. Study of the Influence of Calcium Oxides in Light-Fusion Raw Materials on the Properties of a Ceramic Product. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 56–61. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.9.



**С. В. ЕВДОКИМОВ**  
**А. А. РОМАНОВ**  
**Б. Г. ИВАНОВ**

### ПРОВЕДЕНИЕ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА НА ЗАТВОРЫ ПЛОТИНЫ

#### LOCAL STUDIES OF ICE COVER EFFECTS ON DAM GATES

Опыт эксплуатации поверхностных аварийных затворов в условиях ледостава на ряде гидроэлектростанций показал недостаточную эффективность применяемых методов борьбы с обмерзанием конструкций. Правила технической эксплуатации затворов водосливных плотин в зимнее время предусматривают обогрев конструкций по пазам, порогу и обшивке в комплексе с мероприятиями по поддержанию майн перед сооружением. Однако мероприятия по обогреву затворов и устройству майн не всегда достаточно обоснованы и оправданы. В целях получения натуральных данных и научной информации для разработки рекомендаций по режимам эксплуатации и учета при проектировании были проведены натурные исследования напряжений и прогибов в несущих элементах затвора водосливной плотины ГЭС. В данной статье приведены результаты натурных исследований в сравнении с расчетными величинами. В результате исследований получена информация о статической работе плоских затворов в зимних условиях, представляющая теоретический и практический интерес. Материалы могут быть использованы для уточнения правил технической эксплуатации и уточнения нормативных документов на проектирование гидромеханического оборудования на ГЭС.

**Ключевые слова:** гидромеханическое оборудование ГЭС, плоский затвор, натурные исследования, давление льда, температурный режим, статическая работа

The experience of operation of surface emergency gates in ice-breaking conditions at a number of hydroelectric power plants has shown the insufficient effectiveness of the methods used to combat freezing of structures. The rules for technical operation of spillway dam gates in winter provide for heating of structures by slots, threshold and skin in conjunction with measures to maintain mines before construction. However, measures to heat gates and build mines are not always sufficiently justified and justified. In order to obtain full-scale data and scientific information for the development of recommendations on operating and accounting modes during design, full-scale studies of stresses and deflections in the load-bearing elements of the watershed gate of the hydroelectric power station were carried out. This article presents the results of field studies in comparison with calculated values. As a result of the studies, information on the static operation of flat gates in winter conditions is obtained, which is of theoretical and practical interest. The materials can be used to clarify technical operation rules and to clarify regulatory documents for the design of hydromechanical equipment at hydroelectric power stations.

**Keywords:** hydromechanical equipment of hydroelectric power station; a flat gate; field studies; ice pressure; temperature mode; static operation

Одним из основных оборудований водоприемной части здания ГЭС является гидромеханическое оборудование, в состав которого

входят затворы, перекрывающие доступ воды в проточную часть гидротурбины. По назначению затворы подразделяются не ремонтные

и аварийно-ремонтные. Аварийные затворы в отличие от ремонтных затворов устанавливаются в текущую воду. Многолетний опыт эксплуатации поверхностных аварийных затворов в условиях ледостава на ряде гидроэлектростанций показал недостаточную эффективность применяемых методов борьбы с обмерзанием конструкций. Исследования в данной области весьма актуальны, особенно в зимний период, когда на поверхности воды образуется ледяной покров. В целях получения натуральных данных и научной информации для разработки рекомендаций по режимам эксплуатации и учета при проектировании гидромеханического оборудования на ГЭС были проведены исследования напряжений и прогибов в несущих элементах затвора водосливной плотины Жигулевской ГЭС в зимнее время [1, 2].

В районе размещения гидроэлектростанции ежегодно выпадает около 90–120 мм зимних осадков. Наличие оттепелей с положительными температурами и ветров со скоростью до 10 м/с способствует постепенному уменьшению высоты снега на льду. Так высота снежного покрова льда в зимний период 2017–2018 гг. в первой декаде декабря достигала 17 см. В конце декабря в результате длительного потепления первичный снег растаял. Вторичный снеговой покров в 2018 г. начал накапливаться с 15 января и сохранился до 5 марта. В зимний период 2018–2019 гг. снег выпал 3 декабря и сохранился до 5 марта. Наибольшая высота снега на льду за эти годы была равна 15 см. Максимальная высота снега для данной зоны за весь период наблюдений составляла 28 см [1].

Ледяной покров на водохранилище обычно устанавливается в ноябре-декабре, за период исследований водохранилище замерзло со 2 по 5 декабря. Наибольшая толщина льда в водохранилище достигала 103 см, а за период проведения исследований максимальная толщина не превышала 70 см. Наибольшая толщина глубинного льда, намерзшего ровным слоем в виде щита на обшивке затвора, составляла 120 см.

В первые дни ледостава в ледяном покрове образуются мелкие температурные трещины, которые в последующем увеличиваются по длине на всю ширину водоема, раскрытие их достигает 50 мм. Наблюдениями отмечались периодические подвижки центрального поля

льда, что вызвало торошение льда по трещинам. В отсеках между быками вследствие температурных деформаций и колебаний уровней воды образуются разломы льда с торосами у боковых граней и в зоне оголовка быка. Характерные размеры толщины льда и высоты снега за период наблюдений на приплотинной части гидроэлектростанции представлены в таблице [1].

Колебания уровней воды способствуют разлому ледяного покрова по контуру быков и затворов. Проектная сработка уровня воды 6 м. Колебания уровней воды у гидроэлектростанции в течение суток значительны, что связано с резким изменением нагрузки.

У водосливной плотины суточные и часовые колебания уровня воды имеют более сглаженный ход и меньшие амплитуды в 20–30 см вследствие расплывания перепада уровней от здания гидроэлектростанции до водосливной плотины на расстоянии почти 3 км. Однако и эти величины с общей сработкой водохранилища способствуют образованию трещин и разломов ледяного покрова перед плотиной, смягчая тем самым воздействие льда на затворы при его температурном расширении.

Правила технической эксплуатации затворов водосливных плотин в зимнее время предусматривают обогрев конструкций по пазам, порогу и обшивке в комплексе с мероприятиями по поддержанию майн перед сооружением. Цель проведения этих мер заключается в следующем:

- 1) исключить примерзание затвора для обеспечения маневренности в случае необходимости;
- 2) снять возможные ледовые нагрузки в связи с полной неопределенностью исходной информации о возможной величине этих нагрузок, что затрудняет их учет при проектировании.

Эти обстоятельства способствовали широкому развитию разработок и проектированию различных мероприятий по борьбе с обмерзанием затворов и ледообразованием перед ними путем устройства майн.

Однако практика показала, что мероприятия по обогреву затворов и устройству майн не всегда достаточно обоснованы и оправданы.

На Жигулевской ГЭС в течение многих лет практиковалось вмерзание некоторых затворов

Толщина льда и высота снежного покрова на приплотинной части гидроузла, см

Годы	2014/2015				2015/2016				2016/2017				2017/2018				2018/2019				2019/2020			
	ХII	I	II	III	ХII	I	II	III	ХII	I	II	III	ХII	I	II	III	ХII	I	II	III	ХII	I	II	III
Средняя высота снега	4	18	28	-	12	14	20	-	4	8	5	2	8	-	-	-	6	6	12	-	-	10	15	2
Средняя толщина льда	11	33	45	48	20	44	59	68	20	45	64	74	16	-	-	-	25	47	65	59	20	43	55	60

в лед, т. е. обеспечивалось проведение зимней консервации затворов [3]. Имеющиеся строительные нормы требовали в сложных ледовых условиях подкреплять расчетные предпосылки данными натурных исследований действия льда на сооружение.

Однако процесс непосредственного измерения давления льда на затворы встречал ряд серьезных трудностей, обусловленных как отсутствием надежных приборов, так и неоднозначным взаимодействием сооружения и примерзшего к нему ледяного покрова при температурных деформациях и колебаниях уровня воды. Приборы, устанавливаемые в различных точках в поле льда перед затворами, дают большой разброс показаний, что затрудняет получение объективного представления о распределении нагрузок по ширине пролета и высоте затвора [4].

Объективно оценить давление льда на сооружение по измеренным напряжениям в поле льда возможно лишь с учетом предварительного напряженного состояния ледяного покрова. Месдозы в поле льда, работающие только на сжатие, фиксируют повышение давления (сжатия) равно как при понижении, так и при повышении температуры льда с момента начала распора ледяного покрова в чаше водоёма после закрытия всех трещин.

При установке приборов в обшивку затвора сказывается взаимодействие затвора и ледяного щита (глубинного льда) при температурных деформациях затвора, искажающее истинное представление о давлении ледяного поля. С учетом сказанного, в проведенных натурных исследованиях наибольшее внимание было уделено напряжениям и прогибам несущим конструкциям затвора и их колебаниям под влиянием изменяющихся факторов воздействия [5].

Натурные измерения напряжений проводились на затворе № 28 с помощью струнных накладных тензометров ТН-150, давления льда на обшивку затвора – датчиками давления ГД-6. Прогибы ригелей фиксировались с помощью натянутых струн в пролете затвора и механических самописцев.

Натурные исследования показали, что решающее значение в образовании давления льда на затворы имеют температурные деформации льда. Наибольшие составляющие напряжений в ригелях от воздействия льда и температурных деформаций конструкций в условиях полного вмерзания в лед (без майн и обогрева) достигали  $750 \text{ кгс/см}^2$  (нижний ригель); суммарные измеренные напряжения –  $1450 \text{ кгс/см}^2$ , расчетные –  $2100 \text{ кгс/см}^2$ .

Максимальные измеренные прогибы ригелей достигали 15 мм (нижний ригель при уров-

не 1,5 м ниже отметки НПУ), расчетные – 37,5 мм (при отметке НПУ). Фактические прогибы в зимний период были ниже тарифовочных значений на гидростатическую нагрузку вследствие увеличения жесткости конструкции за счет намерзания глубинного льда на обшивке в виде щита, толщина которого достигала 1,2 м.

Проведенные исследования позволили сделать вывод о возможной консервации затворов при выполнении рекомендованного режима сработки уровней, который находится в пределах проектных параметров.

Более подробно остановимся на методике проведенных исследований. Как было отмечено выше, напряжения в несущих элементах затвора измерялись струнными накладными тензометрами ТН-150. Относительная суммарная погрешность по паспортным данным составляла +1 % в диапазоне температур от  $-30$  до  $+60$  °С. Прослушивание приборов осуществлялось центральной генераторной станцией типа ЦС-5 с точностью измерения +1 Гц. Отсчеты по приборам снимались дискретно два-три раза в день – утром в 7–8 часов при минимуме и днем в 14–16 часов при максимуме температуры воздуха. Прогибы ригелей фиксировались относительно неподвижной струны, натянутой в пролете. Регистрация показаний осуществлялась механическим самописцем с часовым механизмом.

Температура воздуха измерялась стандартными метеорологическими спиртовыми термометрами с ценой деления  $0,2$  °С в те же сроки, что и напряжения. В процессе исследований выполнялись наблюдения за толщиной льда, высотой снега на льду. Фиксировались трещины в ледяном покрове, наличие в них воды и характер разломов ледяного покрова при колебаниях уровня воды.

Температура льда измерялась термометрами сопротивления типа ММТ-4. Показания ледовых термометров снимались мостом постоянного тока типа МВУ-49 в те же сроки, что и напряжения.

На обшивке затвора со стороны верхнего бьефа в пределах глубины 3 м от стабильного осеннего уровня воды были установлены через 0,6 м по высоте пять грунтовых динамометров. Крепление приборов осуществлялось специальной закладной деталью, изготовленной на гидростанции по заказу исследователей, выступавшей из плоскости затвора на 8 см.

Тарифовка приборов, установленных на затворе, проводилась осенью и весной гидростатической нагрузкой с помощью ремонтного затвора. По результатам этих тарифовок получены стабильные графики зависимости напряжений и прогибов от гидростатической нагрузки,

позволяющие расчетом оценить величину ледовых нагрузок [6–8].

По результатам натурных исследований были сформулированы следующие **выводы и предложения**.

1. Зимний период в районе Жигулевского водохранилища характеризовался средними морозами, которые сменяются оттепелями до 1 °С, весьма незначительным снежным покровом, систематическим суточным колебанием уровня верхнего бьефа с размахом около 30 см и сработкой водохранилища за зиму на 4,0 м. Наибольшие измеренные суммарные напряжения в ригелях составили 450, 1100 и 1450 кгс/см<sup>2</sup> соответственно в верхнем, среднем и нижнем ригелях [9].

2. Решающее значение в образовании давления льда на затворы имеют термические деформации льда. Натурные исследования показали, что повышение температуры воздуха вызывает увеличение растягивающих напряжений в ригелях. На основании данных наблюдений можно сказать, что наиболее неблагоприятными являются резкие потепления после сильных морозов в малоснежные зимы при относительно стабильном уровне водохранилища. В результате в приплотинной части образуется кристаллический лед без прослоев воды, водно-снегового льда и снега, а сумма отрицательных температур не столь велика, чтобы образовать толстый слой глубинного льда на обшивке затвора, способного воспринимать на себя часть ледовых нагрузок.

3. Максимально измеренные прогибы в среднем и нижнем ригелях составили 14 и 15 мм соответственно при расчетном прогибе 37,5 мм.

4. Вмерзание плоских затворов в лед, т. е. зимняя консервация без обогрева и без поддержания майн перед фронтом сооружения на Жигулевской ГЭС, не является опасным и допускается в пределах проектных и фактических расчетов, наблюдаемых в период работы ГЭС, режимов суточных колебаний уровня воды и сработках водохранилища в период ледостава.

5. В результате исследований получена информация о статической работе плоских затворов в зимних условиях, представляющая теоретический и практический интерес. Материалы могут быть использованы для уточнения правил технической эксплуатации и уточнения нормативных документов на проектирование гидромеханического оборудования на ГЭС.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романов А.А. Жигулевская ГЭС. Эксплуатация гидротехнических сооружений. Самара: Издательский дом «Агни», 2010. 360 с. Кн. I.

2. Романов А.А. Куйбышевский гидроузел. История и жизнь. Самара: Арт-Лайт, 2018. 272 с.

3. Технический отчет о проектировании и строительстве Волжской ГЭС имени В.И. Ленина: в 2 т. 1950–1958 гг.

4. Найденко В.В. Великая Волга на рубеже тысячелетий. От экологического кризиса к устойчивому развитию. Нижний-Новгород: Издательство «Промграфика», 2003. 432 с. Кн. I.

5. Балзанныков М.И., Зубков В.А., Кондратьева Н.В., Хуртин В.А. Комплексное обследование технического состояния строительных конструкций сооружений Жигулевской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2013. № 6. С. 21–27.

6. Евдокимов С.В., Дормидонтова Т.В. Оценка надежности гидротехнических сооружений // Градостроительство и архитектура. 2012. № 1(15). С. 64–68. DOI: 10.17673/Vestnik.2012.01.12.

7. Евдокимов С.В., Дормидонтова Т.В. Критерии оценки надежности и технического состояния гидротехнических сооружений // Градостроительство и архитектура. 2011. № 2(16). С. 105–108. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.02.23.

8. Дормидонтова Т.В., Евдокимов С.В. Комплексное применение методов оценки надежности и мониторинга строительных конструкций и сооружений. Самара: СГАСУ, 2012. 128 с.

9. Balzannikov M.I., Rodionov M.V. Extending the operating life of low embankment dams in Russia // International journal on Hydropower and Dams. 2013. № 6. Pp. 60–63.

## REFERENCES

1. Romanov A.A. Zhigulevskaya GES. Eksploatatsiya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Zhigulevskaya HPP. Operation of hydraulic structures]. Samara, Publishing House «Agni», 2010. 360 p.

2. Romanov A.A. Kuybyshevskiy gidrouzel. Istoriya i zhizn' [Kuibyshev hydroelectric complex. History and life]. Samara, Art-Light, 2018. 272 p.

3. Tekhnicheskiiy otchet o proektirovanii i stroitel'stve Volzhskoy GES imeni V.I. Lenina [Technical report on the design and construction of the Volzhskaya HPP named after V. I. Lenin]. 1950–1958.

4. Naydenko V.V. Velikaya Volga na rubezhe tysyachetiy. Ot ekologicheskogo krizisa k ustoychivomu razvitiyu [The Great Volga at the turn of the millennium. From environmental crisis to sustainable development]. Nizhny Novgorod, Promgrafika, 2003. 432 p.

5. Bal'zannikov M.I., Zubkov V.A., Kondrat'eva N.V., Khurtin V.A. Comprehensive survey of the technical condition of the building structures of the Zhigulevskaya HPP structures. Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo [Hydraulic engineering construction], 2013, no. 6, pp. 21–27. (in Russian)

6. Evdokimov S.V., Dormidontova T.V. Assessment of the reliability of hydraulic structures. Gradostroitel'stvo i arhitektura [Urban Construction and Architecture], 2012, no. 1(15), pp. 64–68. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2012.01.12.

7. Evdokimov S.V., Dormidontova T.V. Criteria for assessing the reliability and technical condition of hydraulic structures. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2011, no. 2(16), pp. 105–108. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2011.02.23.

8. Dormidontova T.V., Evdokimov S.V. *Kompleksnoe primeneniye metodov otsenki nadezhnosti i monitoringa stroitel'nykh konstruksiy i sooruzheniy* [Comprehensive application of methods for assessing the reliability and monitoring of building structures and structures]. Samara, SGASU, 2012. 128 p.

9. Balzannikov M.I., Rodionov M.V. Extending the operating life of low embankment dams in Russia. *Mezhdunarodnyy zhurnal po gidroenergetike i plotinam* [International journal on Hydropower and Dams], 2013, no. 6, pp. 60–63. (in Russian)

Об авторах:

**ЕВДОКИМОВ Сергей Владимирович**

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой природоохранного и гидротехнического строительства

Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: sali5@mail.ru

**EVDOKIMOV Sergey V.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Nature Protection and Hydrotechnical Engineering Chair

Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: sali5@mail.ru

**РОМАНОВ Алексей Александрович**

кандидат технических наук, профессор кафедры электроснабжения и электротехники

Тольяттинский государственный университет  
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14  
E-mail: romanovaa@mail.ru

**ROMANOV Alexey A.**

PhD in Engineering Science, Professor of the Electrical Equipment and Electrical Engineering Chair

Togliatti State University  
445020, Russia, Samara region, Togliatti, Belorusskaya str., 14  
E-mail: romanovaa@mail.ru

**ИВАНОВ Борис Георгиевич**

доктор технических наук, профессор

Самарский государственный университет  
путей сообщения  
443066, Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2 В  
E-mail: bgivanov@mail.ru

**IVANOV Boris G.**

Doctor, Professor

Samara State Transport University  
443066, Samara, Svobody str., 2 В  
E-mail: bgivanov@mail.ru

Для цитирования: *Евдокимов С.В., Романов А.А., Иванов Б.Г.* Проведение натурных исследований воздействия ледяного покрова на затворы плотины // *Градостроительство и архитектура*. 2021. Т.11, № 2. С. 62–66. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.10.

For citation: *Evdokimov S.V., Romanov A.A., Ivanov B.G.* Local Studies of Ice Cover Effects on Dam Gates. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 62–66. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.10.



**М. А. ЗОРИНА**  
**Г. Н. РЯЗАНОВА**  
**Е. В. ИЛЬДИЯРОВ**

### АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ КРАНА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТРОЙГЕНПЛАНОВ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

ANALYSIS OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS  
ON THE CHOICE OF THE CRANE WHEN DESIGNING BUILD PLANS  
IN CONSTRUCTION SITE CONDITIONS

*Показаны принципы определения условий стесненности строительной площадки в соответствии с требованиями нормативной документации. На конкретных примерах рассматриваются особенности определения типов кранов, условия их размещения на строительной площадке. Показаны примеры размещения различных кранов в пределах одной строительной площадки. Определены возможности ограничения границ зон работы крана. Представлены возможности ограничения опасной зоны действия крана в соответствии с нормативной литературой.*

*The principles of determining the conditions of tightness of the construction site in accordance with the requirements of normative documentation are shown. On concrete examples the features of definition of types of cranes, conditions of their placement on a construction site are considered. Shows examples of the placement of different valves within a single construction site. The possibilities of limiting the boundaries of the zones of operation of the crane are determined. Possibilities of restriction of a dangerous zone of action of the crane according to the standard literature are presented.*

**Ключевые слова:** проект организации строительства, проект производства работ, строительная площадка, стесненные условия, монтажный кран, установка крана, опасная зона, зона ограничения вылета стрелы, зона ограничения высоты подъема крюка

**Key words:** Construction organization project, construction work project, construction site, cramped conditions, erection crane, crane installation, danger zone, boom restricted area, hook lifting height restriction zone

При проектировании и возведении объектов в плотной городской или производственной застройке, при реконструкции объектов строителям все чаще приходится сталкиваться с крайне стесненными условиями застройки. Такие условия требуют от проектировщиков не только соблюдения установленных требований и норм, но и принятия нестандартных решений в каждом конкретном случае. Особенно сложно организовать работу на строительной площадке в соответствии с действующими требованиями в стесненных условиях застройки [1–8].

Организация работ на строительной площадке выполняется при технологическом проектировании. В рамках технологического проектирования разрабатываются проекты организации строительства (ПОС) и проекты производства работ (ППР). При разработке и ПОС и ППР требуется выполнить технологические решения по выбору крана, его размещению на строительной площадке и определению зон действия и опасных зон при работе грузоподъемного оборудования.

Критерии стесненности условий производства работ, определяемые в соответствии с тре-

бованиями Постановления Госстроя России от 05.03.2004 № 15/1 (ред. от 16.06.2014), характеризуются наличием не менее трех из указанных ниже факторов:

- интенсивное движение городского транспорта и пешеходов в непосредственной близости от места работ, обуславливающих необходимость строительства короткими захватками с полным завершением всех работ на захватке, включая восстановление разрушенных покрытий и посадку зелени;

- разветвленная сеть существующих подземных коммуникаций, подлежащих подвеске или перекладке;

- жилые или производственные здания, а также сохраняемые зеленые насаждения в непосредственной близости от места работ;

- стесненные условия складирования материалов или невозможность их складирования на строительной площадке для нормального обеспечения материалами рабочих мест;

- при строительстве объектов, когда плотность застройки объектов превышает нормативную на 20 % и более;

- при строительстве объектов, когда в соответствии с требованиями правил техники безопасности проектом организации строительства предусмотрено ограничение поворота стрелы башенного крана.

Организация строительной площадки во многом зависит от выбора монтажного оборудования, путей перемещения и размещения его стоянок, зон работы крана и границ опасных зон [9, 10].

В качестве оборудования для ведения монтажных работ по возведению или реконструкции зданий и сооружений обычно применяется монтажный кран. Тип крана зависит от конструктивных особенностей, конфигурации и габаритов здания. В строительстве обычно используются башенные и самоходно-стреловые краны [11].

Для определения марки строительного крана необходимо рассчитать параметры: грузоподъемность, вылет стрелы, высоту подъема стрелы, а для самоходно-стреловых кранов и длину стрелы. Расчетные параметры сравниваются с техническими параметрами существующих кранов и выбираются конкретные марки кранов [11].

Выбор типа и марки крана показан на примере организации работы крана при возведении корпуса микроэлектронных технологий в рамках расширения мощностей ООО НИИ «Экран». Возводимое здание прямоугольной формы с размерами в плане 32,4×23,9 м и высотой 9,5 м. Здание двухэтажное с подвалом. Проектируемое здание выполняется с полным

монолитным железобетонным каркасом. Для соединения корпуса микроэлектронных технологий с существующим зданием предусмотрен трехэтажный переход высотой 12,55 м. Каркасное двухэтажное здание с такими параметрами можно возводить как башенным, так и самоходно-стреловым краном. Данное здание возводится в стесненных условиях существующей застройки на территории действующего предприятия. Рассматриваются варианты стройгенпланов с организацией монтажных работ самоходно-стреловыми кранами на автомобильном и пневмоколесном ходу, а также башенными кранами для определения оптимального решения по варианту стройгенплана (рис. 1–7).

Выбор типа и марки монтажного крана производится поэтапно с учетом конкретных условий строительной площадки:

1 этап – определяется схема работы монтажного крана. Как правило, предпочтение отдается традиционно сложившейся в практике строительства организации работы (передвижения) крана по периметру или вдоль его продольных осей [1, 4, 5]. Согласно рекомендациям МДС 12-19.2004, МДС 12-19.2004 для монтажа конструкций малоэтажных зданий, как правило, используются самоходно-стреловые краны и только в исключительных случаях при соответствующем обосновании – башенные краны;

2 этап – рассчитываются по известным методикам требуемые параметры монтажных кранов – для самоходно-стреловых ( $Q$  – грузоподъемность,  $H$  – высота подъема крюка,  $L$  – длина стрелы,  $l$  – вылет стрелы) и для башенных кранов ( $Q$  – грузоподъемность,  $H$  – высота подъема крюка,  $l$  – вылет стрелы). Параметры рассчитываются с учетом возможности монтажа самых неблагоприятных в монтажном плане элементов – наиболее удаленного от места стоянки крана, максимально тяжелого. С этой целью выполняют расчетные схемы для самоходно-стреловых (см. рис. 2, 3, 5) и для башенных кранов (см. рис. 6, 7).

3 этап – выбираются марки монтажных кранов с техническими характеристиками, соответствующими требуемым (табл. 1). Одновременно определяются габариты проходов с соблюдением условий обеспечения безопасности монтажных работ и границ опасных зон.

Соответствующими требуемым параметрам выбраны самоходно-стреловой кран на автомобильном ходу КС-69793 с вылетом 32 м и длиной стрелы 40 м, на пневмоколесном ходу КС-5363 с длиной основной стрелы 20 м и гуськом 30 м, а также башенный кран КБ-674 А-4 и Potain IGO T130. Однако, анализируя схемы установки самоходно-стреловых кранов (см. рис. 1, 4) и детализировки их при-

вязки (см. рис. 2, 3), можно сделать следующие выводы:

- габариты самоходно-стреловых кранов с установленными аутригерами не вписываются в размеры возможных монтажных проходов кранов вдоль оси Д-Д и не обеспечивают условий безопасности монтажных работ [9, 11];
- в непосредственной близости от оси 1-1 проходит граница отведенной территории и ограждение строительной площадки;
- вдоль оси Д-Д слишком узкий монтажный проезд шириной 5,9 м. В данный проезд невозможно установить самоходно-стреловой кран (см. рис. 2, 3);
- перемещение крана по периметру здания не представляется возможным;
- проходка крана возможна только вдоль оси А-А.

В этих условиях можно установить башенный кран с подходящей длиной стрелы и высотой подъема крюка, но для башенного крана необходима большая территория, отведенная под подкрановые пути.

Для данного объекта длина земляного участка для подкранового пути составила 20,7 м, а ширина – 11,8 м. Следует учесть, что стрела крана с грузом должна проходить над конструкциями существующего здания и возводимого здания выше чем на 1 м (см. рис. 3).

В данном случае, как вариант, предлагается башенный кран КБ-674А-4. Требуемые и технические параметры крана представлены в табл. 1.

Однако башенный кран занимает значительное место на территории строительной площадки. В данной ситуации предпочтительнее использовать быстромонтируемый кран Potain. Он имеет достаточные вылет стрелы и высоту подъема крюка, но у него незначи-

тельная грузоподъемность при максимальном вылете (см. табл. 1). Для сооружения с предложенными в примере параметрами такой кран вполне подходит (см. рис. 7).

Но выбрать тип крана по техническим характеристикам и разместить его на строительной площадке – это еще не полное решение задачи по определению типа и марки крана. Следует решить транспортные и организационные проблемы:

- возможность доставки крана на объект и к месту установки;
- элементы башенного крана и гусеничные самоходно-стреловые краны доставляют на трейлерах. Большемерные машины не всегда могут проехать на строительную площадку и развернуться на ней, особенно в условиях плотной существующей застройки;
- возможности вывоза монтажного крана со строительной площадки по окончании работ;
- для обеспечения безопасности производства строительно-монтажных работ необходимо определить зону действия крана и опасную зону.

4 этап – окончательный выбор типа и марки крана из предложенных двух вариантов: самоходно-стреловой кран на пневмоколесном ходу КС-5363 или быстромонтируемый кран Potain IGO T130 осуществляется из технических и финансовых возможностей заказчика.

На представленных в работе стройгенпланах приняты условные обозначения, приведенные в табл. 2.

Границы опасной зоны действия крана рассчитываются с учетом расстояния отлета груза при перемещении краном в случае его падения [12–16]. Уменьшить расстояние отлета груза можно, запроектировав зоны, в пределах которых запрещается поднимать груз

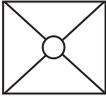
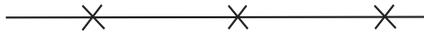
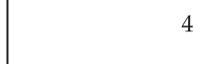
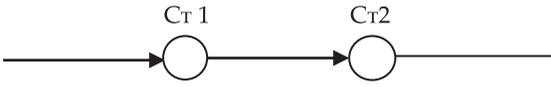
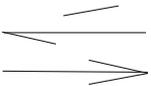
Таблица 1

Сравнение характеристик самоходно-стреловых кранов

Виды кранов	Параметры кранов			
	l стр, м	Q, т	Нкр, м	Lстр., м
Самоходно-стреловые краны				
Требуемые по расчету параметры	32	3	18	65 (с гуськом 50)
Самоходно-стреловой кран на автомобильном ходу КС-69733	32	1,9	22	40
Самоходно-стреловой кран на гусеничном ходу МКГ-25бр с длиной стрелы 23,5 м и гуськом 20 м	21	1	27	43,5
Самоходно-стреловой кран на пневмоколесном ходу КС 5363 с длиной стрелы 20 м и гуськом 30 м	32	8	32	50
Башенные краны				
Требуемые по расчету параметры	32	3	26	-
Башенный кран КБ-674А-4	35	10	36	-
Быстромонтируемый кран Potain IGO T130	33,2	4	33,5	-

Таблица 2

Условные обозначения

Наименование	Условные обозначения
Башенный кран	
Открытая площадка для складирования	
Ограждение подкрановых путей	
Ограждение строительной площадки	
Граница опасной зоны	
Бытовые помещения	
Бытовые помещения, установленные в два яруса	
Направление движения и точки стоянки самоходно-стрелового крана	
Линия ограничения переноса груза	
Знак ограничения переноса груза (монтажная зона крана)	
Биотуалет	
Въезд, выезд	
Шпунтовое ограждение выемки	

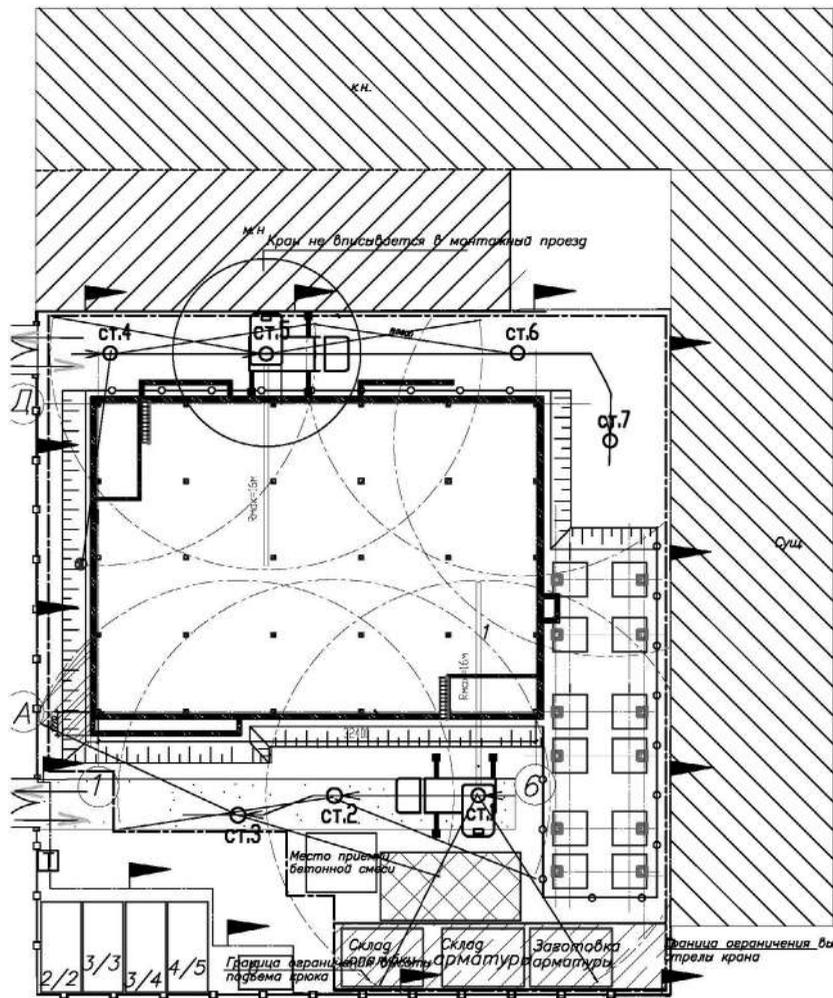


Рис. 1. Стройгенплан с примером установки автомобильного крана при возведении корпуса микроэлектронных технологий

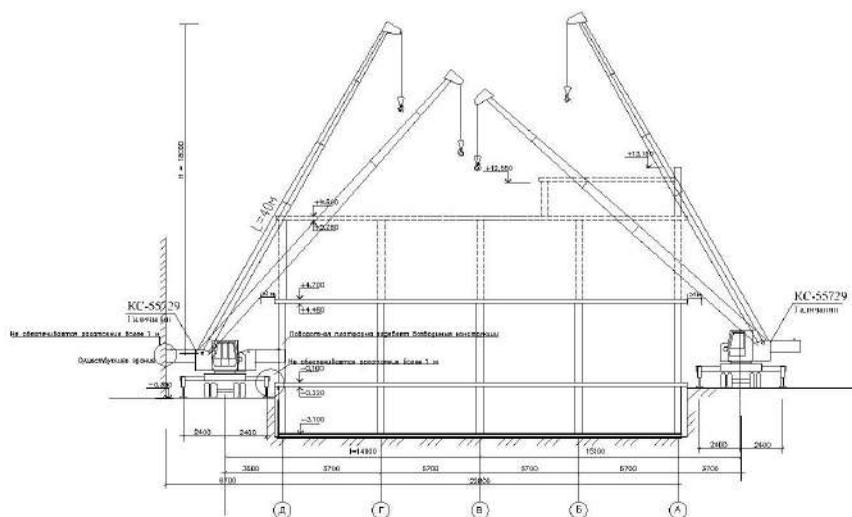


Рис. 2. Расчетная схема установки автомобильного крана вдоль оси Д – Д при возведении корпуса микроэлектронных технологий

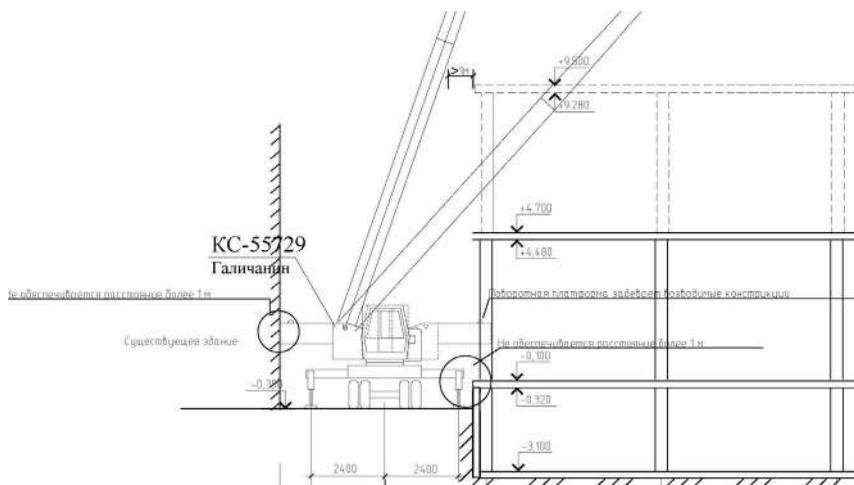


Рис. 3. Элемент расчетной схемы установки автомобильного крана вдоль оси Д – Д при возведении корпуса микроэлектронных технологий

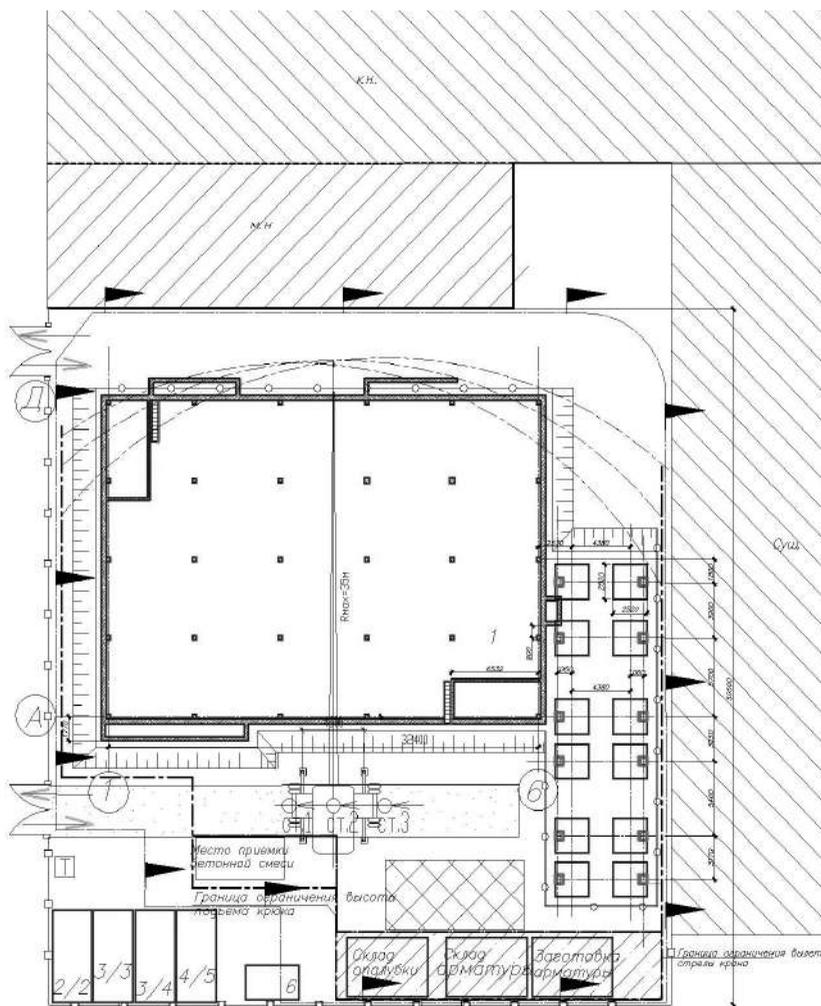


Рис. 4. Стройгенплан с примером установки пневмоколесного крана при возведении корпуса микроэлектронных технологий

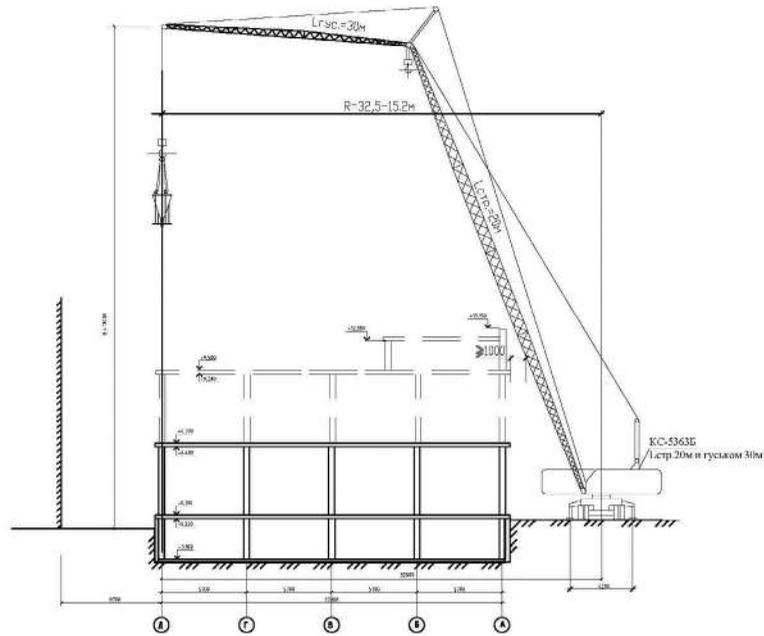


Рис. 5. Расчетная схема установки пневмоколесного крана в башенно-стреловом исполнении вдоль оси А-А при возведении корпуса микроэлектронных технологий

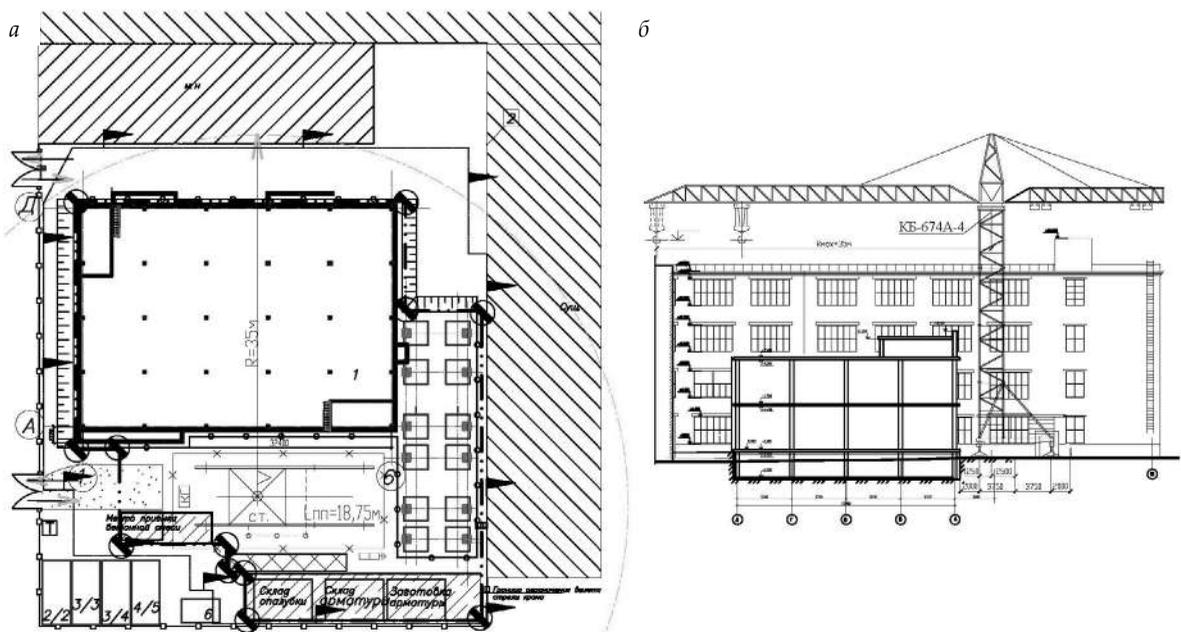


Рис. 6. Расчетная схема установки башенного крана при возведении корпуса микроэлектронных технологий: а – схема-план; б – схема-разрез

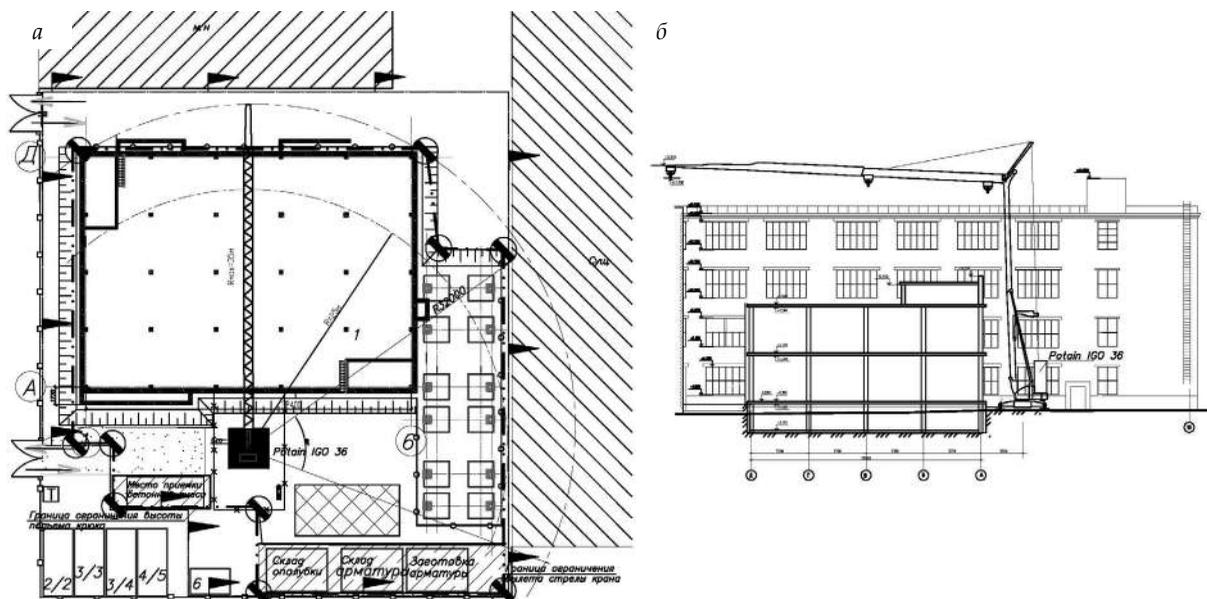


Рис. 7. Расчетная схема установки быстромонтируемого крана при возведении корпуса микроэлектронных технологий: а – схема-план; б – схема-разрез

выше оговоренной в проекте высоты. Обычно это зоны разгрузки грузов и хранения материалов. Такие зоны должны быть обозначены на схемах производства работ и стройгенпланах с указанием максимально допустимой высоты подъема груза.

В соответствии с требованиями МДС 12-19.2004 для уменьшения размеров опасной зоны действия крана можно предусмотреть следующие мероприятия:

- оснастить стрелу крана специальными средствами ограничения зоны действия крана;
- скорость поворота стрелы крана в сторону границы рабочей зоны должна быть ограничена до минимальной при расстоянии от перемещаемого груза до границы зоны менее 7 м;
- перемещение груза на участках, расположенных на расстоянии менее 7 м от границы опасных зон, следует осуществлять с применением предохранительных или страховочных устройств, предотвращающих падение грузов;
- по периметру здания выполнить защитный экран высотой выше высоты подъема крюка.

Ограничение границ опасной зоны можно выполнить, применяя автоматическую систему ограничения вылета крюка крана. Ограничение вылета стрелы крана является координатной защитой.

Приведенные выше показатели влияют на выбор типа крана для производства строительных работ, на необходимость определения места въезда и выезда со строительной площадки.

Как показано выше, для возведения данного здания подходят три вида кранов. Поэтому необходимо выполнить экономическое сравнение кранов и представить расчеты заказчику. Обычно именно заказчик решает, какой кран рациональнее ему использовать.

**Вывод.** При размещении кранового оборудования на объекте в стесненных условиях необходимо учесть не только параметры и конструктивные особенности возводимого объекта, но и возможности доставки кранового оборудования, размещения его на строительной площадке, монтажа и демонтажа кранов, возможности вывоза крана с объекта; учесть границы зон действия крана и опасных зон; рассмотреть возможность ограничения указанных зон в соответствии с существующими нормативными требованиями.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аллатов В.Ю., Вещин В.Ю. Изготовление и возведение пространственного покрытия типа структуры склада продукции ОАО «Ресал» // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы региональной 59-й научно-технической конференции / СамГАСА. Самара, 2002. С. 69–71.
2. Голенков И.А., Аллатов В.Ю., Вещин В.Ю. Проектирование и реконструкция производственных зданий на ОАО «Ресал» // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы региональной 59-й научно-технической конференции / СамГАСА. Самара, 2002. С. 66–68.

3. Аллатов В.Ю., Холопов И.С., Соловьев А.В., др. Проектирование, изготовление и монтаж пространственного односкатного структурного покрытия здания большого пролета // Технологии, материалы, конструкции в строительстве. 2002. № 1(11). С. 54–60.
4. Аллатов В.Ю., Холопов И.С., Мочальников В.Н., др. Опыт применения пространственных стержневых металлических конструкций типа структур в строительстве // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций в строительстве и на транспорте: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции / СамГАСА. Самара, 2002. С. 199–206.
5. Аллатов В.Ю., Холопов И.С., Соловьев А.В., др. Стальная надстройка здания с пространственным структурным покрытием // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 61-й региональной научно-технической конференции по итогам НИР / СамГАСА. Самара, 2004. С. 278–279.
6. Аллатов В.Ю., Холопов И.С., Соловьев А.В. Реконструкция здания инженерного корпуса самарского завода «Электроштит» // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 63-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2006. С. 370.
7. Аллатов В.Ю., Холопов И.С., Соловьев А.В. Результаты обследования несущих конструкций холодного склада ООО «Ресал» // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 64-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2007. С. 477–478.
8. Аллатов В.Ю., Холопов И.С., Соловьев А.В., др. Результаты обследования строительных конструкций рынка Автозаводского района г. Тольятти // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 64-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2007. С. 479.
9. Рязанова Г.Н., Давиденко А.Ю. Основы технологии возведения зданий и сооружений / СГАСУ. Самара, 2016. 100 с.
10. Зорина М.А., Рязанова Г.Н., Аллатов В.Ю. Оптимизация организационных и технологических решений при проектировании стройгенпланов на возведение и реконструкцию зданий в стесненных условиях строительной площадки // Градостроительство и архитектура. 2019. № 3. С. 106–112. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.14.
11. Невзоров Л.А., Полосин М.Д. Краны башенные и автомобильные. М.: ИЦ «Академия», 2005. 416 с.
12. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Липидус А.А. Технология строительных процессов: в 2 ч.: Ч. 1. Изд. 3-е, стер. М.: Высш. шк., 2006. 392 с.
13. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Липидус А.А. Технология строительных процессов: в 2 ч.: Ч. 2. Изд. 3-е, стер. М.: Высш. шк., 2006. 391 с.
14. Рязанова Г.Н., Потова Д.М. Анализ существующих методов возведения конструкций из монолитного бетона и железобетона в зимних условиях // Градостроительство и архитектура. 2018. № 1. С. 11–23. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.3.
15. Долодов Ю.И., Добрянин К.Э., Хмылёва О.Ю., Васильчикова З.Ф. Демонтаж здания в черте города // Градостроительство и архитектура. 2018. № 2. С. 60–64. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.10.
16. Казанков А.П., Васильчикова З.Ф., Игнатъев П.В. Оценка влияния строящегося многоэтажного дома на близрасположенные существующие панельные здания // Градостроительство и архитектура. 2017. № 1. С. 17–25. DOI: 107673/Vestnik.2017.01.3.

## REFERENCES

- Alpatov V., Veshin V. Manufacturing and erection of a spatial covering of the type of structure of a product warehouse of JSC “Resal”. *Actual problems in construction and architecture. Education. The science. Practice* [Materials of the regional 59th scientific and technical conference]. Samara, 2002, pp. 69–71. (In Russian).
- Golenkov I., Alpatov V., Veshin V. Design and reconstruction of industrial buildings at JSC “Resal”. *Actual problems in construction and architecture. Education. The science. Practice* [Materials of the regional 59th scientific and technical conference]. Samara, 2002, pp. 66–68. (In Russian).
- Alpatov V., Kholopov I., et al. Design, manufacture and installation of a spatial single-slope structural covering of a large span building. *Tekhnologii, materialy, konstruktzii v stroitel'stve: nauchno-tehnicheskii zhurnal* [Technologies, materials, structures in construction: scientific and technical journal], 2002, no.1(11). pp. 54–60. (In Russian).
- Alpatov V., Kholopov I., et al. *Experience in the use of spatial bar metal structures such as structures in construction. Modern problems of improvement and development of metal, wood, plastic structures in construction and transport* [Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Conference]. Samara, 2002, pp. 199–206. (In Russian).
- Alpatov V., Kholopov I., et al. Steel superstructure of a building with spatial structural cover. *Actual problems in construction and architecture. Education. The science. Practice* [Materials of the regional 61th scientific and technical conference]. Samara, 2004, pp. 278–279. (In Russian).
- Alpatov V., Kholopov I., et al. Reconstruction of the building of the engineering building of the Samara plant “Electroshield”. *Actual problems in construction and architecture. Education. The science. Practice* [materials of the 63rd All-Russian Scientific and Technical Conference on the results of research]. Samara, 2006, 370 p.. (In Russian).
- Alpatov V., Kholopov I., et al. Results of inspection of load-bearing structures of a cold warehouse of LLC “Resal”. *Actual problems in construction and architecture. Education. The science. Practice* [materials of the 64rd All-Russian Scientific and Technical Conference on the results of research]. Samara, 2007, pp. 477–478. (In Russian).
- Alpatov V., Kholopov I., et al. The results of a survey of building structures in the market of the Av-

tozavodsky district of Togliatti. *Actual problems in construction and architecture. Education. The science. Practice* [materials of the 64rd All-Russian Scientific and Technical Conference on the results of research]. Samara, 2007, 479 p.. (In Russian).

9. Ryazanova G.N., Davidenko A.Yu. *Osnovy tekhnologii vozvedeniya zdaniy i sooruzheniy* [Basics of technology for the construction of buildings and structures]. Samara, SGASU Publ., 2016. 100 p. (In Russian).

10. Zorina M.A., Ryazanova G.N., Alpatov V.Yu. Optimization of organizational and technological solutions in the design of construction plans for the construction and reconstruction of buildings in the cramped conditions of the construction site. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban planning and architecture], 2019, no.3. pp. 106–112. (In Russian). DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.14.

11. Nevzorov L.A., Polosin M.D. *Krany bashennyye i avtomobil'nyye* [Tower and automobile cranes]. Moscow, IC "Academy" Publ., 2005. 416 p. (In Russian).

12. Telichenko V.I., Terentyev O.M., Lapidus A.A. *Tekhnologiya stroitel'nykh protsessov* [Construction process

technology 1]. Moscow, High school Publ., 2006. 392 p. (In Russian).

13. Telichenko V.I., Terentyev O.M., Lapidus A.A. *Tekhnologiya stroitel'nykh protsessov* [Construction process technology 2]. Moscow, High school Publ., 2006. 391 p. (In Russian).

14. Ryazanova G.N., Popova D.M. Analysis of existing methods of erection of structures made of in-situ concrete and reinforced concrete in winter conditions. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban planning and architecture], 2018, no.1. pp. 11–23. (In Russian). DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.3.

15. Doladov Yu.L., Dobryanin K.E., et al. Dismantling a building within the city. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban planning and architecture], 2018, no.2. pp. 60–64. (In Russian). DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.10.

16. Kazankov A.P., Vasilchikova Z.F., Ignatiev P.V. Assessment of the impact of a multi-storey building under construction on nearby existing panel buildings. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban planning and architecture], 2017, no.1. pp. 17–25. (In Russian). DOI: 10.17673/Vestnik.2017.01.3.

Об авторах:

#### **ЗОРИНА Марина Александровна**

старший преподаватель кафедры технологии и организации строительного производства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: zorina1804@mail.ru

#### **ZORINA Marina A.**

Senior Lecturer of the Technology and Organization of Construction Production Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: zorina1804@mail.ru

#### **РЯЗАНОВА Галина Николаевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: ryazanovagn55@mail.ru

#### **RYAZANOVA Galina N.**

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 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: ryazanovagn55@mail.ru

#### **ИЛЬДИЯРОВ Евгений Викторович**

кандидат технических наук  
Главный инженер проекта  
AFI Development  
121059, Россия, г. Москва, Бережковская набережная, 16А  
E-mail: ildevgenii@mail.ru

#### **ILDIYAROV Evgenij V.**

PhD in Engineering Science  
Chief Project Engineer  
AFI Development  
121059, Russia, Moscow, Berezhkovskaya Embankment, 16A  
E-mail: ildevgenii@mail.ru

Для цитирования: Зорина М.А., Рязанова Г.Н., Ильдияров Е.В. Анализ организационных и технологических решений по выбору крана при проектировании стройгенпланов в стесненных условиях строительной площадки // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 67–76. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.11.

For citation: Zorina M.A., Ryazanova G.N., Ildiyarov E.V. Analysis of Organizational and Technological Solutions on the Choice of the Crane When Designing Build Plans in Construction Site Conditions. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 67–76. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.11.

---

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

---



УДК 551.3

DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.12

**Д. И. ВАСИЛЬЕВА**  
**М. Н. БАРАНОВА**  
**А. В. МАЛЬЦЕВ**  
**С. В. СОКОЛОВА**  
**И. П. ШИМАНЧИК**

## ПОДЗЕМНАЯ УРБАНИЗАЦИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА САМАРЫ И ЕЕ НЕГАТИВНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

SAMARA CITY UNDERGROUND URBANIZATION DEVELOPMENT  
AND ITS CONSEQUENCES

*В настоящее время практически повсеместно увеличиваются площади городов в результате урбанизации территории. При этом из-за нехватки земельных ресурсов активизируется освоение подземного пространства, увеличиваются объемы подземного строительства, т. е. развивается подземная урбанизация. Данный процесс имеет немаловажное значение, поскольку может помочь решить территориальные, транспортные, экологические и другие проблемы городов при сохранении уникального облика застройки в их исторических центрах. При этом негативным результатом подземной урбанизации может являться активизация некоторых инженерно-геологических процессов. В статье рассмотрена история подземной урбанизации на территории г. Самары, определены ее основные этапы. В Самаре проживает более одного миллиона человек, построена линия метрополитена, имеются подземные объекты промышленного и оборонного значения (бункеры), достигающие значительной глубины. Активное подземное строительство может приводить к усилению геологических процессов (выветриванию, карстообразованию, суффозии), изменению прочностных свойств горных пород, нарушению естественного гидрологического режима территории. Территория Самары имеет неоднородное геологическое строение и сложные инженерно-геологические условия строительства. Выделено и изучено семь инженерно-геологических районов, на территории которых развитие подземного строительства может привести к различным, в том числе негативным, последствиям.*

*Nowadays the area of cities is almost everywhere increasing - the territory urbanization is developing. At the same time, due to lack of land resources, the underground space development intensifies, and the underground construction volume increases, i.e., underground urbanization takes place. This process has undoubtedly positive results, as it can help solve territorial, transport, environmental and other problems of cities while preserving the unique appearance of buildings in the historical centers of cities. At the same time, some engineering and geological processes may be activated as a negative underground urbanization result. The article deals with underground urbanization history in Samara and defines its main stages. More than one million people live in Samara city, subway line was built, there are subway objects of industrial and defense importance (bunkers) reaching considerable depth. Active underground construction can lead to geological processes strengthening (weathering, karst formation, suffosia, etc.), change of strength properties of rocks, violation of natural hydrological regime of the territory. The territory of Samara has an inhomogeneous geological structure and complex engineering and geological construction conditions. Seven engineering-geological districts have been identified and studied, on the territory where underground construction development can lead to different, including negative, consequences.*

**Ключевые слова:** подземная урбанизация, подземное строительство, экзогенные геологические процессы, геологические опасности, инженерно-геологическое районирование, город Самара

**Keywords:** underground urbanization, underground construction, exogenous geological processes, geological hazards, engineering and geological zoning, Samara city

В настоящее время для крупных городов характерна не только активная застройка и рост города в ширину, но и освоение подземного пространства – подземная урбанизация. По международным стандартам доля подземных сооружений должна составлять 20–25 % от общей площади строительства. В Российской Федерации данный показатель значительно меньше, но в крупных городах постепенно увеличивается, что позволяет освободить дополнительную городскую территорию. Под землей стараются располагать гаражи, склады, промышленные и торговые предприятия, коммунальные сети, административные и культурно-бытовые учреждения, транспортные сети. В некоторых городах планируется создание генерального плана освоения подземного пространства и создание инженерно-геологических 3D-карт районов и кварталов города. Глубина строительства подземных сооружений может достигать 50 м. При этом необходимо учитывать существующие экологические, особенно геоэкологические особенности территории, в том числе возможность активизации экзогенных геологических процессов.

Для территории Самары проблема подземной урбанизации и ее влияние на инженерно-геологические условия строительства ранее комплексно не изучалась. В данной статье впервые проведено районирование городской территории и анализ грунтовых условий каждого района. Проведенное исследование может быть полезно для планирования дальнейшего градостроительного развития, поскольку позволяет учитывать информацию о сложности грунтовых условий.

**Обсуждение и анализ.** Вопросам изучения возможностей использования подземного пространства городов и последствий подземной урбанизации в настоящее время уделяется большое внимание [1–3]. Выявлено влияние подземного строительства на геологическую среду города и геоэкологические условия разных урбанизированных территорий [4–7].

На территории Самары строительство подземных сооружений началось еще в XVIII в. при сооружении второй Самарской крепости, когда для укрепления склонов были возведены деревянные конструкции. Данный объект находится на территории современной Хлебной площади г. Самары и был изучен во время археологических раскопок в 2014, 2017 и 2019 гг. (рис. 1). Показано, что деревянные сооружения были созданы для уменьшения оползневых и эрозионных процессов, характерных для изученной территории в то время. При этом в целях выравнивания поверхности вокруг крепости были созданы мощные насыпные слои (до 7–8 м высотой) преимущественно из навоза и строительного мусора [8–10].

Следующий значительный этап освоения подземного пространства города был связан с началом прокладки коммунальных сетей – Самарского водопровода в конце XIX в. Поскольку большая часть сетей расположена в подземном пространстве города, прокладка данных коммуникаций требовала больших объемов подземного строительства. На плане города Самары 1885 г. (рис. 2) уже показана сеть водопроводных труб (проект инженера Н.П. Зимина), и в 1886 г. произошло открытие Самарского водопровода.

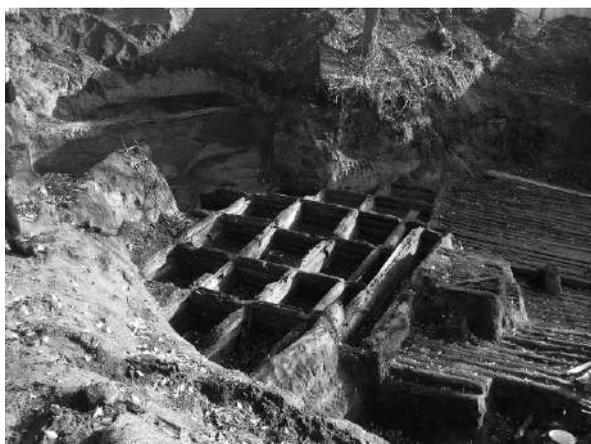


Рис. 1. Общий вид археологических раскопок на Хлебной площади г. Самары разных лет

К началу 1917 г. общая протяженность Самарского водопровода составляла около 70 км. В настоящее время по данным официального сайта МП «Самараводоканал» водопроводные сети города имеют общую длину более 1500 км, а канализационные сети – более 1200 км.

Значительные объемы подземного строительства были проведены в годы Великой Ответственной войны, когда в Самаре (тогда г. Куйбышев) была построена система объектов оборонного значения (бункеров) [11, 12]. В 1941 г. город Куйбышев получил статус «Запасной столицы», что привело к масштабному строительству защитных сооружений под землей (заглубленных командных пунктов – ЗКП). К ним относятся: одно из самых известных убежищ на территории России – «Бункер Сталина», а также «Бункер Калинина» или ЗКП «Красной Армии» (на площади Куйбышева), «Бункер Жукова» (на 7-й просеке), «Бункер Берии» или «Бункер НКВД» (около Хлебной площади), «Бункер связи ВМФ СССР». В настоящее время бункеры находятся в разном состоянии, например ЗКП «Красной армии» является действующим (командный пункт администрации Самары на случай чрезвычайной ситуации), «Бункер Сталина» также действующий и относится к ведению МЧС, но туда разрешен доступ экскурсий, а большинство бункеров заброшено, затоплено грунтовыми водами и разрушается.

В середине XX столетия в условиях противостояния и «холодной войны» застройка города Самары велась с учетом необходимости создания убежищ гражданской обороны. Их можно разделить на два типа: поддомные бомбоубежища (оборудованные в подвальных помещениях домов) и бомбоубежища заводов. В этот период были созданы сотни поддомных убежищ, большинство из которых в настоящее время заброшено.

Во время Великой Отечественной войны в г. Куйбышев было эвакуировано множество предприятий. Построенные в период войны и после нее бомбоубежища заводов были рассчитаны на выживание в условиях радиоактивного или биологического загрязнения. К ним относились убежища заводов «Прогресс», «Старт», «ЗиМ» «ППЗ № 4» и др. В настоящее время большинство из них разрушено.

В 1980 г. в Куйбышеве было начато строительство метрополитена, а с 1987 г. производится регулярная перевозка пассажиров. В настоящее время протяженность линии Самарского метрополитена составляет 11,6 км (общая длина перегонных тоннелей и главных путей – 22,7 км), он состоит из 10 станций (из них 9 – подземных и 1 – наземная). Самая глубокая станция Самарского метрополитена –

«Гагаринская» (17,5 м), наименьшая глубина у станций «Спортивная», «Советская», «Победа» и «Безымянка» (около 8 м). В ближайшем будущем планируется продолжение строительства станций Самарского метрополитена (рис. 3).

**Исследования и их систематизация.** Целью статьи является изучение особенностей подземной урбанизации на территории Самары и ее влияние на инженерно-геологические процессы изученной территории. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: 1) изучить основные этапы развития подземного строительства на территории города; 2) провести инженерно-геологическое районирование (систематизацию) и дать характеристику основным протекающим экзогенным геологическим процессам; 3) выявить наиболее опасные территории, на которых при развитии подземного строительства может произойти активизация экзогенных геологических опасностей.

При написании статьи использовались методы анализа источников научной литературы, полевое обследование и описание, табличный и графический методы.

Город Самара расположен на водоразделе и долинах рек Самары и Волги. Исследования доктора геолого-минералогических наук В.И. Рачитского [13], проведенные ещё в 1969 г., дали возможность разделить территорию города Самары (Куйбышева) по инженерно-геологическим условиям строительства на семь районов с указанием их особенностей (рис. 3).

*Первый инженерно-геологический район (1-ИГР)* охватывает пойму р. Самары. Вследствие затопления указанного района в половодье и постоянного покрытия пониженных участков водой после возведения Саратовской ГЭС, данный район для строительства, в том числе подземного, является непригодным.

*Второй инженерно-геологический район (2-ИГР)* приурочен к долине р. Самары, представляя собой 1-ю надпойменную древнюю (хвальнойскую) террасу. Она охватывает на правобережье часть Кировского района, поселки Зубчаниновка, Смышляевка и аэродром. На левобережье – поселок Кряж, район новостроек Волгарь, нефтеперерабатывающий завод и ряд других заводов. 2-ИГР представлен аллювиальными отложениями в виде слоистых и косослоистых суглинков, песков и супесей, с максимальной мощностью 25 м. Глубина зеркала грунтовых вод составляет единый водоносный горизонт с водами пойменных отложений в пределах абсолютных отметок 30-40 м. В целом в пределах 2-ИГР породы характеризуются допустимой нагрузкой от 1,5 до 2,5 кг/см<sup>2</sup> и являются в той или иной степени просадочными. Оценка просадочности на каждой отдельной строительной площадке

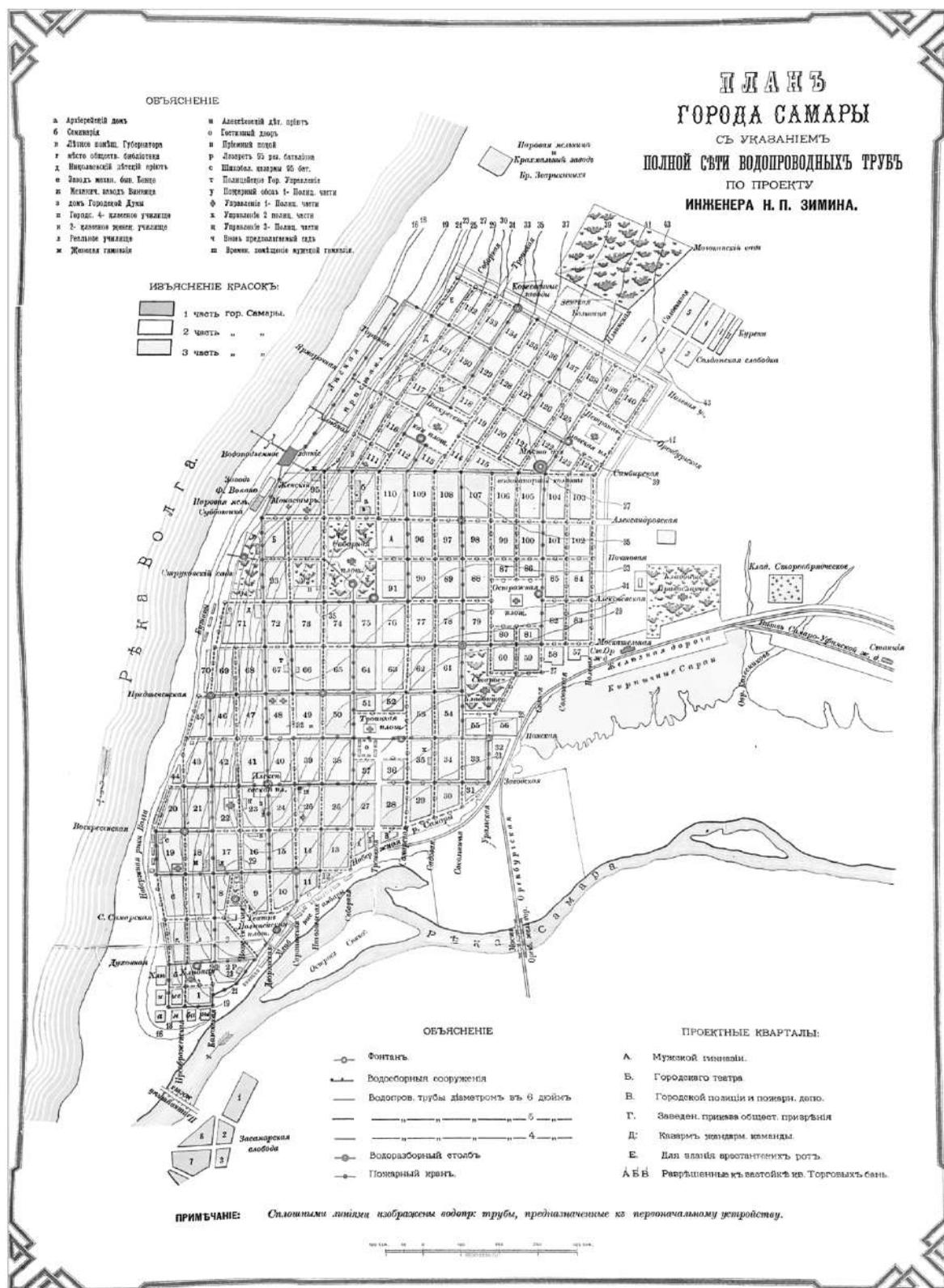


Рис. 2. План города Самары с указанием полной сети водопроводных труб по проекту инженера Н.П. Зимины

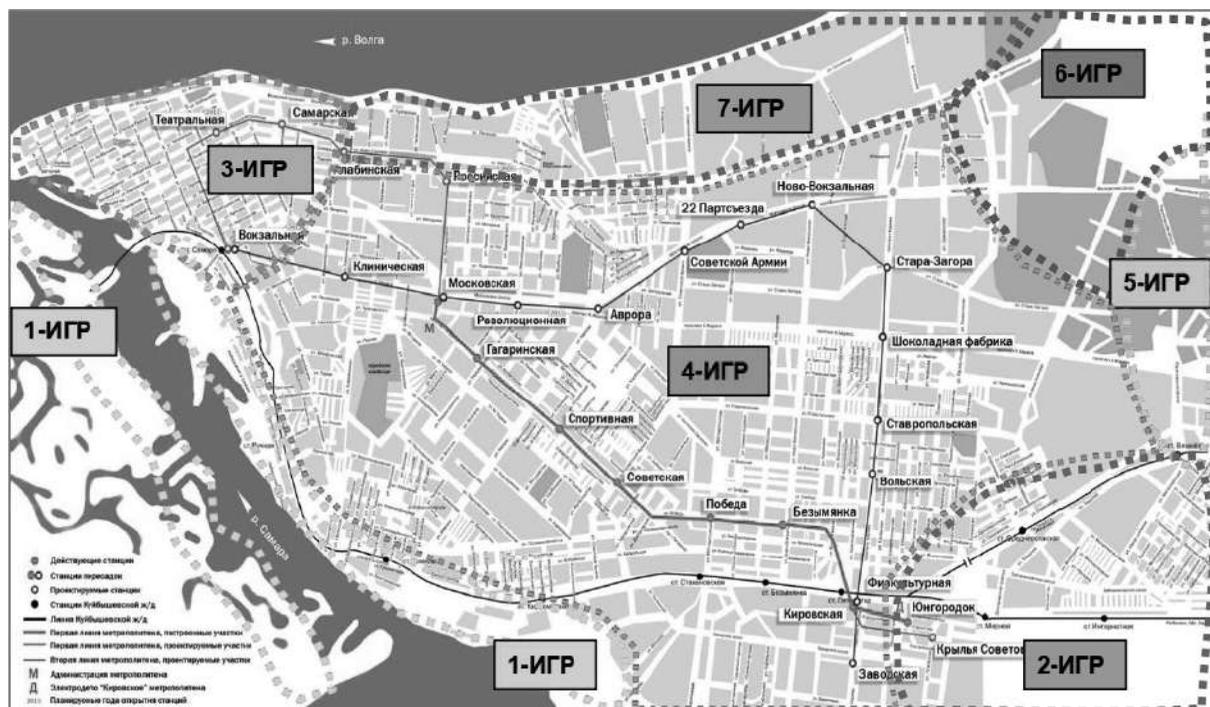


Рис. 3. Схема г. Самары с указанием условных границ районов с различными инженерно-геологическими условиями строительства

должна производиться дополнительно. Для развития подземного строительства второй инженерно-геологический район может быть пригодным, но в настоящее время он не является актуальным для данной территории города.

*Третий инженерно-геологический район (3-ИГР)* приурочен к высокой части г. Самары от ул. Полевой до Хлебной площади. Он охватывает собой территорию распространения четвертичных аллювиальных отложений 2-й надпойменной древней террасы у слияния рек Волги и Самары. Бровки террасы снижены процессами денудации и, особенно на самарском склоне, слабо выражены в рельефе. Этот район, по данным В.И. Рачитского, сложен слоистыми и косослоистыми древнечетвертичными аллювиальными песками и супесями мощностью до 30 м. Толщи песков подстилаются известняками, реже доломитами и являются частично пригодными для строительства.

Но в целом 3-ИГР менее благоприятный для застройки, так как на его территории есть опасения встретиться с закарстованными породами казанского яруса. Уровень подземных вод, приуроченных к казанскому водоносному горизонту, располагается на абсолютных отметках от 30 до 40 м. В данном районе уже имеются объекты подземного строительства («Бункер Берии», подземные деревянные сооружения второй Самарской крепости XVIII в.),

кроме того в ближайшее время планируется строительство новых станций метро. Третий инженерно-геологический район характеризуется старой застройкой, большим количеством объектов культурного наследия, сохранение которых необходимо для поддержания уникального облика исторического центра города. Подземное строительство в данном районе сможет помочь решить проблему дефицита территории, но требует комплексного анализа всех потенциальных последствий строительства подземных объектов. Например, проблема возможной активизации карстовых процессов требует проведения дополнительных инженерно-геологических исследований.

*Четвертый инженерно-геологический район (4-ИГР)* охватывает собой отдельные участки, приуроченные к водоразделу рек Волги и Самары и его склонам. С поверхности он сложен сплошным чехлом сыртовых и делювиальных суглинков мощностью от 5 до 25 м. Подстилающими породами на большой площади являются известняки, доломиты с линзами гипса и ангидрита казанского яруса верхней перми, на меньшей – красочными глинами татарского яруса. Постоянный водоносный горизонт в суглинках отсутствует. В целом 4-ИГР является пригодным для строительства, особенно там, где сыртовые и местами делювиальные суглинки подстилаются глинами. Данный район

также является благоприятным для развития подземного строительства, в настоящее время именно здесь расположены станции Самарского метрополитена.

Территория, где проходят линии и находятся станции метрополитена, охватывает отдельные участки, приуроченные к водоразделу рек Волги и Самары, на которой инженерно-геологическая обстановка в целом благоприятна для строительства. На этой территории грунтовые воды залегают значительно ниже глубины выработок. С поверхности водораздел слагается сплошным чехлом суглинков мощностью от 5 до 25 м. Подстилающими породами на большей площади являются известняки и доломиты, которые могут подвергаться карстообразованию, что потребует при проектировании детальной геотехнической разведки.

В развитии инженерно-геологических процессов и явлений при сооружении метрополитена в несцементированных осадочных породах могут возникать сдвиги и оседания грунтового массива. Над подземными выработками на поверхности земли могут формироваться мульды проседания глубиной от 20 до 250 мм. Здания и сооружения, которые расположены в подобных местах, могут подвергаться деформациям. Исходя из этого линии самарского метрополитена проложены преимущественно под дорожными магистралями.

*Пятый инженерно-геологический район (5-ИГР)* выделяется условно, в области выходов и близкого залегания глин ачкагыльского яруса неогена севернее поселка Смышляевка. Глины в основном весьма пластичные и на склонах способны к оползанию, особенно под дополнительной нагрузкой, что необходимо иметь в виду при строительстве в этом районе. Данный район по своим характеристикам в целом пригоден для развития подземного строительства, но оно в настоящее время не актуально.

*Шестой инженерно-геологический район (6-ИГР)* охватывает область распространения кирпично-красных глин сокской свиты татарского яруса, местами покрытых суглинками незначительной мощности. Этот район приурочен к водораздельным площадям в северо-восточной части города (район Клинической больницы) до Мехзавода. Глины заключают редкие, но достаточно мощные, выдержанные по простиранию прослои известняка и плотного алевролита. Эти прослои на отдельных участках близко залегают от поверхности и могут являться весьма надежным основанием для тяжелых сооружений. В целом 6-ИГР вполне благоприятен для надземного строительства, а также пригоден для освоения подземного пространства, но это здесь пока не актуально.

*Седьмой инженерно-геологический район (7-ИГР)* занимает значительную площадь, тянущуюся широкой полосой вдоль левобережного склона долины р. Волги от Постникова оврага до северной границы города, ограниченной р. Сок. В пределах района выходят на поверхность или близко залегают от нее известняки и доломиты верхнего карбона, нижней и верхней перми. Породы сильно закарстованы. При проектировании объектов в этом районе всегда необходимо детально разведывать строительную площадку бурением на глубину развития активной зоны основания сооружения (сжимаемой толщи). При выявлении карстовых пустот следует цементировать их или принимать другие меры, препятствующие их опасному влиянию на строительство. В 7-ИГР актуально развитие подземного строительства из-за наличия дефицита территории, но это требует применения дополнительных технических и конструктивных решений.

Примером влияния активного подземного строительства на геологические процессы в 7-ИГР является подъем уровня грунтовых вод по причине утечек из коммуникаций. Инфильтрация утечек вызывает усиление карстовых процессов, в результате которых образуются подземные и поверхностные пустоты. На поверхности в итоге образуются карстовые провалы и воронки. Похожий результат можно видеть в районах 3-ИГР и 4-ИГР вследствие активизации процессов суффозии и просадочности. На территории города Самары известны случаи образования пустот под зданиями, что приводило к образованию трещин в стенах и даже к их обрушению. На одной из станций метрополитена (в 4-ИГР) происходит осадка сооружения под действием нагрузки от автомобилей на дорогах, расположенных над линией метро.

Таким образом, подземное строительство в настоящее время является одним из наиболее перспективных направлений градостроительной деятельности. Однако непрофессиональный подход и геотехническая некомпетентность может привести к значительному или необратимому ухудшению геотехнической обстановки. Так, например, изменения в скорости протекания экзогенных геологических процессов, а также гидрологического режима поверхностных и подземных вод крайне негативно отражаются на существующих строительных объектах, создавая в грунтового массиве под сооружением условия для развития деформаций.

**Выводы.** В результате проведенного исследования можно отметить следующее:

1. В Самаре высока потребность в увеличении объемов подземного строительства для

решения транспортных проблем и рационального использования городской территории, при этом для города характерны сложные инженерно-геологические и гидрогеологические условия строительства подземных сооружений.

2. Инженерно-геологические особенности территории города Самары характеризуются высокой пространственной неоднородностью четвертичных и коренных (дочетвертичных) горных пород.

3. Для оценки градостроительного развития Самары на основании разработанной систематизации территории по геотехническим признакам представлена схема районов с различными инженерно-геологическими условиями строительства.

4. При освоении подземного пространства необходимо не только предъявлять повышенные требования к безопасности выполнения работ при возведении сооружения и его надежности во время эксплуатации, но учитывать его геологические особенности, в том числе возможность активизации экзогенных геологических процессов.

5. Учитывая сложные инженерно-геологические условия на территории г. Самары, с целью обеспечения безопасности жизнедеятельности проекты нового строительства и объекты реконструкции должны проходить геотехническую экспертизу у компетентных специалистов-геотехников и фундаментостроителей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Освоение подземного пространства, его значение и преимущества / К.С. Петров, А.М. Гондусова, В.С. Еськов, А.А. Батора // Актуальные направления современной науки, образования и технологий: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 23 апреля 2020 г. Чебоксары, 2020. С. 21–27.

2. Братошевская В.В., Бей Н.Н., Гульбякова М.В. Основные тенденции развития подземной урбанизации // Наука и образование. Сохраняя прошлое, создаём будущее: сборник статей XIII Международной научно-практической конференции: в 3 ч. Пенза: Изд-во «Наука и просвещение», 2017. С. 246–248.

3. Коротаев В.П. Использование подземного пространства в Москве // Архитектура и строительство Москвы. 2009. Т. 543. № 1. С. 39–44.

4. Голицынский Д.М. Комплексное освоение подземного пространства больших городов // Транспорт Российской Федерации. 2006. № 5 (5). С. 92–94.

5. Каздым А.А. Техногенные грунты и техногенные отложения, техногенные ландшафты и культурный слой – современные проблемы классификации и систематики // Грунтоведение. 2014. № 1. С. 54–70.

6. Афонин А.П., Дудлер И.В., Зиангиров Р.С. Классификация техногенных грунтов // Инженерная геология. 1990. № 1. С. 115–121.

7. Петренко С.А., Кофф Г.Л. Инженерно-геологическое строение и инженерно-геологическая типизация Москвы // Инженерная геология и гидрогеология Москвы. М., 1989. С. 22–45.

8. Васильева Д.И. Геологические условия строительства Самарской крепости XVIII века на Хлебной площади г.о. Самара // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, В.П. Попова. Самара: СамГТУ, 2015. С. 252–257.

9. Баранова М.Н., Васильева Д.И. Геолого-геоморфологическое районирование на территории Самары // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. Самара: СамГТУ, 2016. С. 189–192.

10. Васильева Д.И., Баранова М.Н., Шиманчик И.П. Петрографическое изучение отложений Самарской крепости // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сборник статей 77-й Всероссийской научно-технической конференции / под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, В.Ю. Алпатов. Самара, 2020. С. 276–282.

11. Павлович И.Л., Ратник О.В. Тайны и легенды волжских подземелий. Самара: Изд-во «НТЦ», 2003. 251 с.

12. Александров К. Подземные этажи Самары: самарские диггеры исследуют подземелья Самары // Самарские судьбы. 2009. № 9. С. 78–85.

13. Рачитский В.И. Инженерно-геологическое районирование Куйбышевской области // Геология, геохимия и эксплуатация нефтяных месторождений. Куйбышев: КПГИ, 1969.

## REFERENCES

1. Petrov K.S, Gondusova A.M., Eskov V.S., Batora A.A. Underground space development, its importance and advantages. *Aktualnye napravleniya sovremennoi nauki, obrazovaniya i technologii. Materialy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferencii* [Actual directions of modern science, education and technologies. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference]. Cheboksary, 2020, pp. 21-27. (in Russian)

2. Bratoshevskaya V.V., Beya N.N., Gul'byakova M.V. Main tendencies of underground urbanization development. *Nauka i obrazovanie: sohranyaya proshloe, sozdaem budushee. Sbornik statei XIII mezhduнародnoi nauchno-prakticheskoi konferencii* [Science and education: preserving the past, creating the future. collection of articles of XIII International scientific-practical conference : in 3 p.]. Penza, 2017, pp. 246-248. (in Russian)

3. Korotayev V.P. Use of underground space in Moscow. *Arhitektura i stroitelstvo Moskvy* [Architecture and construction of Moscow], 2009, v. 543, no 1, pp. 39-44. (in Russian)

4. Golitsynskiy D.M. Complex development of the big cities underground space. *Transport Rossiiskoi Federacii* [Transport of the Russian Federation], 2006, no. 5 (5), pp. 92-94. (in Russian)

5. Kazdym A.A. Technogenic soils and technogenic deposits, technogenic landscapes and cultural layer

- modern problems of classification and systematics. *Gruntovedenie* [Soil Science], 2014, no. 1, pp. 54-70. (in Russian)

6. Afonin A.P., Dudler I.V., Ziangirov R.S., Lychko Y.M., Ogorodnikova E.N., Spiridonov D.V., Chernyak E.R., Drozdov D.S. Classification of Technogenic Soils. *Inzhenernaya Geologiya* [Engineering Geology], 1990, no. 1, pp. 115-121. (in Russian)

7. Petrenko S.A., Koff G.L. Engineering and Geological Structure and Engineering and Geological Typification of Moscow. *Inzhenernaya geologiya i gidrogeologiya Moskvy* [Engineering Geology and Hydrogeology of Moscow]. Moscow, 1989, pp. 22-45. (in Russian)

8. Vasilieva D.I. Geological conditions for the construction of the Samara fortress of the 18th century on the Khlebnaya square of the city of Samara. *Tradicii i innovacii v stroitelstve i architecture. Stroitelstvo*. [Traditions and innovations in construction and architecture. Construction]. Samara: Samara State University of Architecture and Civil Engineering, 2015, pp. 252-257. (in Russian)

9. Baranova M.N., Vasilieva D.I. Geological and geomorphological zoning on the territory of Samara. *Tradicii i innovacii v stroitelstve i architecture. Stroitelstvo*. [Traditions and innovations in construction and architecture Construction]. Samara: Samara State University of Architecture and Civil Engineering, 2016, pp. 189-192. (in Russian)

10. Vasilieva D.I., Baranova M.N., Shimanichik I.P. Petrographic study of the Samara fortress deposit. *Tradicii i innovacii v stroitelstve i architecture. Stroitelstvo*. [Traditions and innovations in construction and architecture Construction]. 2020. pp. 276-282. (in Russian)

11. Pavlovich I.L., Ratnik O.V. Secrets and legends of Volga dungeons. *Samarskie sud'by* [Samara Fates]. Samara: Scientific and Technical Center Publishing House, 2003, 251 p.

12. Aleksandrov K. Underground floors of Samara: Samara Diggers explore dungeons of Samara. *Samarskie sud'by* [Samara Fates]. 2009, no. 9, pp. 78-85. (in Russian)

13. Rachitsky V.I. Engineering-geological zoning of the Kuibyshev region. *Sbornik "Geologiya, geohimiya i ekspluatatsiya neftyanyh mestorozhdenii* [Collection "Geology, geochemistry and exploitation of oil fields"]. Kuibyshev: KPTI, 1969.

Об авторах:

**ВАСИЛЬЕВА Дарья Игоревна**

кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: vasilievadi@mail.ru

**VASILIEVA Daria I.**

PhD in Biology, Associate Professor of the Construction Mechanics, Engineering Geology, Bases and Foundations Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: vasilievadi@mail.ru

**БАРАНОВА Маргарита Николаевна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: mnbaranova@yandex.ru

**BARANOVA Margarita N.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Construction Mechanics, Engineering Geology, Bases and Foundations Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: mnbaranova@yandex.ru

**МАЛЬЦЕВ Андрей Валентинович**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: geologof@yandex.ru

**MALTSEV Andrey V.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Construction Mechanics, Engineering Geology, Bases and Foundations Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: geologof@yandex.ru

**СОКОЛОВА Светлана Владимировна**  
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры  
строительства  
Самарский государственный университет путей  
сообщения  
443066, Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2 В  
E-mail: sokolova9967@mail.ru

**SOKOLOVA Svetlana V.**  
PhD in Engineering Science, Associate Professor of the  
Construction Chair  
Samara State Transport University  
443066, Samara, Svobody str., 2 B  
E-mail: sokolova9967@mail.ru

**ШИМАНЧИК Инесса Петровна**  
кандидат биологических наук, главный специалист  
АО «Научно-исследовательский институт  
железнодорожного транспорта»  
(АО «ВНИИЖТ», г. Москва)  
129626, Россия, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, 10  
E-mail: geoid76@mail.ru

**SHIMANCHIK Inessa P.**  
PhD in Biology, Chief Specialist  
JSC Scientific Research Institute of Railway Transport  
129626, Russia, Moscow, 3rd Mytishchinskaya str., 10  
E-mail: geoid76@mail.ru

Для цитирования: *Васильева Д.И., Баранова М.Н., Мальцев А.В., Соколова С.В., Шиманчик И.П.* Подземная урбанизация на территории города Самары и ее негативные последствия // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 77–85. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.12.

For citation: *Vasilieva D.I., Baranova M.N., Maltsev A.V., Sokolova S.V., Shimanchik I.P.* Samara City Underground Urbanization Development and Its Consequences. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 77–85. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.12.

## ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «САМАРАСТРОЙИСПЫТАНИЯ»

Направления  
деятельности



проведение сертификационных испытаний строительной продукции в соответствии с закрепленной областью аккредитации, испытание экспериментальных образцов строительной продукции, испытание опытных образцов при постановке промышленной продукции на производство, испытание зданий и сооружений в процессе приемки и эксплуатации, испытание серийно выпускаемой продукции, периодические испытания образцов, взятых в торговле, контроль качества строительной продукции, периодическая проверка состояния производства, обследование зданий и сооружений, выполнение судебных экспертиз в области строительства и пр.

Руководитель



**Владимир Александрович ЗУБКОВ**  
кандидат технических наук

Контакты



443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
(846) 242-50-87  
samstroyisp@gmail.ru

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



УДК 72.47

DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.13

К. А. БОКАРЕВА  
М. В. СОЛОДИЛОВ

## ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНЫЙ И ПРИРОДНО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ГОРОДСКОГО ЛЕСОПАРКА МИКРОРАЙОНА ШЛЮЗОВОЙ ГОРОДА ТОЛЪЯТТИ

HISTORICAL, CULTURAL, NATURAL AND RECREATIONAL POTENTIAL  
OF THE CITY FOREST PARK OF SLUZOVAYA MICRODISTRICT OF TOLYATTI

*Целью статьи является комплексное исследование городского лесопарка, находящегося в границах микрорайона Шлюзовой Комсомольского района г. Тольятти с последующим проектным предложением его благоустройства. Исторический анализ схем генпланов и природных характеристик лесопарка призван переосмыслить особо ценную территорию для ее сохранения и развития в будущем. Ставится задача оценки и сравнения осуществленных объектов прилегающей исторической застройки для использования выявленного языка форм в новом предложении благоустройства.*

*The purpose of the article is a comprehensive study of the urban forest park located within the boundaries of the Sluzovaya microdistrict, Komsomolsky district of Togliatti, with a subsequent project proposal for its improvement. The historical analysis of the general plans and natural characteristics of the forest park is designed to rethink a particularly valuable territory for its preservation and development in the future. The task is to evaluate and compare the implemented objects of the adjacent historical development, in order to use the identified language of forms in the new improvement proposal.*

**Ключевые слова:** лесопарк, память, история, парк культуры и отдыха, Тольятти, туристическая привлекательность

**Keywords:** forest park, memory, history, culture and recreation park, Tolyatti, tourist attraction

Городской лесопарк микрорайона Шлюзовой – одно из достопримечательных мест г. Тольятти, сравнимых с другими ключевыми объектами микрорайона, такими как ансамбль исторической застройки 50-х гг. прошлого столетия, искусственный канал и окрестности Жигулевской ГЭС (ранее Куйбышевская ГЭС). Массив лесопарка в настоящее время изолирован поздней застройкой от Задельненского бора. Охранный режим соснового бора установлен 25.09.1967 г. решением Куйбышевского облисполкома и подтверждён Постановлением Правительства Самарской области от 29.12.2012 г. [1, с. 177]. Средний возраст сосен составляет приблизительно 120 лет.

До строительства Жигулевской ГЭС и переноса города Ставрополя из зоны затопления,

недалеко от современного лесопарка располагалось село Зеленовка, которое будет перенесено из-за попадания в зону затопления. Топоним происходит от фамилии помещика Ивана Андреевича Зеленого. На первоначальной схеме генплана 1951 г. можно отметить включение лесного массива в планировочную структуру поселка, но без какого-либо намека на парк. Ландшафтное благоустройство было предложено только для территории вдоль канала. Следы хозяйственной деятельности и построек на территории лесопарка уже видны на воздушных снимках 1968 г. По всей видимости, благоустройством лесопарка занялись в 70-х гг. прошлого столетия. От этого периода остались «остовы» навесных, солнцезащитных конструкций, лавочек, система дорожек и разрушенный

фонтан. Имеется зона заброшенных очистных сооружений и обслуживающего подземного сооружения, в настоящее время эти бетонные конструкции представляют угрозу жизни людей и животных. Бывший фонтан привязан к городской застройке и находится на оси улицы. Небольшой лесной массив начиная с середины XX в. претерпевает сильнейшее антропогенное воздействие. С южной стороны выкапываются стихийные подвалы, прокладываются канавы, линейные объекты инфраструктуры. Лесопарк выступает своего рода санитарно-защитной зоной между промышленной территорией и жилыми зданиями, при этом с севера «прикрывая» железнодорожные пути, а с юга – завод железобетонных конструкций.

Городские леса имеют особую экологическую ценность в качестве рекреационной территории, обеспечивающей отдых населения, способствующей снижению уровня загрязнения атмосферного воздуха, шумового воздействия [2]. Такие леса имеют ограничения на их использование в рекреационной деятельности, на размещение некапитальных строений, предназначенных для отдыха и занятий спортом. Исходя из Лесного Кодекса РФ, городские леса располагаются на территориях населенных пунктов и подразделяются на лесничества и лесопарки. В схеме межевания лесопарка микрорайона Шлюзовой имеется сразу две зоны.

Территория лесопарка довольно близко примыкает к ансамблю исторической застройки начала 50-х. В первоначальной схеме генплана 1951 г. лесопарк был включен в транспортный и планировочный каркас поселка, без архитектурной проработки. Парковое оформление предполагалось для южной территории поселка, раскрывающегося на канал. Историко-архитектурное наследие поселка до сих пор вызывает интерес и влияет на формирование среды микрорайона.

Точкой отсчёта для возникновения многих городов и рабочих поселков в Самарской области стало строительство Куйбышевского гидроузла в районе города Жигулевска (1951–1955 гг.) как части грандиозного государственного проекта «Большая Волга» [3]. Для возведения рабочих поселков вокруг ударной стройки Куйбышевской ГЭС (в настоящее время Жигулевская ГЭС) были задействованы специалисты Ленинградского Отделения Гипрогора. Автором проекта жилой застройки Шлюзового выступил архитектор Илья Георгиевич Ромм. Проект претерпел несколько трансформаций. Первая схема отличалась замкнутыми домами-каре с вставками ризалитов. Некоторые идеи застройки несут в себе черты «ленинградской» школы, получившей развитие из-за проектов

послевоенного восстановления Ленинграда, Севастополя и других городов. Именно в этот период архитектурные проекты были в максимальной степени насыщены утопическими характеристиками, отражающими генеральное стремление «создать стабильную среду», достойную народа-победителя [4]. На передний план выходила «образная тема», которая должна была отвечать ожиданиям зрителей: идеологическим, аксиологическим, символическим, мемориальным. Был осуществлен принцип построения уравновешенной асимметричной композиции, с акцентом на многоэтажную башню, зеленый партер-площадь и здание управления шлюзов. Не обошлось и без «осевого восприятия», типичного для послевоенного «триумфализма» – ось улицы Крылова. Весь центральный ансамбль хорошо рассчитан на динамичное восприятие со стороны проплывающих по каналу зрителей. Застройка поселка Шлюзового – пример камерного, а не тоталитарного масштаба, что сближает ее с послевоенной архитектурой центра Севастополя [5]. Умеренно-солнечная погода послужила причиной выбора своеобразного колористического решения зданий. 10 сентября 1951 г. Управлением делами Совета министров РСФСР проект Шлюзового был утвержден с изменениями, которые неоднократно вводились до 1955 г.

Лесопарк микрорайона Шлюзовой является природно-рекреационным пространством в структуре города. В территорию лесопарка включено несколько зон, которые в соответствии со схемой градостроительного зонирования города Тольятти включают в себя зону городских лесов и лесопарков, а также зону территорий озеленения общего пользования [6].

Антропогенное воздействие с течением долгих лет отразилось на природном состоянии лесопарка, сказалось на его видовом биоразнообразии. В настоящее время лесопарк остается природным оазисом в городской среде, необходимым источником восстановления жизненных сил населения. Для комфортного пребывания человека без вреда окружающей среде возникает необходимость поиска и создания условий бережной эксплуатации лесопарка.

Вопрос благоустройства островка леса впервые был озвучен в рамках социального проекта «Школа двороводов». В качестве предпроектного исследования был запущен социологический опрос, целью которого ставилось выявление базовых ценностей территории, поиск характерных черт ее идентичности. Всего в опросе приняло участие 578 респондентов, из которых 443 – жители микрорайона Шлюзовой.

В опросе предлагалось отметить актуальность некоторых локаций. Таким образом,

респонденты хотели бы видеть на территории лесопарка скейтплощадку, водоем, фестивальную площадку. Один из вопросов предлагал респонденту описать Шлюзовую тремя словами. Мнения разделились на два противоположных образа – позитивный и негативный (рис. 1).



Рис. 1. Образы настроения – позитивный и негативный

В позитивном образе отмечается спокойствие, уют, камерность. В негативном – отдаленность, тоска, социальная напряженность. В большинстве случаев позитивный образ создают люди, живущие или ранее жившие в микрорайоне, которые с теплотой и трепетом относятся к «родному» месту. Жители других районов города чаще создают негативный образ, который тесно связан с историей микрорайона, со строительством ГЭС, хотя чрезвычайные ситуации в Шлюзовом происходят реже, нежели в других районах. Негативный образ может быть развеян путем создания комфортной городской среды, исторического просвещения и привлечения туристов.

Визуальный осмотр территории выявил ряд недостатков. Парк оказался не приспособлен для маломобильных групп населения, которые при всем желании не могут пользоваться этой территорией из-за отсутствия адаптированного входа в парк. Было отмечено отсутствие объектов транспортной инфраструктуры, обеспечивающей дополнительный доступ к территории объекта. Совершенно не развита экономика парка, отмечается почти полное отсутствие коммерческих

объектов, дополняющих событийное наполнение территории.

Пространственная организации среды отличается отсутствием организованных мест отдыха и пунктов по сбору мусора. Стихийно сложенная сеть тропинок и дорожек находится в неудовлетворительном состоянии. Не предусмотрено места для барбекю, вследствие чего складывается пожароопасная ситуация. Обломки и руины прошлого парка представляют угрозу для посетителей. Нет четкой границы парка, не обозначены главный и второстепенные входы. Территория граничит с гаражными массивами, промышленными предприятиями, что создает социально-напряженную среду.

В перспективе парк может стать уникальной единицей в структуре микрорайона. Для этого необходимо обеспечить пешеходную связь между парком и исторической ансамблевой застройкой, предусмотреть благоустроенный выход к набережной канала, продумать сценарий развития территории для привлечения туристов.

Концепция будущего парка должна предусматривать сохранение ландшафта с обеспечением комфортной среды и добрососедства для людей, животных и растений. Превращение естественной лесной среды в лесопарковый ландшафт следует решать приемами пространственно-планировочной организации. Размеры и расположение функциональных зон определяются такими факторами, как: общий функциональный профиль лесопарка; расположение территории в плане города и района; направление и расположение основных магистралей; транспортная и пешеходная доступность территории; направление основных потоков посетителей; сложившиеся рекреационные места и виды массового отдыха.

На рис. 2 определена пешеходная доступность лесопарка в структуре микрорайона Шлюзовой. Зоны пешеходной доступности с радиусами 500 и 1000 м покрывают практически половину микрорайона, остальная часть доступна с использованием транспорта. Жилая застройка с восточной и южной стороны лесопарка определяет наиболее посещаемую зону территории.

На рис. 3, 4 показан анализ активности велосипедистов и пешеходов с помощью «тепловой» карты активности Strava [7], это позволило определить центральные входы, главные оси лесопарка и стихийно сложившуюся сеть дорожек и связей.

Для пользователей транспорта была проанализирована доступность остановочных пунктов. Схема, изображенная на рис. 5, обозначает покрытие близлежащих остановочных пунктов

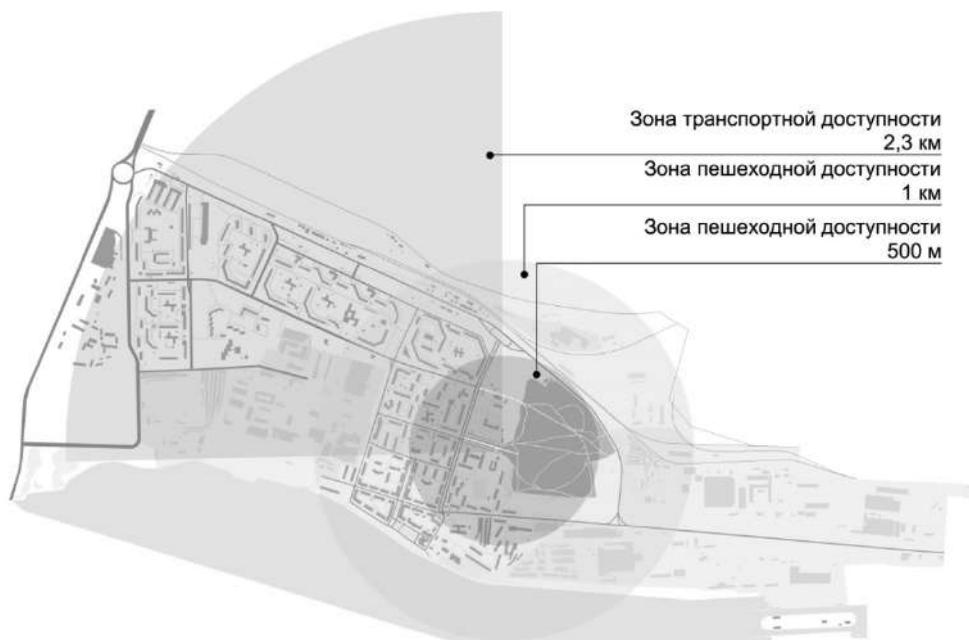


Рис. 2. Пешеходная доступность лесопарка



Рис. 3. Активность пешеходов  
(Источник: карта активности Strava) [10]



Рис. 4. Активность велосипедистов  
(Источник: карта активности Strava)

с радиусом доступности 250 м. Следовательно, можно отметить, что наиболее доступными являются восточная и южная части лесопарка.

При исследовании территории, с восточной стороны были обнаружены остатки очистных сооружений, которые представляют опасность для людей и животных. Анализ международно-

го опыта показывает, что индустриальное наследие может быть переосмыслено и получить вторую жизнь. Те же очистные сооружения могут быть частично засыпаны и озеленены.

В юго-западной части обнаружены погребки, используемые жителями, что в перспективе должно быть заменено на организованное хра-

нилище овощей. По периметру территории располагаются линии электропередач разного напряжения, охранные зоны которых представлены в соответствии с рис. 6. Охранная зона для воздушной линии напряжением 110 кВ – не менее 20 м, 35 кВ – не менее 15 м, 6 кВ – не менее 2 м (ГОСТ 12.1.051-90 «Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Расстояния безопасности в охранной зоне линий электропередачи напряжением свыше 1000В»). При определении границ проектируемой территории должны учитываться данные по охранной зоне линии электропередач.

Обзор историко-архитектурных материалов по архитектуре исторической застройки микрорайона Шлюзовой, выявленные уникальные характеристики местности позволили убедиться в необходимости включения элементов сложившейся исторической среды Шлюзового в композиционную модель. Это может придать проекту высокую степень формальной свободы и обогатить пространственно-семантический сценарий. Архитектурное решение всегда рассчитывает на визуализацию смыслов, а не на их скрытое присутствие в форме [8, с. 232]. При проектировании среды лесопарка важно не останавливаться на объектах или их совокупности, а отражать в них образ жизни, уклад, преемственность, память и значения для местных жителей. Все это рифмуется с хайдеггеровским пониманием слова «обитание». Обитать – это заботиться о среде, щадить ее, существовать

в своем повседневном окружении, обретать в нем жизненную опору [9]. Бережность по отношению к природе может проявляться, например, использованием свайных систем для пешеходных дорожек, не вредящих корням деревьев и растений. Существенные изменения ландшафта должны выноситься за пределы границ лесопарка, например подступы к парку, входные группы, границы, периферийные зоны. Все видовые точки на Жигулевские горы должны отвечать принципам раскрытия на природный фактор, в том числе с помощью организованных смотровых площадок. Повседневное окружение микрорайона – это старые советские вывески, с закрепившимися названиями, это особый колорит исторической застройки, циркульные оконные проемы, арки ворот, романтика ударныхстроек.

Для выявления характерных архитектурных и средовых особенностей окружающей территории была составлена матрица вдохновляющих элементов, своеобразный «ордер» среды (рис. 7). Матричный метод характерных элементов помогает определить образ парка и его оснащение в контексте его переосмысления. В микрорайоне еще различим дух советского прошлого, некий романтизм с нотами портового города. Сохранившиеся вывески советских времен могут стать прототипами шрифтов, используемых при благоустройстве лесопарка. Арки ворот, циркульные оконные проемы ассоциируются



Рис. 5. Пешеходная доступность остановочных пунктов

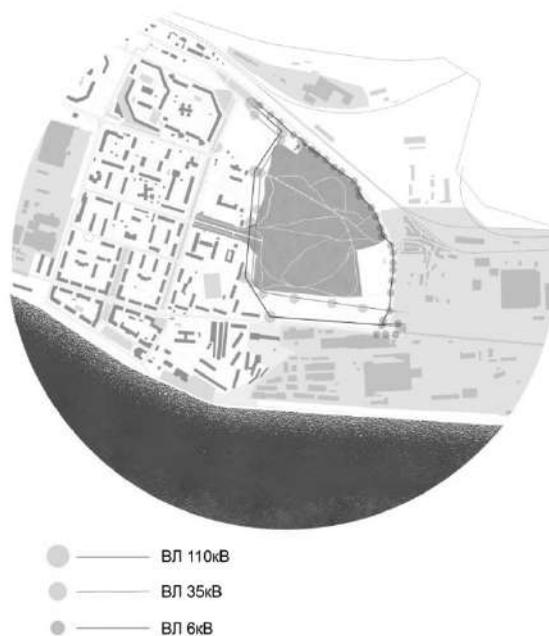


Рис. 6. Охранная зона ЛЭП по периметру проектируемой территории

с очертаниями животных, пригодных для создания детских игровых зон.

Метод колористических приемов адаптации, связанный непосредственно с окружающей застройкой, позволяет определить наиболее подходящие цветовые решения для наилучшей интеграции существующей застройки с новой рекреационной территорией. Постоянная колористическая модель основывается на характерных средовых элементах окружающей застройки, определяя цветовой диапазон (рис. 8).

Колористические приемы адаптации можно разделить на пять наиболее распространенных приемов:

- 1) использование современных материалов, но сближающихся с окружением по колориту и фактурности поверхности стен;
- 2) использование контрастных по колориту материалов, которые тем самым выявляют и выгодно подчеркивают историческое окружение;
- 3) использование характерных в данной среде облицовочных материалов стен;

4) использование традиционных для данного региона строительных материалов;

5) использование нейтрального современного строительного материала – стекла или зеркального стекла, отражающего окружение.

Данные приемы позволят визуально адаптировать проектируемую территорию, не нарушая целостность композиций существующей застройки.

Функциональное зонирование (рис. 9) подразумевает: размещение спортивных и детских площадок, зоны проведения мероприятий, смотровой площадки, зоны сухого ручья, зоны сухого пляжа, зоны кострищ, зоны сенсорного сада. Также предполагается организация лечебно-профилактических пеших маршрутов.

Зона бывшего фонтана подразумевает переосмысление места, становясь памятным местом, отсылающим к индустриальному прошлому. Очистные сооружения могут быть переоборудованы в новый ландшафт парка по типу Нордсайд парка в Денвере [10].

Зоны кострищ являются обязательным элементом при благоустройстве лесопарка для

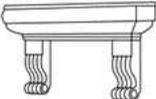
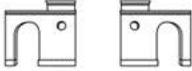
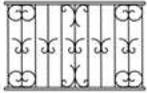
БИБЛИОТЕКА			
	ПРИБРЕЖНЫЙ		
		Волна	
			ПРИЧАЛ

Рис. 7. Матрица элементов среды



Рис. 8. Колористическая модель характерных элементов среды

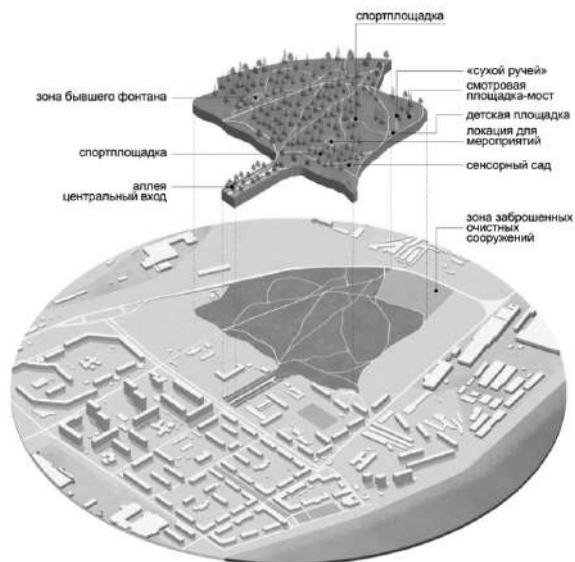


Рис. 9. Функциональное зонирование территории лесопарка

предупреждение пожароопасных ситуаций. Данные зоны предусматривают оборудованные места для розжига костра и устройства пикника. Зона проведения мероприятий образует деревянным подиумом, подразумевает проведение лекций, праздников и концертов. Зона сенсорного сада – это специально организованная природная территория, создающая благоприятные условия для общения детей и взрослых с городской природной средой.

Детская площадка предусматривает использование только экологически чистых материалов, таких как дерево, камень, песок. Располагается в самой активно посещаемой части парка для отдыха детей и их родителей.

Задействовав природный ландшафт, существует возможность устройства искусственного водоема в природном стиле. Альтернативой данному решению служит сухой ручей из растений и камней. На берегу пруда размещается зона сухого пляжа с уличными шезлонгами для принятия солнечных ванн. Смотровая площадка «Воздушная тропа» дает возможность посетителям лесопарка прогуляться среди деревьев с видом на Жигулевские горы и канал реки Волги. Трассировка дорожно-тропиночной сети проводится по основным путям движения пешеходов и кратчайших расстояний от остановочных пунктов, спортивных, досуговых и игровых площадок.

**Вывод.** Высокий культурно-рекреационный потенциал лесопарка микрорайона Шлюзовой в настоящее время слабо популяризован. Расположение лесопарка в структуре исторической застройки микрорайона Шлю-

зовой, близость федеральной трассы и станции железнодорожного вокзала – не только накладывают ограничения, но и дают преимущества в создании уникального природно-рекреационного пространства, работающего на туристическую и человеческую привлекательность места, с непростым индустриальным прошлым.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Казанцев И.В., Крючков А.Н. Система особо охраняемых природных территорий Самарской области // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2015. Т.24, № 2. С. 173–193.
2. Кичигин Н.В. Городские леса: режим охраны и использования // Журнал Российского права. 2011. № 6. С. 28–34.
3. Бурая И.В. Архитектура и планировка Жигулёвска: к истории основания единственного города на территории Самарской Луки. Тамбов: Грамота, 2017. № 3(77): в 2 ч. Ч. 2. С. 22–25.
4. Прудникова Т.Ю. Уроки архитектурного процесса: проект реконструкции въездной площади на проспекте им. И.В. Сталина в Ленинграде в начале 1950-х гг. // Вестник СПбГУКИ. 2014. № 1(18). С. 22–25.
5. Васильев Н.Ю., Овсянникова Е.Б. Послевоенная архитектура центра Севастополя // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. № 4(45). С. 135–144 [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://marhi.ru/AMIT/2018/4kvart18/08\\_vasilev/index.php](http://marhi.ru/AMIT/2018/4kvart18/08_vasilev/index.php) (дата обращения: 20.09.2020).
6. Власть / Материалы Генерального плана: [Электронный ресурс]: Шлюзовой.docx / О.Г. Бочкарёва // URL: <https://tgl.ru/structure/department/materialygeneralnogo-plana-a/> (дата обращения: 15.05.2020).

7. Strava/Карта активности // URL: <https://www.strava.com/heatmap#15.73/49.53931/53.46766/hot/all> (дата обращения: 25.02.2021).

8. Малахов С.А. Возможность интерпретации композиционной модели как проектной (опыт эксперимента на тему «Дом-Тетрис») // Вестник Ленинградского государственного университета им. А. С. Пушкина. 2015. Т.2, № 1. С. 225–235.

9. «Спонтанный ордер» как концепция архитектуры среды. Часть 1: Четверица Хайдеггера // URL: <https://prorus.ru/interviews/spontannyj-order-kak-koncepciya-arhitektury-sredy-chast-1-chetverica-hajdeggera/> (дата обращения: 19.03.2021).

10. Northside Park – Denver // URL: <https://tclf.org/landscapes/northside-park-denver> (дата обращения: 19.03.2021).

## REFERENCES

1. Kazantsev I.V., Kryuchkov A.N. *The system of specially protected natural areas of the Samara region. Samarskaya Luka: problemy regional'noj i global'noj ekologii*. [The system of specially protected natural areas of the Samara region. Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology], 2015, Vol. 24, no. 2, pp. 173-193. (in Russian)

2. Kichigin N.V. Urban forests: regime of protection and use. *ZHurnal Rossijskogo prava* [Journal of Russian law], 2011, no. 6, pp. 28-34. (in Russian)

3. Buraya I.V. *Arhitektura i planirovka ZHigulyovska: k istorii osnovaniya edinstvennogo goroda na territorii Samarskoj Luki* [Architecture and planning of Zhigulevsk: to the history of the founding of the only city on the territory of Samarskaya Luka]. Tambov: Gramota, 2017, Vol. 77, no. 3, pp. 22-25. ISSN 1997-292X (in Russian)

4. Prudnikova T.YU. Lessons from the architectural process: the project of reconstruction of the entrance area on the avenue im. I.V. Stalin in Leningrad in the early 1950s. *Vestnik SPbGUKI* [Bulletin of Saint Petersburg State University of Culture], 2014, Vol. 18, no. 1. (in Russian)

5. Vassiliev N., Ovsyannikova E. Sevastopol Centre Postwar Architecture. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2018, no. 4(45), pp. 135-144. Available at: [http://marhi.ru/eng/AMIT/2018/4kvart18/08\\_vasilev/index.php](http://marhi.ru/eng/AMIT/2018/4kvart18/08_vasilev/index.php) (accessed 20 September 2020) (in Russian)

6. *Vlast' / Materialy General'nogo plana* [Power / Materials of the Master Plan]. Available at: <https://tgl.ru/structure/departament/materialygeneralnogo-plana-a/> (Accessed 15 May 2020)

7. Strava/ Activity map. Available at: <https://www.strava.com/heatmap#15.73/49.53931/53.46766/hot/all> (Accessed 25 February 2021)

8. Malahov S.A. The possibility of interpreting the compositional model as a design model (experience of the experiment on the theme “House-Tetris”). *Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta im. A. S. Pushkina* [Vestnik of Leningrad State University], 2015, Vol.2, no.1, pp. 225-235. (in Russian)

9. “Spontaneous order” as a concept of the architecture of the environment. Part 1: Heidegger’s Quaternary. Available at: <https://prorus.ru/interviews/spontannyj-order-kak-koncepciya-arhitektury-sredy-chast-1-chetverica-hajdeggera/> (Accessed 19 March 2020) (in Russian)

10. Northside Park – Denver. Available at: <https://tclf.org/landscapes/northside-park-denver> (Accessed 19 March 2020).

Об авторах:

**БОКАРЕВА Ксения Андреевна**

магистрант

Тольяттинский государственный университет  
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14  
E-mail: senibok@yandex.ru

**BOKAREVA Kseniia A.**

Master’s Degree Student

445020, Russia, Tolyatti, Samara Oblast  
Belorusskaya str., 14,  
tel. (929) 710-23-70  
E-mail: senibok@yandex.ru

**СОЛОДИЛОВ Михаил Владимирович**

кандидат архитектуры, доцент центра дизайна  
Тольяттинский государственный университет  
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14  
E-mail: solodilove@mail.ru

**SOLODILOV Mikhail V.**

PhD in Architecture

Associate Professor, Design Center, Togliatti State University  
445020, Russia, Tolyatti, Samara Oblast  
Belorusskaya str., 14,  
tel. (906) 345-67-48  
E-mail: solodilove@mail.ru

Для цитирования: Бокарева К.А., Солодилов М.В. Историко-культурный и природно-рекреационный потенциал городского лесопарка микрорайона Шлюзовой города Тольятти // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 86–93. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.13.

For citation: Bokareva K.A., Solodilov M.V. Historical, Cultural, Natural and Recreational Potential of the City Forest Park of Sluzovaya Microdistrict of Tolyatti. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 86–93. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.13.

С. А. БУТЕНКО

## РЕСТАВРАЦИЯ ЗДАНИЙ СТАРОЙ САМАРЫ

## RESTORATION OF BUILDINGS OF OLD PART OF THE SAMARA CITY

*Для жителей Самары, многочисленных туристов города непосредственный интерес представляет Старая Самара с ее купеческим укладом жизни, памятниками истории, свидетельствующими о возникновении исторического поселения на берегах Волги и его развитии от возникновения деревянной крепости «Самарский городок» до современного города-миллионника. Проследить этот путь развития позволяет деятельность самарских архитекторов-реставраторов. Выполнение реставрационных работ – это весьма длительный и трудоемкий процесс, включающий изучение исторических документов и археологических находок, проведение научно-исследовательских работ.*

*For residents of Samara, numerous tourists of the city, old Samara is of direct interest with its merchant way of life, historical monuments testifying to the emergence of a historical settlement on the banks of the Volga and its development from the emergence of the wooden fortress "Samara town" to the modern million-plus city. The activity of Samara architects-restorers allows tracing this path of development. Carrying out restoration work is a very long and laborious process, including the study of historical documents and archaeological finds, research work.*

**Ключевые слова:** реставрация здания, проект реставрации, разделы проекта, реставрационные материалы, примеры реставрации

**Keywords:** building restoration, restoration project, project sections, restoration materials, restoration examples

История возникновения города Самары начинается с поселения-пристани Самара, которое относится к XIV в. и более чем на 200 лет возникло раньше официально установленной даты основания городского поселения Самара. Историю развития г. Самары можно проследить по археологическим и историческим находкам, которые представлены в музеях города. Согласно [1], к 1990-м гг. Самара «получает первый проект групповых зон охраны и зон регулирования застройки. В 1991-1993 гг. в рамках реализации федеральной программы «Возрождение» проведена инвентаризация архитектурного наследия. Были существенно расширены составленные ВООПИК в предшествующий период списки выявленных объектов культурного наследия по городам и впервые составлен список памятников по региону в целом. В списках охраняемого наследия только по Самаре оказалось более полутора тысяч объектов. В 1994 г. по результатам инвентаризации проведено картирование памятников истории, культуры, архитектуры Самары. Происходит осознание ценности не только объектов периода капитализации экономики, но и советского периода. В 2001-2003 гг. в рамках Федеральной целевой программы «Культура России (2001-2006 гг.)» и во исполнение постановления Правительства РФ от 05.07.2001 № 504 «Об общероссийском мониторинге состояния

и использования памятников истории и культуры...» на базе ВООПИК и под патронажем Министерства строительства Самарской области проходит мониторинг архитектурного наследия. Осуществляется выверка списков памятников в условиях развернувшейся экспансии новой застройки в исторические центры городов. Мониторинговые работы продолжают по сей день и осуществляются уже в плановом порядке государственным органом охраны культурного наследия. Продолжается работа по регистрации объектов архитектурного наследия в автоматизированной информационной системе «Единый государственный реестр объектов культурного наследия...» (АИС ЕГРКН)».

Наряду с этими памятниками истории, для жителей города и многочисленных туристов непосредственный интерес представляет архитектурный облик Старой Самары, который насчитывает более 800 исторических зданий и сооружений, входящих в перечень объектов архитектурного наследия г. Самары и охватывает период от первых государственных образований XIV в. до советского (1960 г.) и постсоветского периодов, вплоть до нашего времени.

Нередко Самара, как областная столица, ассоциируется с монументом Славы и Ладьей на новой набережной. Однако в городе достаточно зданий, выполненных в различных архи-

тектурных стилях: модерн, эклектика, неоромантизм, неоренессанс и др. [2–5].

Наиболее полный перечень архитектурного культурного наследия Самарской области приведен в [1], где показаны высококлассные примеры работ самарских архитекторов на различных этапах исторического развития города, приведены примеры строительной деятельности самарских купцов и меценатов, истории и судьбы объектов исторического наследия. Исходя из общей концепции развития «старой» части города Самары, реставрационные работы архитектурного наследия ведутся с сохранением стилиевой архитектуры и народного зодчества соответствующего исторического периода. При проведении реставрационных работ следует учитывать точку зрения великого русского ученого, художника и реставратора И.Э. Грабаря – «основной стимул реставрационного деяния – стимул сохранения, спасения памятника» [6]. Благодаря деятельности И.Э. Грабаря, его сподвижников и учеников, подллюбительская реставрационная деятельность в России была преобразована в систематическую научную дисциплину и переродилась в область профессиональной специализации, были созданы Центральные государственные реставрационные мастерские, которые в наше время носят имя И.Э. Грабаря.

В Академии строительства и архитектуры СамГТУ на базе архитектурного и других факультетов разработаны и внедряются учебные программы по темам: «Реставрация железобетонных и каменных конструкций» и «Материалы для ремонта и реставрации». В рамках данных учебных программ студенты разрабатывают эскизные проекты реставрации и выполняют лабораторные работы с использованием современных реставрационных материалов в соответствии с [7].

Началу реставрационных работ предшествует целый комплекс научно-исследовательских работ, связанных с определением категории технического состояния зданий и обеспечением техники безопасности при проведении реставрационных работ. Научно-исследовательские работы проводятся в соответствии с ГОСТ 31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» и СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений». Результатом данных работ является научно-технический отчет, в котором приводится конструктивная схема сооружения, показаны результаты основных обмерочных работ по сооружению и отдельным конструкциям, описание и фотофиксация дефектов и повреждений, определяется

категория технического состояния сооружения и даются рекомендации по проведению реставрационных работ.

Примером такой работы служит научно-технический отчет по результатам обследования особняка Субботина-Шихобалова, расположенного по адресу: г. Самара, ул. А. Толстого, д. 3 [8]. В отчете приведены результаты биологических, химических и физико-механических исследований строительных и отделочных материалов особняка, которые переданы в ЗАО «Горжилпроект» и явились неотъемлемой частью проекта реставрации особняка.

Аналогичные работы проводились сотрудниками СамГТУ по другим объектам архитектурного наследия в г. Самаре и области. Вопросы реставрации архитектурного наследия г. Самары и области посвящен ряд работ сотрудников СамГТУ [9–14].

Примером реставрации служит здание, расположенное в Самаре на пересечении ул. Галактионовской, 102/ул. Вилоновской, 24. В этом двухэтажном кирпичном здании с подвалом ранее располагалось Архиерейское подворье (рис. 1).

Здание было построено в начале XX в. и предназначалось для размещения правления Самарской губернской епархии. Его внешний архитектурный облик выполнен в стиле эклектики и романтического модерна.

В 1905 г. здание было реконструировано, сделан пристрой со стороны двора с антресольным этажом, изменен внешний вид кровли.

После Октябрьской революции 1917 года здание было национализировано и передано Самарскому губернскому отделу народного образования. В разное время там располагались школа, общежитие, индустриальный институт, институт культуры.

В настоящее время здание принадлежит «Корпорации развития Самарской области». Объект относится к памятникам регионального значения.

За реализацию проекта взялся творческий авторский коллектив в лице ООО «ВиП проект» (проектная документация) и ООО «Парекс» (рабочая документация). Научный руководитель – д. арх. Вавилонская Т.В.; архитекторы-реставраторы: Титова Е.С., Ежикова Е.Ю., Щербиненко С.И.; инженеры-реставраторы: Третьяков Н.В., Алпатов В.Ю. и др.

Принятые в эскизном проекте решения были вызваны необходимостью сохранения и приспособления объекта культурного наследия с учетом тех изменений, которые произошли в последние годы в средовом окружении памятника, что показано на рис. 2.



Рис. 1. Фотофиксация объекта до реставрации



Рис. 2. Эскизное решение проекта



Рис. 3. Общий вид здания после реставрации

Архитектурное решение приспособляемого объекта выполнялось с учетом углового местоположения здания и существенно обновленной в этой части города среды исторического центра.

Конструкция кровли и купол необходимы для того, чтобы со стороны улиц полностью экранировать диссонирующий объект (22-этажный жилой дом по адресу: ул. Молодогвардейская, д. 141).

Проведенные реставрационные работы заключались в следующем:

- восстановление двух проемов углового ризалита, преобразованных в оконные (в уровне первого этажа – входную дверь, в уровне второго этажа – балконную дверь) путем разборки кирпичной кладки;

- восстановление балкона углового ризалита в уровне второго этажа с ограждением в виде угловых кирпичных столбиков и кованой решетки между ними;

- восстановление утраченных архитектурных деталей и штукатурного слоя главных фасадов по сохранившимся образцам;

- на главных (уличных) фасадах выполнено заполнение наружных дверных проемов по сохранившимся образцам;

- восстановление колористического решения фасадов и конструкции кровли с куполом;

- установка навесов и ограждений над приямками для обеспечения водоотвода;

- демонтаж одноэтажного прибора советского периода, не обладающего историко-культурной ценностью и расположенного со стороны двора;

- восстановление филанчатого периметрального потолочного декора и др.

Общий вид здания после проведения реставрационных работ приведен на рис. 3.

При застройке Старой Самары учитывалась уникальная по целостности ландшафтно-про-

странственная организация города, которая включает большое количество объектов архитектурного наследия XIX – начала XX в. Застройка г. Самары велась в соответствии с проектом регулярной планировки, который учитывал сложившиеся градостроительные параметры города с его естественной прикрепляемостью к берегам рек Волги и Самары.

В городе строились преимущественно кирпичные и каменно-деревянные дома, которые без разрывов в застройке разделены поперечными кирпичными стенами-брандмауэрами на случай пожара. Примером таких зданий может служить двухэтажное каменное здание по адресу ул. Ленинская, 103 (рис. 4), особняк Зеленко на ул. Самарской, 179 (рис. 5) и жилой дом на ул. Л. Толстого, 69 (рис. 6). Как пример каменно-деревянного дома можно назвать двухэтажный жилой дом на ул. Галактионовской, 82 (рис. 7).

При обследовании зданий Старой Самары большой интерес вызывают элементы первоначального декора, украшающие здания. Поражают своей сложностью и изяществом эффектные резные наличники окон, карнизы с замысловатыми фигурными кронштейнами, изразцы, нарезные пилястры (рис. 8, 9). Роскошный деревянный второй этаж указывает на сочетание деревенского вкуса с классиче-



Рис. 4. Здание на ул. Ленинской, 103



Рис. 5. Особняк А.У. Зеленко на ул. Самарской, 179



Рис. 6. Жилой дом на ул. Л. Толстого, 69



Рис. 7. Жилой дом на ул. Галактионовской, 82



Рис. 8. Резные деревянные наличники и карнизы домов



Рис. 9. Оформление окон кирпичного дома

скими организующими методами архитектуры того времени.

Таких архитектурных жемчужин в нашем городе немало. Часть их жива и подвергается вдумчивой научной реставрации с сохранением самобытных и очень ценных страниц исторического прошлого.

Кроме жилых и общественных зданий большой интерес представляют производственные здания. К ним в первую очередь относится комплекс зданий Жигулевского пивоваренного завода, расположенный по адресу Волжский проспект, 4 (рис. 10). По проекту архитектора А. Шлехта на берегу реки Волги в 1880-1911 гг. был выстроен производственный комплекс, включающий здания элеватора, варницы, мойки, пастеризации, квартиры слу-

жащих и другие строения. Здания построены в стиле кирпичной эклектики, которая предусматривает кирпичный керамический фахверк с включением светлых элементов из природного тесаного бутового камня и силикатного кирпича. Данный комплекс зданий является одним из наиболее известных визитных карточек города и наиболее узнаваемым объектом со стороны Волги.

При дальнейшем развитии городского строительства при так называемой точечной застройке города хочется надеяться, что историческая часть города будет сохранена и успешно отреставрирована с сохранением традиций уездного города средневожской российской провинции.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Культурное наследие Самарской области. Т. 1. Объекты архитектурного наследия. Самара, 2020. 704 с.
2. Каркарьян В.Г. Модерн в архитектуре Самары / СГАСУ; Ин-т архитектуры и дизайна. Самара, 2006. 335 с.
3. Каркарьян В. Г., Неверова В. Л. По улицам старой Самары: путеводитель, Куйбышев: Кн. изд-во, 1988. 80 с.
4. Каркарьян В.Г. Река Волга – город Самара: путешествие сквозь века. Самара, 2011. 303 с.
5. Каркарьян В.Г. Деревянное зодчество Самары, или Осень патриархов / НИИ теории архитектуры и градостроительства Российской акад. архитектуры и строит. наук. Самара, 2002. 152 с.
6. Реставрация памятников архитектуры. М.: Стройиздат, 2000. 288 с.
7. Сухов Ю.В., Ковков И.В. Материалы для ремонта и реставрации. Самара, 2007. 24 с.
8. Научно-технический отчет по результатам биологических, химических и физико-механических обследований строительных и отделочных материалов особняка Субботина-Шихобалова, расположенного по адресу: г. Самара, ул. А. Толстого, 3, и разработке технологий биоцидных мероприятий на объекте НТЦ «Прогноз». Самара, 2010. 44 с.
9. Синельник А.К. История градостроительства и заселения Самарского края. Самара: Изд. Дом «Агни», 2003. 228 с.
10. Самогоров В.А. Архитектура Александра и Петра Щербачевых в Самаре / СГАСУ. Самара: ООО «СамЛюкс», 2004. 118 с.
11. Стадников В.Э. Самара. 81 архитектурный шедевр. Путеводитель по современной архитектуре. 1917-2006 гг. М.: Изд-во «Жираф», 2006. 263 с.
12. Вавилонская Т.В., Райхель Ю.Л. Новый подход к комплексной реконструкции исторических кварталов // Градостроительство и архитектура. 2020. № 4. С. 91–99. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.12.
13. Вавилонская Т.В. Архитектурно-историческая среда в условиях динамично развивающегося мега-



Рис. 10. Корпуса Жигулевского пивоваренного завода

полиса // Градостроительство и архитектура. 2017. № 4. С. 93-98. DOI:10.17673/Vest.2017.04.16.

14. Басс С.К., Самогоров В.А. Десять объектов самарского конструктивизма: стратегия сохранения и реставрации // Градостроительство и архитектура. 2019. № 2. С. 104–111. DOI:10.17673/Vestnik.2019.02.14.

## REFERENCES

1. Karkaryan V.G. *Derevyannoe zochestvo Samary, ili Osen' patriarhov/NII teorii arhitektury i gradostroitel'stva Rossijskoj akad. Arhitektury i stroit. Nauk* [Wooden architecture of Samara, or Autumn of the Patriarchs. Research Institute of the Theory of Architecture and Urban Planning of the Russian Acad. Architecture and builds Science]. Samara, 2002. 152 p.

2. Karkaryan V.G. *Modern v arhitekture Samary* [Modern in architecture of Samara]. Samara, SGASU, 2006. 335 p.

3. Karkaryan V.G., Neverova V.L. *Po ulicam staroj Samary: putevoditel'* [Along the streets of old Samara: a guide]. Kuibyshev: Book. Publishing house, 1988. 80 p.

4. Karkaryan V.G. *Reka Volga – gorod Samara: putestvie skvoz' veka* [The Volga River - the city of Samara: a journey through the ages]. Samara, 2011. 303 p.

5. *Kul'turnoe nasledie Samarskoj oblasti. T. 1. Ob"ekty arhitekturnogo naslediya* [Cultural heritage of the Samara region. Vol. 1. Objects of architectural heritage]. Samara, 2020. 704 p.

6. *Restavraciya pamyatnikov arhitektury* [Restoration of architectural monuments]. Moscow: Stroyizdat, 2000. 288 p.

7. Sukhov Yu.V., Kovkov I.V. *Materialy dlya remonta i restavracii* [Materials for repair and restoration]. Samara, 2007. 24 p.

8. *Nauchno-tekhmicheskij otchet po rezul'tatam biologicheskikh, himicheskikh i fiziko-mekhanicheskikh obsledovaniy stroitel'nyh i otdelochnyh materialov osobnyaka Subbotina-SHihobalova, raspolozhennogo po adresu: g. Samara, ul. A. Tolstogo, 3 i razrabotke tekhnologij biocidnyh meropriyatij na ob"ekte NTC «Prognoz»* [Scientific and technical report on the results of biological, chemical and physical and mechanical examinations of construction and finishing materials of the Subbotin-Shikhobalov mansion, located

at the address: Samara, st. A. Tolstoy, 3 and the development of technologies for biocidal measures at the facility STC "Prognoz"]. Samara, 2010. 44 p.

9. Sinelnik A.K. *Istoriya gradostroitel'stva i zaseleniya Samarskogo kraja* [The history of urban planning and settlement of the Samara region]. Samara: Ed. House "Agni", 2003. 228 p.

10. Samogorov V.A. *Arhitektura Aleksandra i Petra SHCherbachevych v Samare* [Architecture of Alexander and Peter Shcherbachevs in Samara]. Samara: OOO SamLux, 2004. 118 p.

11. Stadnikov V.E. *81 arhitekturnyj shedevr. Putevoditel' po sovremennoj arhitekture. 1917-2006 gg.* [Samara. 81 architectural masterpiece. A guide to modern architecture. 1917-2006]. M.: Publishing house "Giraffe", 2006. 263 p.

12. Vavilonskaya T.V., Raikhel Yu.L. A new approach to the complex reconstruction of historical quarters. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban planning and architecture]. 2020, no. 4, pp. 91-99. (in Russian)

13. Vavilonskaya T.V. Architectural and historical environment in a dynamically developing metropolis. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban planning and architecture], 2017, no. 4, pp. 93-98. (in Russian) DOI: 10.17673 / Vest.2017.04.16.

14. Bass S.K., Samogorov V.A. Ten objects of Samara constructivism: a strategy of conservation and restoration. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban planning and architecture], 2019, no. 2, pp. 104-111. (in Russian) DOI: 10.17673 / Vestnik.2019.02.14.

Об авторе:

### БУТЕНКО Сергей Александрович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций, доцент кафедры строительных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: m.s.ivanova79@mail.ru

### BUTENKO Sergey A.

PhD in Engineering Science, Senior Researcher of the Production of Building Materials Chair, Products and Structures, Associate Professor of the Building Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: m.s.ivanova79@mail.ru

Для цитирования: Бутенко С.А. Реставрация зданий Старой Самары // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 94–100. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.14.

For citation: Butenko S.A. Restoration of Buildings of Old Part of the Samara City. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 94–100. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.14.

Э. А. ГРОМИЛИНА  
В. А. САМОГОРОВ

## ЭЛЕМЕНТЫ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ КАК ФАКТОРЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДА

ARCHITECTURAL AND PLANNING ELEMENTS AS A FACTOR  
OF URBAN SUSTAINABLE DEVELOPMENT

*Города представляют собой сложные системы, состоящие из капитальных объектов (архитектурные объекты, транспортная система и другие инфраструктурные системы), государственных и негосударственных учреждений, социальных и экономических процессов, людей (в их различных аспектах и видах деятельности), а также природных компонентов (топография, гидрография, климат). В статье рассматриваются вопросы, связанные с этими специфическими аспектами, а также взаимосвязь элементов архитектурно-планировочной структуры города как пространства и системы. В рамках исследования проведен морфологический анализ планировки и застройки на примере г. Самары в контексте устойчивого развития с целью выявления и систематизации универсальных городских элементов.*

**Ключевые слова:** архитектурно-планировочная структура города, устойчивое развитие, городские элементы, устойчивая архитектура

Урбанизация – одна из основных движущих сил социальных, экономических, политических и экологических изменений во всем мире. Это связано с расширением городских территорий и увеличением доли всего населения, покидающего сельские районы и переезжающего в городские районы.

В условиях мировой глобализации растущие города XXI века больше не являются микрокосмами, которые автономны и связаны только со своим непосредственным окружением. Такие аспекты, как миграция, экологически безопасное развитие, эффективность использования ресурсов и энергии, образование и экономическое участие в транснациональном контексте являются основополагающими. Для сегодняшних городов это означает не что иное, как необходимость развития новой культуры глобальной ответственности. Современный город является рефлексивным, ответственным, контролируемым в своем росте, обучающимся, городом информационных технологий и общества знаний.

*Cities are complex systems consisting of capital objects (architectural objects, transport system and other infrastructural systems), state and non-state institutions, social and economic processes, people (in their various aspects and types of activities), also natural components (topography, hydrography, climate). The article discusses issues related to these specific aspects and the relationship between the elements of the architectural and planning structure of the city as a space and a system. Within the framework of the study, a morphological analysis of planning and development was carried out using the example of Samara in the context of sustainable development in order to identify and systematize universal urban elements.*

**Keywords:** city planning structure, sustainable development, urban elements, sustainable architecture

В связи с изменением климата, которому подвергается наша планета, необходимость в этике глобальной урбанизации становится особенно очевидной.

«Города» означают плотность, а агломерация вызывает нехватку пространства, природных ресурсов и места для передвижения.

Децентрализованная концентрация позволяет свести к минимуму недостатки моноцентрической разрастающейся плотности мегаполисов.

Столичные регионы с несколькими центрами с кооперативным разделением труда являются стабильными и устойчивыми моделями пространственного развития и представляют собой повседневную альтернативу моноцентрическому городу. Это связано с тем, что в их сетевой структуре центры обслуживания и работы со знаниями могут быть эффективно и без какого-либо ущерба для качества жизни связаны с промышленными центрами, жилыми районами коридорами открытых пространств и местами для отдыха [1].

В мегаполисах огромные уровни плотности населения являются признаком нехватки места и иллюстрируют необходимость увеличения количества жилья. Однако высокая плотность застройки также является устойчивой. Это позволяет экономно использовать пространство, делает дорогостоящую инфраструктуру и технологии поселения экономически целесообразными и сокращает расстояния.

В литературе по городскому дизайну «городской элемент» – устоявшаяся категория. Обычно это относится к физическим строительным блокам города: зданиям, кластерам зданий и пространствам между ними, которые вместе составляют городскую ткань. Они определяются как простые единицы, которые можно объединить в более сложное целое городского квартала или города [2–4].

Городской элемент сам по себе не имеет смысла, но требует, чтобы другие городские элементы и более широкий контекст стали полезными и значимыми. В лингвистике городской элемент можно сравнить с морфемой, требующей, чтобы синтаксические правила сочетания имели смысл. Таким образом, взаимосвязь городских элементов друг с другом и с городской структурой обычно регулируется правилами и принципами.

Для Альдо Росси то, как городские элементы сочетаются и перекомпоновываются с течением времени, является не вопросом слепого следования правилам, а требует особого мастерства и рассудительности в их проектировании. Это принципиально важно, поскольку особый характер и качество города проистекают из таких комбинационных действий. Он писал, что городские элементы «способны ускорить процесс урбанизации в городе» [5]. Термин «урбанизация», как его использует Росси, совершенно иной к тому, как это используют демографы. Для демографов данный термин просто означает изменение доли населения, проживающего в городских, а не сельских районах. Для Росси урбанизация – это качественный термин, отражающий характер города. В контексте исследования города Самары, где демографическая урбанизация почти тотальна, вопрос урбанизма становится все более и более важным. Тем самым данная проблема включает в себя понимание организации уже существующих городских элементов – типов зданий, размеров кварталов, ширины улиц и тротуаров.

Чтобы рассмотреть возникающие аспекты урбанизации в Самаре, находящейся в условиях крупного природного объекта – реки Волги, мы расширили городской элемент с целью рассмотреть городскую систему, а также городскую среду. Системные аспекты современных

городов становятся все более важными, они помогут понять потоки транспорта, людей, воды, энергии и воздуха, которые взаимодействуют с городом. Городская среда относится к (естественным и антропогенным) экологическим системам, которые одновременно охватывают и наполняют город и являются важными для здоровья и комфорта городской жизни.

Термин «элемент» относится к концепциям типа и стиля в городском проектировании и эвристическим подходам к формированию знаний (или эмпирическим правилам). Элементы – это типичные черты хорошей формы города, которые могут варьироваться по масштабу от текстуры тротуара, входа в здание до магазина, карманного парка, площади и улицы, района и района. Элементы, как линейные единицы, могут быть переведены в цифровые параметрические элементы дизайна, которые, в свою очередь, можно легко комбинировать или связывать вместе в более крупные последовательности и системы. Городской элемент – это форма знания, соединяющая теорию и практику.

Качество городского пространства выходит за рамки физической среды и простирается в сферу психологии и того, как люди воспринимают физическую среду и взаимодействуют с ней. По словам Яна Гейла, качественное пространство – это также пространство, которое читаемо, доступно, проницаемо, но имеет ощущение замкнутости. Обычно это то, что масштабируется, чтобы иметь отношение к человеческой деятельности и богатому опыту [6].

Вторая концепция заключается в том, что движущиеся элементы, в особенности субъекты и процессы, так же важны, как и физические здания в городе. Наше восприятие или образ города складывается из почти всех наших органов чувств. Эти моменты были аргументированы Кевином Линчем, и их можно увидеть на Балестиер-роуд с его постоянным потоком людей, транспортных средств и видов деятельности, возникающих в результате различного использования. Субъекты и процессы временны по своей природе и происходят только на короткое время, т. е. обычно всего один–два часа на еду и покупки, погрузку/разгрузку и инвентаризацию товаров по прибытии транспортных средств доставки [7].

Пространство и композиция города складываются с течением времени значительно дольше, чем отдельные архитектурные объекты. С другой стороны, проектирование устойчивого города понимается нами как комплексное формирование общественных пространств, обеспечивающих жизнедеятельность городского сообщества в целом.

Структура городского пространства играет важную роль в создании устойчивой и комфорт-

ной среды, которая положительно влияет как на экономический рост региона, экологию, так и на психоэмоциональное состояние населения.

В Российском законодательстве типы элементов планировочной структуры закреплены двумя документами – Градостроительным Кодексом и Приказом Минстроя России [8, 9]. В связи с необходимостью утверждения регламентов по использованию территориальных зон и определения границ были установлены следующие виды:

1. Район.
2. Микрорайон.
3. Квартал.

4. Территория общего пользования, за исключением элементов планировочной структуры, указанных в п. 8 приложения [9].

5. Территория садоводческого, огороднического или дачного некоммерческого объединения граждан.

6. Территория транспортно-пересадочного узла.

7. Территория, занятая линейным объектом и (или) предназначенная для размещения линейного объекта, за исключением элементов планировочной структуры, указанных в п. 8 приложения [9].

8. Улично-дорожная сеть.

Однако в данных документах отсутствует какое-либо определение и конкретизация принятой типологии [10].

В исследованиях, посвященных градостроительному анализу, можно выделить три основных типа структуры развития города: радиальную, кольцевую, регулярную (прямоугольную) (рис. 1), которые имеют различные подтипы и комбинации [3, 4, 11,12].

Радиальная структура представляет собой концентрическую дорожную инфраструктуру,

основанную на центральной точке. Рост за счет расширения самих радиальных дорог или добавления промежуточных участков возможен лишь в ограниченной степени. Движение транспортных потоков должно быть организовано от центра. Кольцевая структура работает только в сочетании с радиальными дорогами или прямоугольной сеткой улиц. Структура доступа часто является точной копией стадий роста городов.

Регулярная сеть принимает форму улично-дорожной сети, охватывающей все районы. Теоретически возможно неограниченное расширение во всех направлениях. В случае больших расстояний диагональные дороги могут сократить маршруты. Сетка с простой структурой является эффективной и достаточно гибкой. Различный размер сетки обеспечивает не только транспортную доступность до различных объектов, но и пешеходную. Крупные блоки чаще всего имеют внутренние второстепенные проезды и связи (рис. 2).

С целью выявления основных элементов архитектурно-планировочной структуры, обеспечивающих устойчивое развитие, был рассмотрен генеральный план города Самары.

Планировочная структура города Самары исторически развивалась линейно вдоль водных объектов – рек Волги и Самары. Первый регулярный план 1782 г. определил регулярную сетку улиц (рис. 3), масштаб которой обеспечивает и в настоящее время хорошую связь между различными функциональными зонами.

Интенсивное строительство производственных зон в 1940–1950-е гг. и освоение свободных территорий, несмотря на удаленность и смещение от центра города, имеют также прямоугольную систему (рис. 4).



Рис. 1. Типы структуры города

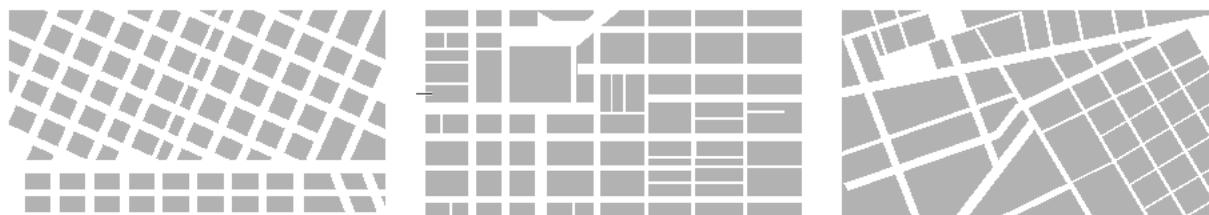


Рис. 2. Регулярная структура

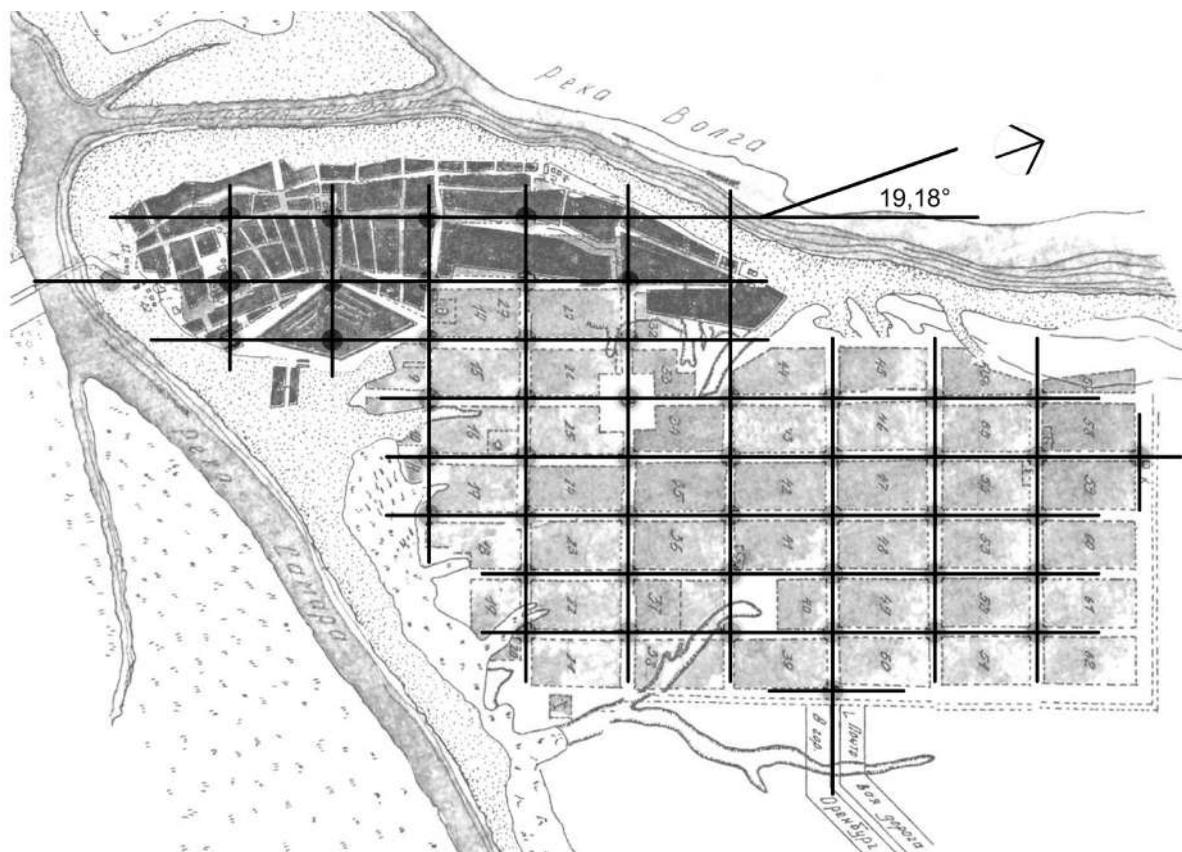


Рис. 3. Регулярная структура первого регулярного плана г. Самары 1782 г. [13]



Рис. 4. Регулярная структура генерального плана г. Самары 1937–1956 г. [14]

В дальнейшем город развивался стремительно и планировочная структура начала претерпевать изменения. Крупные микрорайоны и историческая часть по-прежнему имеют регулярную структуру, срединная зона и периферийная – смешанная, местами нерегулярная (рис. 5).

Для выявления элементов архитектурно-планировочной структуры на примере города Самары использовался параметрический метод анализа индексов устойчивого развития территории, который является контекстно-зависимым, многомерным, систематическим, исследовательским и количественным [16].

Данный метод берет большое количество индикаторов городской территории, использует методы интеллектуального анализа данных для выявления типов кварталов и улиц.

Он состоит из трех основных этапов:

1. Подготовительный (подготовка плана, выбор индикаторов).
2. Анализ (пространственный анализ плана, статистическая кластеризация индикаторов).
3. Описание (статистическое профилирование типов, семантическое описание типов).

На подготовительном этапе выявлена основа плана города, подобраны индикаторы,

отражающие устойчивое развитие архитектурно-планировочной структуры.

Выбор индексов является важным шагом в этом процессе. Поскольку различные параметры имеют разное значение, необходим широкий набор, адаптированный для решения конкретной проблемы, чтобы получить полезные типологии. «Лучший способ выбрать соответствующие атрибуты – вручную, основанный на глубоком понимании проблемы обучения и того, что на самом деле означают атрибуты» [16].

В процессе анализа использованы структурные, геометрические, физические, стилистические, исторические и социально-экономические характеристики.

Одним из преимуществ этого метода является возможность комбинировать большой и разнообразный набор индексов, происходящих из различных аспектов городской морфологии, что способствует комплексному подходу.

На этапе анализа параметры плана участка измеряются, а их важность и взаимосвязь между ними оцениваются статистически. После завершения пространственного анализа важно визуализировать отдельные атрибуты город-

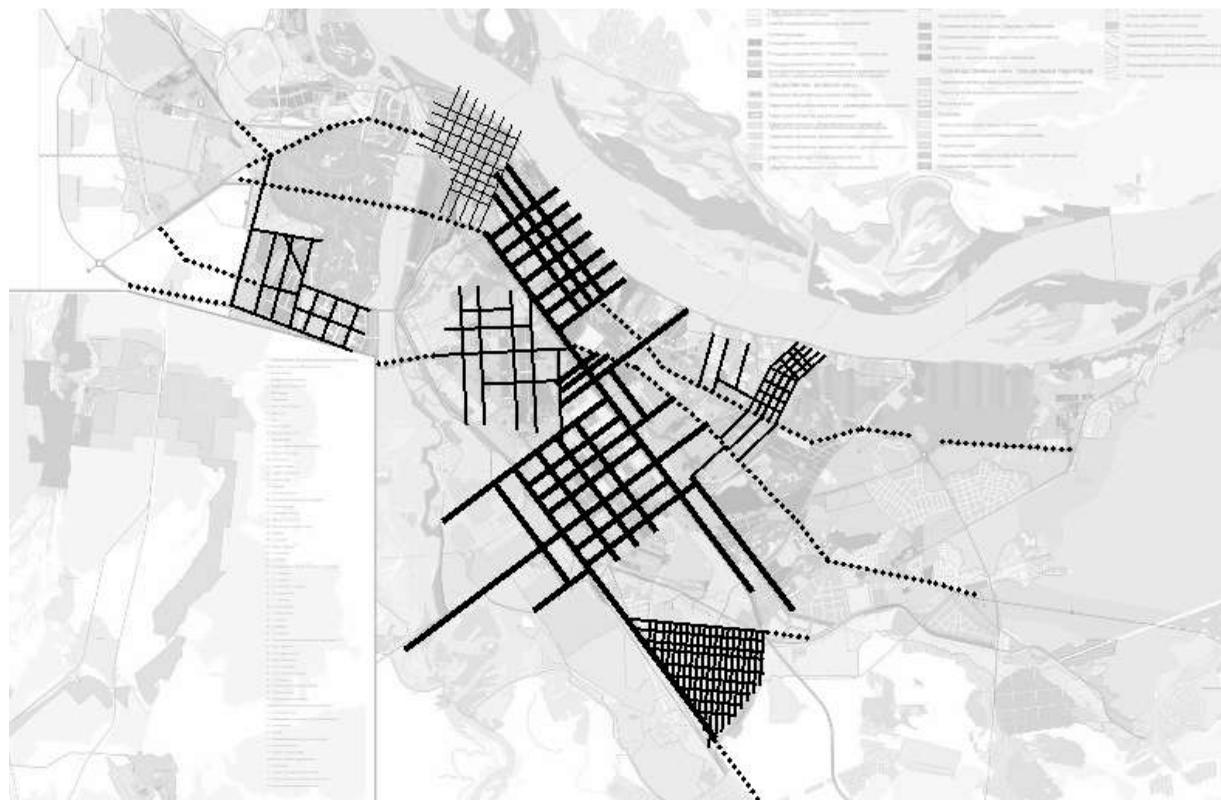


Рис.5. Смешанная регулярная и нерегулярная структура генерального плана города Самары 2006 г. [15]

ской формы с помощью карт, поскольку это помогает проверить представление и выявить ошибки в расчетах.

На этапе описания результаты процесса кластеризации преобразуются в типы городской формы с использованием количественного профиля и семантического определения. Чтобы облегчить процесс описания, мы переводим атрибуты, которые в большинстве случаев представляют собой непрерывные числовые значения (например площадь или длину), в классы значений. Количественный профиль каждого типа городской формы указывает на диапазон значений различных индексов и их состав с точки зрения классов ценностей. Для семантического описания берутся характеристики, которые являются доминирующими или уникальными, чтобы подчеркнуть особенности каждого типа.

Проведя оценку индексов устойчивости формирования архитектурно-планировочной структуры, к основным элементам можно отнести: квартал, улицы (тротуары), ландшафт, площади (открытые пространства), здания, крупные транспортные узлы (железная дорога, аэропорт, речной порт). Каждый из этих компонентов является системой и подразделяется в свою очередь на типы.

Элемент «блок» представляет собой застроенную территорию, ограниченную сетью улиц и дорог, и характеризуется следующими индексами: компактностью, ограниченной

площадью, плотностью застройки, ориентацией по сторонам света, функциональностью, пешеходной доступностью. Несмотря на наличие общих параметров, они могут отличаться по форме и масштабу, что связано с временным периодом, когда велась застройка данной территории. Например, такие типы элемента «блок», как район, микрорайон, «исторический квартал» являются хорошо организованной городской средой, имеющей уникальную идентичность [17].

К основным чертам элемента «улица» относятся: протяженность, благоустроенность (материал покрытия), наличие инженерных коммуникаций (газ, вода, тепло), ширина тротуаров, велосипедных дорожек, наличие общественного транспорта, количество остановок. Устойчивое развитие городской территории невозможно без совершенствования системы «улиц», обеспечивающих связь между различными функциональными зонами города, а также другими элементами структуры архитектурно-планировочной структуры города. Большая часть использования городского пространства – это движение. «Улицы» определяют конфигурацию «блоков» и перераспределяют потоки людей и процессов.

Элемент «ландшафт» рассматривается не только как топографическая особенность территории, но и как структурная единица системы города в целом. Водные объекты оказывают значительное влияние на направление развития.



Район



Микрорайон



Исторический квартал

Рис. 6. Различные типы элемента «блок». Сост. Э.А. Громилина  
Использованы изображения: <https://yandex.ru/maps>.

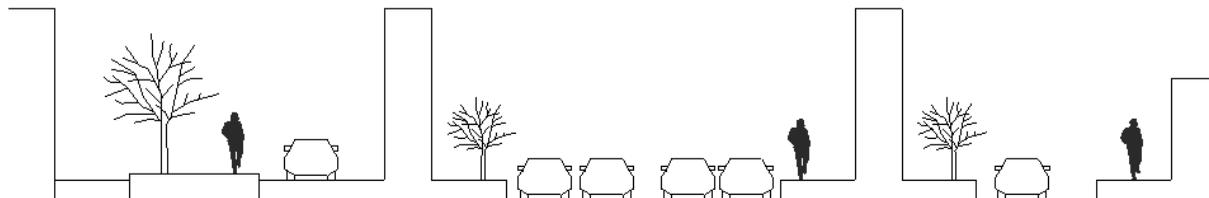


Рис. 7. Различные типы элемента «улица»

Под элементом «ландшафт» подразумеваются как природные (реки, горы), так и созданные человеком (парки, скверы) объекты. Все эти части экологического каркаса создают благоприятный климат. Соотношение площади элементов «ландшафт» к общей площади города показывает степень урбанизированности территории [18].

«Площади» как элемент структуры города – это пространства, которые позволяют всем группам людей взаимодействовать, общаться, обмениваться идеями, они могут быть поляризованными и находиться на пересечении каких-либо транспортных или людских потоков. Также они могут быть неопределенными и находиться в промежуточном месте, заполняя разрывы между другими элементами структуры, одновременно позволяя использовать его более гибко, так как в них не заложена функциональная программа [19].

Элемент «здание» является наиболее параметризованным и разнообразным по своей форме, его основными характеристиками являются: четкие габаритные размеры, функциональное назначение, историческая ценность, стоимость. Одной из особенностей данного типа является то, что в зависимости от соотношения параметров «здания» оно оказывает влияние на элемент «блок» и на то, каким образом он будет функционировать и какую форму будет принимать (рис. 10). Сохранение и реновация исторических объектов является фактором устойчивости развития архитектурно-планировочной структуры.

Элемент «крупные транспортные узлы» (железная дорога, аэропорт, речной порт) является значимым в аспекте устойчивого развития территории, в связи с тем, что, как и крупные водные объекты, он ограничивает направление



Рис. 8. Элемент «ландшафт» в структуре города. Сост. Э.А. Громилина  
Использованы изображения: <https://yandex.ru/maps>.



Рис. 9. Элемент «пространство» в структуре города. Сост. Э.А. Громилина  
Использованы изображения: <https://yandex.ru/maps>.

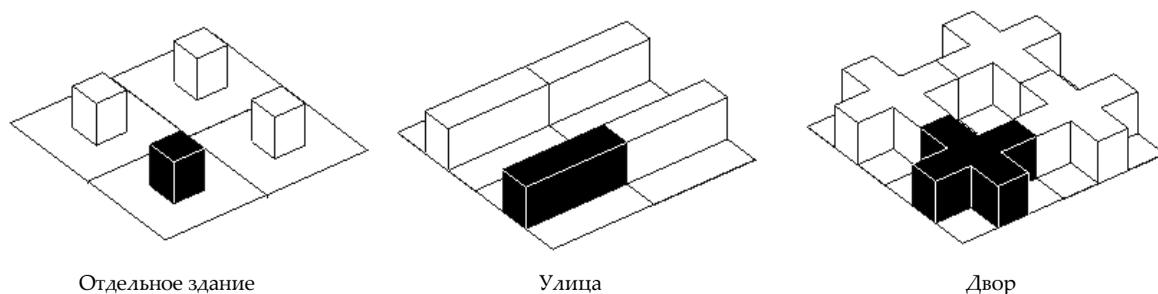


Рис. 10. Влияние элемента «здание» на элемент «блок»



Рис. 11. Элемент «крупные транспортные узлы»

развития города. Характеризуется расстоянием до центра, интенсивностью транспортного потока, количеством направлений.

Использованы изображения: <https://yandex.ru/maps>.

### Заключение

В 1900 г. население мира, проживавшее в городах или вблизи них, составляло около 13 процентов от общего числа жителей планеты. К 2050 г. это число вырастет до 70 процентов. Значение этой статистики огромно для профессии планирования. Какие инструменты у нас есть, чтобы оценить и сформировать это количество изменений? Как мы можем помочь создать более разумный, более устойчивый и более пригодный для жизни город будущего? В результате анализа особенностей архитектурно-планировочной структуры города Самары были выявлены разнообразные компоненты среды. Сравнивая отдельные элементы организации городского пространства, определено множество очевидных и отчетливых различий между ними. Наиболее очевидные из них: сочетание использования, интеграция транзита, характер открытых пространств и влияние регионального проектирования. Однако очень важно отметить общие черты планировочных компонентов, так как они являются значимыми элементами устойчивого развития архитектурно-планировочной структуры города.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смоляр И.М. Градостроительное планирование как система: Прогнозирование. Программирование, проектирование: тр. Рос. акад. архитектуры и строит. наук. М.: УРСС, 2001. 164 с.
2. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. М.: Стройиздат, 1984. 256 с.
3. Основы теории градостроительства / Яргина З. Н., Косицкий Я.В., Владимиров В.В., Гутнов А.Э., Микулина Е.М., Сосновский В.А.; под ред. З. Н. Яргиной. Екатеринбург: АТП, 2014. 316 с.
4. S. McDonald, N. Malys, V. Maliene, Urban Planning for Sustainable Communities: A Case Study, Technological and Economic Development of Economy, Baltic Journal on Sustainability. 15 (2009) p. 49–59.
5. Альдо Росси. Архитектура города: пер. с англ. М.: Стрелка Пресс, 2015. 290 с.
6. Ян Гейл. Города для людей: пер. с англ. М.: Альпина Паблицер, 2012. 276 с.
7. Кевин Линч. Образ города / пер. с англ. В.Л. Глазычева; под ред. А.В. Иконникова. М.: Стройиздат, 1982. 328 с.
8. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 года № 190-ФЗ [Электронный ресурс] URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_51040/cdec16ec747f11f3a7a39c7303d03373e0ef91c4/67114](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/cdec16ec747f11f3a7a39c7303d03373e0ef91c4/67114) (дата обращения: 12.04.2021).
9. Приказ Минстроя России от 25.04.2017 № 738/пр «Об утверждении видов элементов планировочной структуры [Электронный ресурс] URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_217375/67114](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_217375/67114) (дата обращения: 12.04.2021).

10. Трутнев Э.К. Вопросы о планировочной структуре: правовые аспекты. [Электронный ресурс] URL: [https://urban.hse.ru/data/2017/10/10/1159402884/%D0%92%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B%20%D0%BE%20%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B5%20%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0%22\(05%2010%2017\).pdf](https://urban.hse.ru/data/2017/10/10/1159402884/%D0%92%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B%20%D0%BE%20%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B5%20%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0%22(05%2010%2017).pdf)
11. Кутузова Т.Ю. Принципы развития регулярной планировки исторически сложившихся городских центров // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 5 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/05/67114> (дата обращения: 12.04.2021).
12. Веретенников Д.Б. Понятие планировочной структуры города. Структурные компоненты и их планировочное воплощение // Градостроительство и архитектура. 2014. № 3(16). С. 6–10. DOI: 10.17673/Vestnik.2014.03.1.
13. Синельник А.К. История градостроительства и заселения Самарского края: монография. Самара: Издательский дом «Агни», 2003. 228 с.
14. Бичуров Г.В. Самара в открытках и фотографиях [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://bichurov.ru/>
15. Ребайн Т.Я., Корякин Ю.М., Васильчикова С.Ф. Концепция пространственного развития города Самары / Департамент строительства и архитектуры Администрации г. Самары. Самара, 2006. 180 с.
16. Gil, Jorge & Beirão, José & Montenegro, Nuno & Duarte, Jose. On the discovery of urban typologies: Data mining the many dimensions of urban form. *Urban Morphology*. 16. 27–40. [Электронный ресурс] URL: <https://www.researchgate.net/publication/256895610>
17. Рыбачева О.С., Самогоров В.А. Понятие «Самарский двор» в системе правоустанавливающих градорегулирующих элементов // Вестник Томского гос. архит.-строит. ун-та. 2012. № 4 (37). С. 65–74.
18. Cherry, Nathan. *Grid/ Street/ Place: Essential Elements of Sustainable Urban Districts*. Taylor and Francis. Kindle Edition. 2017. 208 p.
19. Крашенинников И.А. Перспективы анализа «пористости» городской ткани // *Architecture and Modern Information Technologies*. 2017. № 3(40). С. 215–226.
20. Trutnev E. K. Voprosy o planirovochnoj strukture: pravovye aspekty [The question of the planning structure: legal aspects]. Available at: [https://urban.hse.ru/data/2017/10/10/1159402884/%D0%92%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B%20%D0%BE%20%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B5%20%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0%22\(05%2010%2017\).pdf](https://urban.hse.ru/data/2017/10/10/1159402884/%D0%92%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%8B%20%D0%BE%20%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%87%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B5%20%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0%22(05%2010%2017).pdf) (Accessed 16 March 2021).
21. Kutuzova T. Yu. Principles of the development of regular planning of historically formed urban centers. *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovacii* [Modern scientific research and innovation], 2016, no. 5. Available at: <https://web.snauka.ru/issues/2016/05/67114> (Accessed 16 March 2021).
22. Veretennikov D. B. The concept of the planning structure of the city. Structural components and their planning implementation. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2014, no. 3 (16), pp. 6–10. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2014.03.1.
23. Sinelnik A. K. Istoriya gradostroitel'stva i zaseleniya Samarskogo kraja. [History of urban planning and settlement of the Samara Region]. Samara, Izdatelskij dom «Agni», 2003. 228 p.
24. Bichurov G. V. *Samara v otkrytkah i fotografijah* [Samara in postcards and photo]. Available at: <http://bichurov.ru> (Accessed 20 March 2021).
25. Rebain T. Ya., Koryakin Yu. M., Vasilchikova S. F. *Koncepciya prostranstvennogo razvitiya goroda Samary* [The concept of spatial development of the city of Samara]. Samara, Department of Construction and Architecture of the Samara City Administration, 2006.
26. Gil, Jorge & Beirão, José & Montenegro, Nuno & Duarte, Jose. On the discovery of urban typologies: Data mining the many dimensions of urban form. *Urban Morphology*. 16. 27–40. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/256895610>

## REFERENCES

- Smolyar I. M. *Gradostroitel'noe planirovanie kak sistema: Prognozirovanie. Programmirovanie, proektirovanie: Ros. akad. arhitektury i stroit. nauk* [Urban planning as a system: Forecasting. Programming, design]. Moscow, URSS, 2001. 164 p.
- Gutnov A. E. *Evolyciya gradostroitel'stva* [Evolution of urban planning]. Moscow, 1984. 256 p.
- Yargina Z. N., Kositsky Ya. V., Vladimirov V. V., Gutnov A. E., Mikulina E. M., Sosnovsky V. A.; edited by Z. N. Yargina. *Osnovy teorii gradostroitel'stva* [Fundamentals of urban planning theory]. Ekaterinburg, ATP, 2014. 316 p.

researchgate.net/publication/256895610 (Accessed 20 March 2021).

17. Rybacheva O. S., Samogorov V. A. The concept of "Samara yard" in the system of legal city-regulating elements. *Vestnik Tomskogo gos. arhit.-stroit. un-ta* [Journal of Construction and Architecture], 2012, no. 4 (37), pp. 65-74. (in Russian)

18. Cherry, Nathan. *Grid/Street/Place: Essential Elements of Sustainable Urban Districts*. Taylor and Francis. Kindle Edition, 2017. 208 p.

19. Krasheninnikov I. A. Prospects for the analysis of «porosity» of urban fabric. *Arhitektura i sovremennye informacionnye tekhnologii* [Architecture and Modern Information Technologies], 2017, no. (40), pp. 215-226. (in Russian)

Об авторах:

**ГРОМИЛИНА Эльвира Алексеевна**

аспирант кафедры архитектуры  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: grom-elvira@yandex.ru.

**GROMILINA Elvira A.**

Postgraduate student of the Architecture Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeiskaya str., 244  
E-mail: grom-elvira@yandex.ru.

**САМОГОРОВ Виталий Александрович**

кандидат архитектуры, профессор, заведующий  
кафедрой архитектуры  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: samogorov@mail.ru

**SAMOGOROV Vitaly A.**

PhD in Architecture, Professor, Head of the Architecture  
Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeiskaya str., 244  
E-mail: samogorov@mail.ru.

Для цитирования: Громилиная Э.А., Самогоров В.А. Элементы архитектурно-планировочной структуры как факторы устойчивого развития города // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 101–110. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.15.

For citation: Gromilina E.A., Samogorov V.A. Architectural and Planning Elements as a Factor of Urban Sustainable Development. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 101–110. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.15.

Э. А. ГРОМИЛИНА

## ИНДИКАТОРЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ В АНАЛИЗЕ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ

INDICATORS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT  
IN ARCHITECTURAL STRUCTURE ANALYSES

*В данной статье ставится задача исследовать и сравнить показатели устойчивого развития городов. Рассмотрены современные системы индикаторов устойчивого развития. На основе проведенного анализа подходов выделены основные показатели эффективного и устойчивого развития городов. Описаны два основных рейтинга российских регионов. По результатам исследования предложены индикаторы устойчивого развития архитектурно-планировочной структуры города.*

*This article aims to investigate and compare indicators of sustainable urban development. The modern systems of indicators of sustainable development are considered. Based on the analysis of the approaches, the main indicators of the effective and sustainable development of cities have been identified. The author describes two main ratings of Russian regions. According to the results of the study, indicators of sustainable development of the architectural and planning structure of the city are proposed.*

**Ключевые слова:** город, индикаторы, устойчивое развитие, концепция устойчивого развития в градостроительстве

**Keywords:** city, indicators, sustainable development, concept of sustainable development in urban planning

### Введение

Города представляют собой движущую силу развития экономической, социальной и культурной жизни, отражая также формы пространственной организации человеческого общества. Принимая во внимание тот факт, что города становятся генераторами экономического развития, усиливается потребность в определении этапов развития и создании системы ранжирования и позиционирования городов. Это позволит подготовить стратегические рекомендации и руководящие принципы развития городов. Для того чтобы иметь возможность сопоставлять уровень их эффективности, в ракурсе концепции устойчивого развития требуется разработка показателей, которые измеряют эффективность деятельности городов, являются эталонными и сопоставимыми, что даст возможность сравнивать их с городами других стран. В настоящее время существует множество различных организаций, которые занимаются составлением показателей устойчивого развития. Системы показателей, уже разработанные для некоторых городов, показали свою эффективность. Основная проблема заключается в том, что это разнообразие показателей не имеет согласованности и сопоставимости как по временным рамкам, так и по масштабу городов.

Существующие методологии сравнения показателей эффективности и качества городской структуры городов затрагивают широкую

область принципиальных отличий. Преимущество узких подходов заключается в ограниченном числе переменных, участвующих в анализе. Сравнение городов с помощью показателей, представляющих различные аспекты городской жизни, возможно только при наличии расширенной систематизированной структуры показателей. Индикаторы устойчивого развития – это система показателей, позволяющих судить о состоянии или изменении экономических, социальных и экологических параметров [1]. Простое увеличение количества индексов может привести к неопределенности и неоднозначной интерпретации. В процессе формирования комплекса показателей необходимо учитывать те индикаторы, которые оказывают более сильное влияние на развитие структуры города, не только из социально-экономической области, но и экологические факторы.

При поиске наиболее актуальных показателей эффективности развития города мы исходим из того, что более двух третей населения проживает в городских районах. Городская среда создает благоприятную почву для развития науки и техники, культуры и инноваций. С другой стороны, в городах больше внимания уделяется таким проблемам, как безработица, дискриминация, сегрегация общества и бедность. Города также сталкиваются с проблемами, связанными со смягчением последствий изменения климата, создания рабочих мест, процветания и качества жизни. Поэтому

развитие городов оказывает решающее влияние на будущее экономического, социального и территориального развития. Как подчеркивалось в недавнем опросе Европейской комиссии, озаглавленном «Города будущего – вызовы, идеи и ожидания», фаза разрастания городов в последние десятилетия показала серьезные проблемы, связанные с ухудшением состояния городских районов из-за отсутствия строительства инфраструктуры [2].

### Подбор актуальных индикаторов устойчивого развития города

Создание системы показателей для измерения эффективности развития отдельных населенных пунктов включает рассмотрение сложных аспектов современной архитектурно-планировочной структуры со ссылкой на 72 показателя «умного города», эффективного и устойчивого города [3].

Тематическое исследование Глазго классифицирует показатели эффективности города следующим образом [4]:

1. Население (смертность, рождаемость, демографические прогнозы).

2. Экономическое участие (занятость, безработица, вакансии).

3. Бедность, финансовые трудности.

4. Здоровье (ожидаемая продолжительность жизни, количество нетрудоспособного населения).

5. Социальный капитал (социальная интеграция, социальные сети, доверие и взаимность, гражданское участие).

6. Окружающая среда (озеленение, открытые пространства, качество воздуха, переработка мусора).

7. Транспорт (объем перевозок, длительность поездки на работу и в школу, дорожно-транспортные происшествия, пути движения на велосипеде).

8. Образование (образование детей, высшая полученная квалификация, квалификация работающего населения, обучение молодежи).

9. Безопасность (общий уровень преступности).

10. Образ жизни.

11. Культурная жизнь (участие в спортивных и культурных мероприятиях).

12. Менталитет (религия, политика, национальная идентичность).

Показатели устойчивого развития отражают сложную и динамичную структуру городской среды. С принятием Повестки дня на XXI век (1992 г.) этот тип индикатора был разработан рядом учреждений, включая Всемирный банк (Программа ООН по городским показателям), за которым следовали показате-

ли Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в качестве аналитических инструментов для изучения здоровья населения и качества жизни в городской среде. Более обширный ряд индикаторов также включает в себя проект SUD-LABEC (Европейская комиссия) с расширенной базой данных европейских городов, где показатели делятся на такие категории, как: качество воздуха, окружающая среда, культурный фонд, социальное неравенство, качество транспорта, городское управление и управление отходами [6].

Для каждой из перечисленных категорий набор показателей отражает уровень городской функциональности. Индикаторы программы EU-TISSUE, используемые в 15 европейских странах, относятся к областям устойчивого городского управления (описательные индикаторы), устойчивого городского транспорта, устойчивого городского строительства и устойчивого городского дизайна [5].

В соответствии с Европейской хартией городов [7] перечислены шесть ключевых областей устойчивого развития и преобразования городов: активный город с развитой инфраструктурой; красивый город; зеленый город; город с лучшей окружающей средой; город, обеспеченный средствами коммунального обслуживания; город с развитой связью различных функций городской жизни.

Следовательно, стратегия устойчивости городов включает в себя такие показатели эффективности устойчивости городов, как: участие граждан; занятость населения; экономический рост; городская мобильность; ресурсы и потребление; экологические и социальные элементы; городская безопасность; общественное здравоохранение; социальная справедливость; глобальные изменения климата.

К показателям градостроительного рейтинга относятся показатели численности населения и рабочей силы: количество жителей, плотность населения (на гектар), рабочие места на 1000 жителей; доля населения, занятого в сфере услуг.

Категория показателей жизни и качества жизни включает в себя: количество жилых зданий на 1000 жителей; дома, оборудованные водопроводом (% зданий); количество личных автомобилей на 1000 жителей; количество домов с ванными комнатами внутри здания; количество больничных коек на 1000 жителей; количество врачей на 1000 человек; финансовые/банковские учреждения (офисы, рабочие места); доступность до транспортных объектов (железнодорожный вокзал, автовокзал).

К показателям категории «общество, культура и досуг» относятся следующие: образова-

тельные единицы (школы, колледжи, университеты); количество обучающихся в школах и колледжах (%); культура и спорт; общественные здания (театры, библиотеки, спортивные залы, зрительные залы, стадион); жилье на 1000 жителей.

К показателям архитектурно-планировочной структуры города относятся: отремонтированные улицы (%); улицы с водопроводом (%), канализацией, газификацией (%); количество площадок для сбора мусора на 1000 жителей; площадь зеленых насаждений ( $m^2$ /жители).

По данным критериям определяется индекс местного развития как интегрированный показатель, включающий удельный вес отдельных элементов, таких как индекс инфраструктуры, за которым следует экономика, общество и государственное управление:

$$Idl = [(Ii \times 4) + (Ie \times 3) + (Imc \times 2) + (Iap \times 1)] / 10,$$

где  $Idl$  – индекс местного развития;  $Ii$  – индекс инфраструктуры;  $Ie$  – индекс местной экономики;  $Imc$  – индекс местного сообщества;  $Iap$  – индекс государственного управления. Индекс инфраструктуры включает в себя коммунальные услуги, транспортную инфраструктуру, инфраструктуру здравоохранения, природные ресурсы и природную среду.

Индекс экономики – финансовые услуги и страхование, трудовые ресурсы и государственный бюджет. Индекс государственного управления – социальный инжиниринг городских систем, услуги и поддержку малых и средних предприятий, городское планирование, коммуникацию и распространение информации. В показатели развития входят также безопасность граждан, туристические достопримечательности, культурные/спортивные объекты, культурно-историческое наследие.

Показатель качества городского общественного транспорта описывают, используя имеющиеся показатели базы данных Евростата, включая следующие подиндикаторы: доля поездок на работу на общественном транспорте; протяженность сети общественного транспорта, количество остановок общественного транспорта на  $1 \text{ км}^2$ ; цена месячного билета на общественный транспорт; количество остановок на 1000 человек населения; количество остановок на 1 км сети общественного транспорта; соотношение сети общественного транспорта с фиксированной инфраструктурой и гибкими связями; доля земли для использования под транспорт.

К показателям городского развития Всемирного банка относятся [8]: доля городского населения с доступом к медицинским услугам;

доля городского населения с доступом к водным ресурсам; количество автомобилей на 1000 человек населения; количество легковых автомобилей на 1000 жителей; выбросы углекислого газа ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ); доля бедности; цены на топливо; потребление топлива на душу населения; процент городского населения.

Большое значение среди показателей устойчивости городов принадлежит Европейским общим показателям (ЕСИ), впервые созданным в 1999–2003 гг. исследовательским институтом *Ambiente Italia*. В базе с более чем 1000 индикаторов можно выделить 10 ключевых индикаторов, отражающих тенденции развития европейских городов в соответствии с принципами социальной интеграции, местного управления и демократии, локальной/глобальной интеграции города, местной экономики, окружающей среды, культурного наследия и качества институциональной среды. К таким индикаторам относятся: удовлетворенность граждан социальной обстановкой; местный вклад в глобальное изменение климата (выбросы углекислого газа на душу населения); мобильность населения и развитость общественного транспорта; наличие открытых общегородских пространств; качество воздуха (выбросы  $\text{PM}_{10}$ ); поездки детей в школу и из школы; устойчивое управление властями и местными предприятиями; шумовое загрязнение; землепользование; технологии, способствующие устойчивости в целом.

Что касается использования индексов в Российской Федерации, следует отметить, что аналогичные системы региональной оценки разработаны в Томской и Кемеровской областях [9, 10]. Кроме того, индикаторы применяются при оценке развития по территориальным образованиям [11].

К наиболее проработанным можно отнести два комплексных подхода в оценке развития городов:

1. «Генеральный рейтинг», разработанный Министерством регионального развития совместно с Российским союзом инженеров (2011–2013 гг.) [14, 15].

2. «Интегральный рейтинг» ста крупнейших городов России, разработанный Институтом территориального планирования «Урбаника» и Союзом архитекторов России в 2010 г. [16].

Указанные системы рейтингов оценивают социально-экономическое положение регионов. «Генеральный рейтинг» отражает взаимодействие между финансовым и социальным фактором с точки зрения приоритета проживания на урбанизированной территории. К отличительным характеристикам данной системы оценки относится учет широкого набора

показателей, отсутствующих или не полностью представленных в открытых статистических источниках. Предметом анализа являются 165 городов с населением более 100 000 человек. Инструментами оценки является сравнительный анализ 45 индикаторов, разделенных на 14 групп. С учетом системного подхода базовым критерием оценки является привлекательность жизни в городе с учетом динамики численности населения. Однако в «Генеральном рейтинге» такой фактор устойчивого развития территории, как экология рассматривается незначительно и представлен одним показателем, отражающим среднегодовую температуру и повторяемость опасных природных явлений.

«Интегральный рейтинг» в своей системе оценивает качество городской среды и стоимость жизни. К критериям устойчивости территории относятся, в том числе, и показатели состояния городской инфраструктуры. Вместе с тем экологические факторы учитываются минимально и не учитываются демографические показатели.

Также в качестве оценки эффективности развития городов с 2018 г. Министерством строительства Российской Федерации используется «Индекс качества городской среды», который в отличие от рейтингов оценивает отдельные направления комфортности городской среды.

**Заключение.** В связи с необходимостью оценки эффективности развития архитектурно-планировочной структуры города в контексте устойчивого развития территории предлагается проводить анализ, охватывающий шесть областей: демография; рынок труда и экономики; качество жизни; общество, культура и досуг; исследования и разработки; доступность городских сетей; природные ресурсы.

Для расчетов предлагается использовать набор показателей по трем группам:

1. Показатели социального развития:

- 1) население;
- 2) плотность населения;
- 3) продолжительность жизни;
- 4) ценная застройка, количество объектов историко-культурного наследия;
- 5) уровень автомобилизации;
- 6) количество домов на 1000 жителей;
- 7) площадь застройки жилых домов;
- 8) средняя площадь проживания на человека;
- 9) количество больниц;
- 10) количество учебных заведений;
- 11) количество студентов на 1000 жителей;
- 12) количество библиотек;
- 13) количество храмов, культовых сооружений;
- 14) количество театров, музеев;

15) количество спортивных сооружений.

2. Показатели экономического развития:

- 1) бюджет;
  - 2) стоимость билетов на общественный транспорт;
  - 3) средняя цена жилья за 1 м<sup>2</sup>;
  - 4) площадь производственных объектов;
  - 5) средняя высота зданий;
  - 6) площадь участков, находящихся в частной собственности;
  - 7) уровень нового строительства, количество старых зданий к общему количеству зданий;
  - 8) уровень бедности;
  - 9) уровень развитости системы связи, телефонизации;
  - 10) протяженность общественного транспорта;
  - 11) количество остановок общественного транспорта;
  - 12) воздушный транспорт (расстояние до аэропорта);
  - 13) железнодорожный транспорт;
  - 14) водный транспорт;
  - 15) благоустроенные улицы (с твердым покрытием);
  - 16) улицы с водопроводом;
  - 17) улицы с центральным теплоснабжением;
  - 18) улицы с горячим водоснабжением;
  - 19) протяженность газифицированных улиц.
3. Экологические показатели:
- 1) площадь водных объектов;
  - 2) площадь ориентировочных санитарно-защитных зон;
  - 3) площадь зеленых насаждений;
  - 4) площадь открытых пространств;
  - 5) площадь незастроенных территорий;
  - 6) количество площадок для мусора на 1000 жителей;
  - 7) показатель средней температуры;
  - 8) количество осадков.

Предложенная система индикаторов состоит из 42 показателей, основана на текущих проблемах многокультурного общества, охватывает также области социальной сферы, качество жизни, изменение окружающей среды и демографические изменения, что в дальнейшем позволит разработать модель показателей оценки устойчивого развития города [17, 18].

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Устойчивое развитие/ под общ. ред. В.И. Данилова-Данильяна, Н.А. Пискуновой. М. : Издательство «Аспект Пресс», 2015. 336 с.

2. Cities of tomorrow - Challenges, visions, ways forward. Доступно на [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/information/publications/reports/2011/cities-of-tomorrow-challenges-visions-ways-forward](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/reports/2011/cities-of-tomorrow-challenges-visions-ways-forward)
3. <http://www.smart-cities.eu>.
4. <http://www.understandingglasgow.com/indicators>.
5. <http://data.worldbank.org/topic/urban-development>.
6. Trends and Indicators for Monitoring the EU Thematic Strategy on Sustainable Development of Urban Environment URL: <http://cic.vtt.fi/projects/tissue/index2.html>
7. <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=22053#h372>
8. The World Development Indicators 2013. World Bank, Washington DC, – 2013. – 152 p.
9. Индикаторы устойчивого развития Томской области: вып. 3 / под ред. В. М. Кресса. Томск, 2007. 62 с.
10. Мекуш Г.Е. Кемеровская область. Устойчивое развитие: опыт, проблемы, перспективы. М., 2011. 62 с.
11. Меренкова И.Н. Устойчивое развитие сельских территорий: теория, методология, практика. Воронеж, 2011. 265 с.
12. Хворостухин Д.П. Оценка индекса устойчивого развития Федоровского муниципального района Саратовской области с использованием ГИС-технологий // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 14, вып. 2. С. 33–37.
13. Есаулов Г. В. Устойчивая архитектура: от принципов к стратегии развития // Вестник ТГАСУ. 2014. № 6. С. 9–14.
14. Рейтинг российских регионов по качеству жизни – 2013 <http://riarating.ru/infografika/20131217/610601622.html>
15. Генеральный рейтинг привлекательности городской среды проживания (обитания) по итогам деятельности за 2013 год <http://www.российский-союз-инженеров.рф/>
16. Интегральный рейтинг ста крупнейших городов России. <http://urbanica.spb.ru/?p=3821>
17. Азгальдов Г.Г., Костин А.В., Садовов В.В. Квалиметрия для всех. М.: ИД ИнформЗнание, 2012. 165 с.
18. «Мозговой штурм» индексов и индикаторов устойчивого развития (на примере Волжского бассейна) / Н.В. Костина, Г.С. Розенберг, Г.Э. Кудинова, А.Г. Розенберг, М.В. Пыршева // Юг России: экология, развитие. 2016. Т.11, № 2. С.32–41.
5. <http://data.worldbank.org/topic/urban-development> (Accessed 28 December 2021).
6. Trends and Indicators for Monitoring the EU Thematic Strategy on Sustainable Development of Urban Environment. Available at: <http://cic.vtt.fi/projects/tissue/index2.html> (Accessed 28 December 2021).
7. <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=22053#h372> (Accessed 28 December 2021).
8. The World Development Indicators. World Bank, Washington DC, 2013. 152 p.
9. Kress V.M. *Indikatoriy ustoychivogo razvitiya Tomskoy oblasti* [Indicators of sustainable development of the Tomsk region] / Vol. 3. Tomsk, 2007. 62 p.
10. Mekush G. E. *Kemerovskaya oblast. Indikatoriy ustoychivogo razvitiya: opit, problemy, perspektivy* [Kemerovo region. Sustainable Development: Experience, Problems, Prospects]. Moscow, 2011. 62 p.
11. Merenkova I. N. *Ustoychivoeye razvitiye selskih territoriy: teoriya, metodologiya, praktika* [Sustainable development of rural areas: theory, methodology, practice]. Voronezh, 2011. 265 p.
12. Hvorostuhin D. P. Evaluation of the index of sustainable development of the Fedorovsky municipal district of the Saratov region using GIS technologies. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Nauki o Zemle* [Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences], 2014, Vol. 14, no. 2, pp. 33–37. (in Russian)
13. Esaulov G. V. Sustainable architecture: from principles to development strategies. *Vestnik TGASU* [Journal of Construction and Architecture], 2014, no. 6, pp. 9–14. (in Russian)
14. *Reiting rossiiskih regionov po kachestvu zhizni* [Rating of Russian regions by quality of life-2013]. Available at: <http://riarating.ru/infografika/20131217/610601622.html> (Accessed 10 January 2021).
15. *Generalniy reiting privlekatelnosti gorodskoy sredy prozhivaniya (obitaniya) po itogam deyatelnosti za 2013 god* [General rating of the attractiveness of the urban living environment (habitat) based on the results of activities for 2013]. Available at: <http://riarating.ru/infografika/20131217/610601622.html> (Accessed 10 January 2021).
16. *Integralniy reiting sta krupneishih gorodov Rossii* [Integral rating of the hundred largest cities in Russia]. Available at: <http://urbanica.spb.ru/?p=3821> (Accessed 10 January 2021).
17. Azgaldov G.G. *Kvalimetriya dlya vseh* [Qualimetry for all]. Moscow, ID InformZnanie, 2012. 165p.
18. Kostina N.V., Rosenberg G.S., Kudinova G.E., Rosenberg A.G., Pysheva M.V. “Brainstorming” indices and indicators of sustainable development (on the example of the Volga basin). *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development], 2016, Vol.11, no.2, pp. 32-41 (in Russian).

## REFERENCES

1. Danilov-Danilyan V.I., Piskunova N.A. *Ustoychivoeye razvitiye* [Sustainable development]. Moscow: Aspekt Press, 2015. 336 p.
2. Cities of tomorrow - Challenges, visions, ways forward. Available at: [https://ec.europa.eu/regional\\_policy/en/information/publications/reports/2011/cities-of-tomorrow-challenges-visions-ways-forward](https://ec.europa.eu/regional_policy/en/information/publications/reports/2011/cities-of-tomorrow-challenges-visions-ways-forward) (Accessed 28 December 2021).
3. <http://www.smart-cities.eu> (Accessed 28 December 2021).
4. <http://www.understandingglasgow.com/indicators> (Accessed 15 December 2021).

Об авторе:

**ГРОМИЛИНА Эльвира Алексеевна**

аспирант кафедры архитектуры  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: grom-elvira@yandex.ru

**GROMILINA Elvira A.**

Postgraduate student of the Architecture Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeiskaya str., 244  
E-mail: grom-elvira@yandex.ru.

Для цитирования: Громиллина Э.А. Индикаторы устойчивого развития в анализе архитектурно-планировочной структуры // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 111–116. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.16.  
For citation: Gromilina E.A. Indicates of Sustainable Development in Architectural Structure Analyses. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 111–116. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.16.

**НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ**



М. Е. МОНАСТЫРСКАЯ

## «РЕСЛОБОДИЗАЦИЯ» ГОРОДОВ – ЭФФЕКТИВНЫЙ ОТВЕТ НА ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИЙ ВЫЗОВ СОВРЕМЕННОСТИ. ЧАСТЬ II: ПРЕДПОСЫЛКИ, АЛГОРИТМЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ

“RESLOBODIZATION” OF CITIES AS AN EFFECTIVE RESPONSE  
TO THE EPIDEMIOLOGICAL CHALLENGE OF THE CONTEMPORARY.  
PART II: PRECONDITIONS, ALGORITHMS, RESULTS

Статья (часть II) содержит итоги изучения особенностей адаптации среды жизнедеятельности населения крупнейшего города к витально-опасным вызовам пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19. Проверка рабочей гипотезы и детализация основных положений, сформулированных в первой части статьи (Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 11, № 1), выполнены на примере рядового петербургского локуса, активно освоенного горожанами, соблюдавшими режимы самоизоляции, частичного снятия жестких ограничений и минимальных ограничений (2020 г.), который располагается в границах бывшей слободы Лейб-гвардии Семёновского полка, давшей название историческому району города «Семенцы» и МО «Семёновский» (Адмиралтейский район Санкт-Петербурга). В ходе исследования была установлена взаимосвязь между имманентными свойствами и параметрами преобразованной городской слободы (территориально-градостроительными, ситуационно-генезисными, композиционно-планировочными, архитектурно-пространственными, социально-функциональными) и ее «противоэпидемиологическим» потенциалом, реализованным местным населением и властями в условиях «пандемийной реальности» методами социальной саморегуляции и централизованного управления.

**Ключевые слова:** «антипандемийный» ресурс, архитектурный ландшафт, безопасность, городская слобода, градостроительный морфотип, здоровьесообразность, локальная территориальная общность, пандемия, планировка, пространственный локус, Семенцы, среда жизнедеятельности, трансформация, функциональная организация

Объект нашего изучения – пространственный локус «Семенцы» – является результатом состоявшейся во второй половине XIX–первой половине XX в. непротиворечивой трансформации части исходного градостроительного морфотипа – «предместной полковой слободы» – в «слободу городскую» высокого уровня центральности. Преобразованную градостро-

The article (part II) contains the results of studying the features of adaptation of the living environment of the population of the largest city to the vital challenges of the pandemic of the new coronavirus infection COVID-19. The verification of the working hypothesis and the detailing of the main provisions formulated in the first part of the article (see “Urban planning and architecture”. 2021, no. 1) were carried out on the example of an ordinary St. Petersburg locus, actively developed by the townspeople who observed the regimes of self-isolation, partial lifting of strict restrictions and minimal restrictions (2020), which is located within the boundaries of the former settlement of the Life Guards Semyonovsky regiment, which gave the name to the historical district of the city “Sementsy” and the municipal district “Semyonovsky” (Admiralteisky district of St. Petersburg). In the course of the study, a relationship was established between the immanent properties and parameters of the transformed urban settlement (territorial-urban-planning, situational-genesis, compositional planning, architectural-spatial, social-functional) and its “anti-epidemiological” potential, realized by the local population and the authorities in the conditions of “pandemic reality” by methods of social self-regulation and centralized management.

**Keywords:** «anti-pandemic» resource, architectural landscape, safety, urban settlement, urban morphotype, health feasibility, local territorial generality, pandemic, planning, spatial locus, Semence, life environment, transformation, functional organisation

ительную форму, дошедшую до наших дней в достаточно завершённом виде, можно охарактеризовать как относительно обособленный в средовом отношении от наличествующего окружения, функционально вполне самодостаточный небольшой жилой район мало- и среднеэтажной многоквартирной жилой застройки преимущественно последней

трети XIX – начала XXI в. (в значительно меньшей степени – общественно-деловых и производственных зданий, строений, сооружений), обустроенной по квартальной схеме, который в морфотипологическом отношении является собой пример исторически предопределенной «градостроительной гибридации» [1]<sup>1</sup>. Существование последней состоит в постепенном и последовательном замещении одного преобладавшего в границах слободы исторически сообразного морфотипа застройки (протоиндустриального и раннеиндустриального генеза и облика) другим (индустриальной принадлежности), отвечавшим требованиям уже своего времени, при полном сохранении «исторического планировочного каркаса» [2] западного фрагмента полковой слободы XVIII в.: по Кирикову-Марголису, «планировка этой части [слободы] не изменялась и дошла до нас как реальное напоминание о первоначальном полковом поселении» [3].

За прошедшие столетия действительно не изменились ни форма плана «обывательской» части слободы (компактная, приближенная к трапеции), ни его композиционная структура (регулярная, иерархическая, сформированная, главным образом, однотипным повтором значительного количества идентичных и/или подобных элементов малой крупности), ни функциональное наполнение (преобладание жилых территорий над участками общественно-делового, рекреационного и производственного назначения) [4]. Главными композиционно-планировочными осями локуса являются Клинский (с 1857 г.; ранее Семёновский и пр.) и Малодетскосельский (с 1955 г.; ранее Семёновская ул. и пр.) [5] проспекты, протянувшиеся в направлении с северо-востока на юго-запад. Второстепенными выступают Бронницкая, Серпуховская, Подольская, Верейская, Можайская и Рузовская улицы, изначально именовавшиеся «линиями» (восьмой – тринадцатой) [6. ДЛ. 70–71] и получившие в 1857 г. «названия по уездным городам Московской губернии» [7; 5], трассированные в направлении с северо-запада на юго-восток. Дополнительной планировочной осью района служит улица Введенского канала (сущ. с 1967 г.) [5]. Московский (с 1956 г.; ранее Перспективная дорога на Саарскую мызу и пр.), Загородный (с 1798 г.; ранее Большая Загородная ул.) проспекты и набережная Обводного канала (с 1887 г.; ранее шоссе Обводного канала) [5] – коммуникации городского ранга – яв-

ляются внешними связями локуса. С одной стороны, они интегрируют Семенцы с общегородской структурой, а с другой – способствуют обособлению компактной, полноценной и завершенной в средовом отношении градопланировочной формы от «шума городского».

Композиционно-планировочная организация локуса имеет ряд особенностей, которые при исключительной простоте изначального «полкового» замысла [8] не только сообщают этому фрагменту центра Петербурга неповторимость и узнаваемость, но и выступают в качестве действенных «противоэпидемиологических» регуляторов. Так, например, соотношение площадей застроенных (около 43 га) и незастроенных (около 23 га) пространств здесь составляет примерно 65 % к 35 % соответственно, что значительно отличается в лучшую сторону от аналогичных показателей хронологически сопоставимых с Семенцами фрагментов петербургского центра. Основание к тому – специфика трассировки коммуникаций сообразно требованиям обустройства, расквартирования и функционирования воинских частей в XVIII в. Разновеликие, широкие отрезки улиц (от 16 до 24 м) и проспектов (от 20/24 до 36/40 м), не всегда стыкующиеся между собой, что называется, «в линию» и примыкающие к общегородским коммуникациям далеко не под прямыми углами<sup>2</sup>, обладают достаточной пропускной способностью и обеспечивают расчетную скорость внутренних транспортных потоков (30–40 км/ч), создают оптимальные условия для аэрации района, обуславливают разнообразие ракурсов восприятия людьми отдельных средовых фрагментов, перспектив и панорам (рис. 1–5) при пешеходном и иных видах передвижений, а также являются основой формирования системы просторных и в то же время уютных, подчеркнута городских об-

<sup>2</sup> Это обусловлено композиционной связанностью планировки западного фрагмента бывшей слободы Лейб-гвардии Семёновского полка с первоначальной градопланировочной структурой предместного военизированного поселения, заложенной в проекте полковой слободы, который был разработан штабом полка (1739–1740 гг.) [9] «непосредственно под <...> общим руководством Б.-Х. Миниха» [9]. Согласно этому проекту, Загородный Семёновский пр. (совр. Клинский пр.) простирался от Ивановского пр. (совр. Звенигородской ул.) до Царскосельского пр. (совр. Московского пр.), органично продолжая Преображенскую Полковую ул. (совр. ул. Марата). Таким образом военачальниками и градостроителями XVIII в. формировались военно-тактические и иные, в т. ч. утилитарные взаимосвязи трех элитных Лейб-гвардии полков – Преображенского, Семёновского и Измайловского.

<sup>1</sup> «...градостроительная гибридация <...> определяется многослойностью и сменой масштабов городской ткани. <...> это позволяет создавать в структуре города пространства, связывающие его различные части по своему культурно-историческому или социальному контексту» [1].



Рис. 1. Сквер им. Лидии Клемент. На первом плане бывший особняк Е.М. Сулоева на Подольской улице, 20 (техн.-арх. И.Н. Иорс, 1881). Фото автора, 2020 г.



Рис. 4. Вид на застройку Московского проспекта с Верейской улицы в створе Клинского бульвара. Фото автора, 2020 г.



Рис. 2. Фрагмент застройки четной стороны Серпуховской улицы. На первом плане бывший Дом Общества гражданских инженеров (гр. инж. И.Ю. Мошинский, 1901–1902). Фото автора, 2020 г.



Рис. 5. Вид на застройку набережной Обводного канала с Подольской улицы. Фото автора, 2020 г.



Рис. 3. Вид на Исаакиевский собор с Малодетское-ского проспекта в створе Верейской улицы. Фото автора, 2020 г.

щественных пространств. Эта система, наряду с «историческими зелеными насаждениями» [2] общего пользования<sup>3</sup>, стала важнейшим «антипандемийным» ресурсом объекта изучения, который «слобожане» в полной мере использовали в весенне-летний период и активизируют сегодня – на этапе осенне-зимнего нарастания пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19.

Так, требование «дезагрегации» было успешно реализовано населением и посетителями локуса, главным образом, посредством

<sup>3</sup> «Сад Олимпия» (Московский пр., между Клинским пр. и Малодетское-ским пр.), «бульвар вдоль Клинского пр.», «сквер у Клинского пр. между Верейской и Подольской ул.», «сквер на месте утраченной латышской лютеранской церкви Христа Спасителя (пересечение Верейской ул. и Загородного пр.)» [2], а также бульвар вдоль Малодетское-ского пр.



-  - пешеходные маршруты  
 - территория в границах объекта исследования

Рис. 6. Основные пешеходные маршруты, сформированные населением локуса «Семенцы» в прогулочных и оздоровительных целях: а – ситуация, сложившаяся к середине марта 2020 г.; б – ситуация, сложившаяся к декабрю 2020 г.

целенаправленного пространственного переустройства сети пешеходных сообщений в его границах за счет:

- радикальной реорганизации, начиная с весны 2020 г., трассировки внутренних пешеходных маршрутов (деловых, оздоровительных, прогулочных, транзитных), состоявшей в резком приращении их количества и, следовательно, изменении локаций;

- перераспределения основных потоков и регулирования направлений пешеходного движения по главным внутренним коммуникациям, предпринятого в соответствии с его целевыми установками: оздоровление, прогулки, работа, транзит;

- спонтанного пространственного обособления путей движения пешеходов и традиционных и инновационных средств индивидуальной мобильности в границах тротуаров проспектов и жилых улиц с учетом специфики их поперечных профилей.

Наиболее ярко первая тенденция иллюстрируется корректировкой прогулочно-оздоровительной маршрутизации, связанной в т. ч. и с посещением населением объектов ежедневно-

го, периодического и эпизодического обслуживания (рис. 6). Помимо ранее «наработанных» маршрутов, в орбиту активного освоения были вовлечены практически все поперечные связи района, включая Бронницкую и Рузовскую улицы, Введенский канал, а также набережную Обводного канала, прежде не популярные в плане «отдохновения» и «оздоровления». Оптимизации маршрутов по критерию их здоровьесобразности способствует небольшая глубина (60-65 м) и различная протяженность кварталов (от 140 до 320 м), что позволяет отдельным социально-демографическим группам «слобжан» дозировать пешеходно-оздоровительные нагрузки, а также, варьируя маршруты, разнообразить их в зависимости от конкретных целей передвижения в границах локуса<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Маршруты пешеходных передвижений населения локуса, осуществляемых в деловых и транзитных целях, изменились за период пандемии незначительно: преимущественно за счет более интенсивного использования внутренних пространств кварталов, немногочисленных сохранившихся проходных дворов.

Вторая тенденция обусловила осуществление перемещений делового и транзитного характера, как более скоростных и «целеустремленных», по тротуарам Клинского и Малодетскосельского проспектов, прогулочных и оздоровительных – по одноименным бульварам. Направления же движения упорядочиваются «слобожанами» сообразно суточным колебаниям плотности пешеходных потоков: при этом основным принципом выбора вектора движения и/или его корректировки является предотвращение плотного встречного движения в одном потоке.

В составе поперечного профиля улиц и проспектов «на Семенцах» отсутствуют как велодорожки, так и велополосы. Поэтому третья тенденция обусловила организацию в границах наиболее широких (3,2–4 м) тротуарных частей улиц (четная сторона Верейской, Можайской, Подольской, Серпуховской ул.) и проспектов (четная сторона Клинского пр.) специальных «коридоров» для движения велосипедов, гироскутеров, моноколес, самокатов, сегвейев, скейтов и пр. шириной около полутора метров, примыкающих к разделительным полосам (газонам, парковочным местам), в целях обеспечения индивидуальной и коллективной сохранности (физической, психологической, эпидемиологической).

Нам также представляется значимым отвечающее противэпидемиологическим критериям доказательной медицины дисперсное, рассредоточенное и относительно равномерное использование населением «городской слободы» в качестве мест отдыха и рекреации территорий объектов зеленых насаждений общего пользования (сада, скверов, бульваров), обширных участков внутриквартального озеленения, многочисленных, отлично оборудованных детских площадок, плоскостных спортивных сооружений и тренажерных комплексов открытого типа. Обращает на себя внимание и состоявшаяся за время пандемии явная «дезагрегация» путей выгула и мест дрессировки, игр и социализации домашних питомцев «слобожан» – преимущественно собак различных пород. Общая тенденция очевидна: она иллюстрируется, во-первых, заменой центрально-слободских маршрутов выгула (Клинский, Малодетскосельский пр.) на периферийные (наб. Обводного канала, ул. Введенского канала, Батайский пер.) и, во-вторых, обособлением в границах сада «Олимпия» и обширных, хозяйственно не освоенных территорий (квартал, ограниченный Рузовской ул., Загородным пр., Введенским кан., наб. Обводного кан.; откосы железнодорожной насыпи Октябрьской железной дороги) игровых и тренировочных зон,

дифференцированных сообразно крупности пород животных.

Планировочная компонента локуса – константа в постепенно меняющейся среде рядового фрагмента исторического центра Петербурга – способствует также соблюдению населением «городской слободы» требования «дистанцирования», которое проявляется, в первую очередь, предотвращением и/или избеганием ситуаций массового скопления людей. Оптимальные по критерию личной защищенности плотность дорожно-тропиночной сети объектов зеленых насаждений общего пользования, специфика «прорисовки» поперечных профилей улиц, проспектов, набережной, размещение в садах и скверах, на бульварах и внутриквартальных озелененных территориях, на детских и спортивных площадках разнообразных элементов благоустройства и соответствующего оборудования позволяют людям взаимодействовать, соблюдая уже привычную «социальную дистанцию» 1,5–2 м, а также изыскивать новые пространственные возможности и способы общения. Соблюдая режимы частичной отмены ограничений или минимальных ограничений, «слобожане», встречаясь, например, на Клинском бульваре, общаются, как правило, на дистанции 4 м – именно на таком расстоянии попарно, друг напротив друга установлены скамейки, разделенные пешеходной зоной. Режим же самоизоляции вообще возродил в Семенцах типично слободские формы коммуникации: так возрастные неработающие «аборигены» ввели в местную практику социального взаимодействия беседы друг с другом и прохожими, знакомыми и незнакомыми, что называется «через окно». Понятно, что наиболее интенсивно такого рода общение – весьма оживленное, заинтересованное и жизненно необходимое пожилым людям, происходило в дневное время и преимущественно на уровне 1–3-го этажей. Так экстремальные условия «пандемийной реальности» побудили сдержанных, интровертированных, но креативных петербуржцев быстро освоить немислимые здесь ранее экспансивные «ритуалы» экстравертной коммуникации.

Архитектурно-пространственная составляющая средовой организации локуса, в отличие от ее композиционно-планировочной компоненты, претерпела, как уже отмечалось, существенные изменения во времени, которые, тем не менее, не снижают «антипандемийный» потенциал объекта изучения. Исходный застройочный морфотип, преобладавший в архитектурном ландшафте всей полковой слободы, был представлен во второй половине XVIII в. разреженной усадебной застройкой с небольшими участками, дурно обустроенной по двухрядной

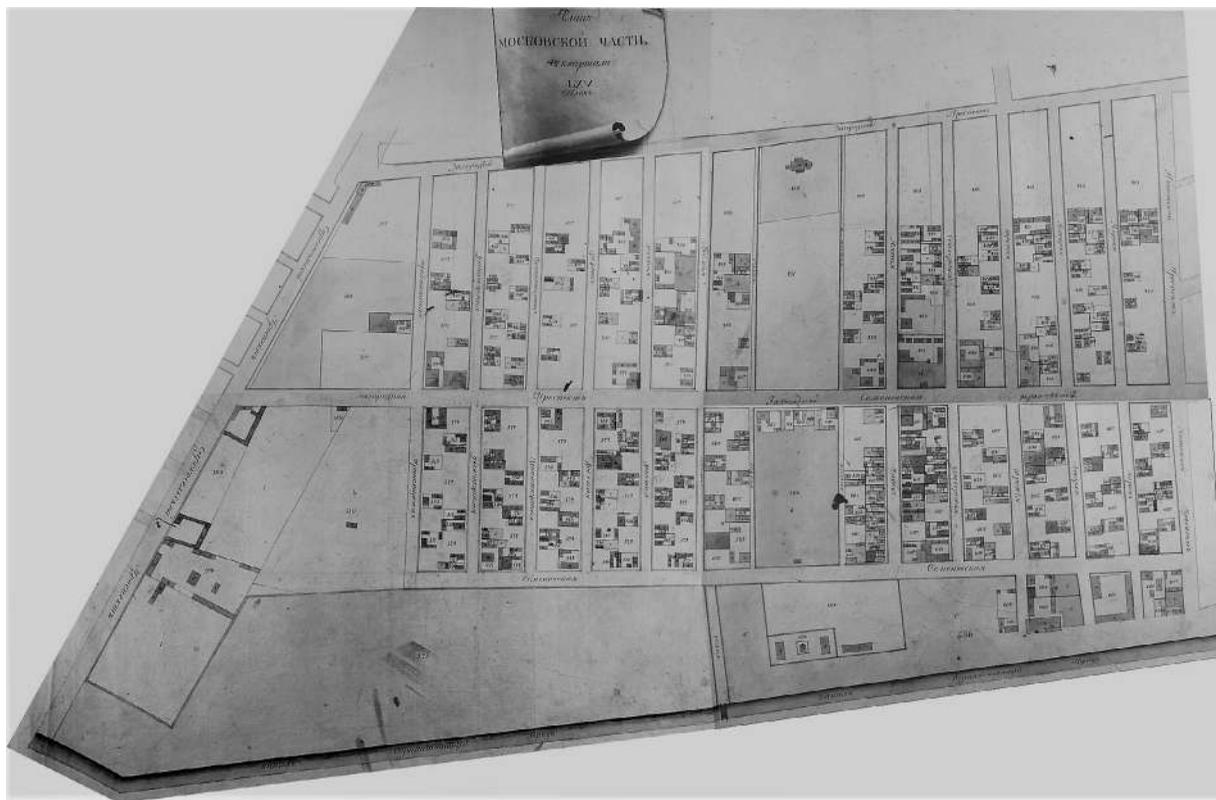


Рис. 7. Архитектурно-планировочная организация слободы Лейб-гвардии Семёновского полка в Санкт-Петербурге. 1798. (ЦГИА СПб. Ф. 513. Оп. 168. Ед. хр. 319. ЛЛ. 69-72).  
Компьютерная обработка материалов О.А. Песляк, 2020 г.

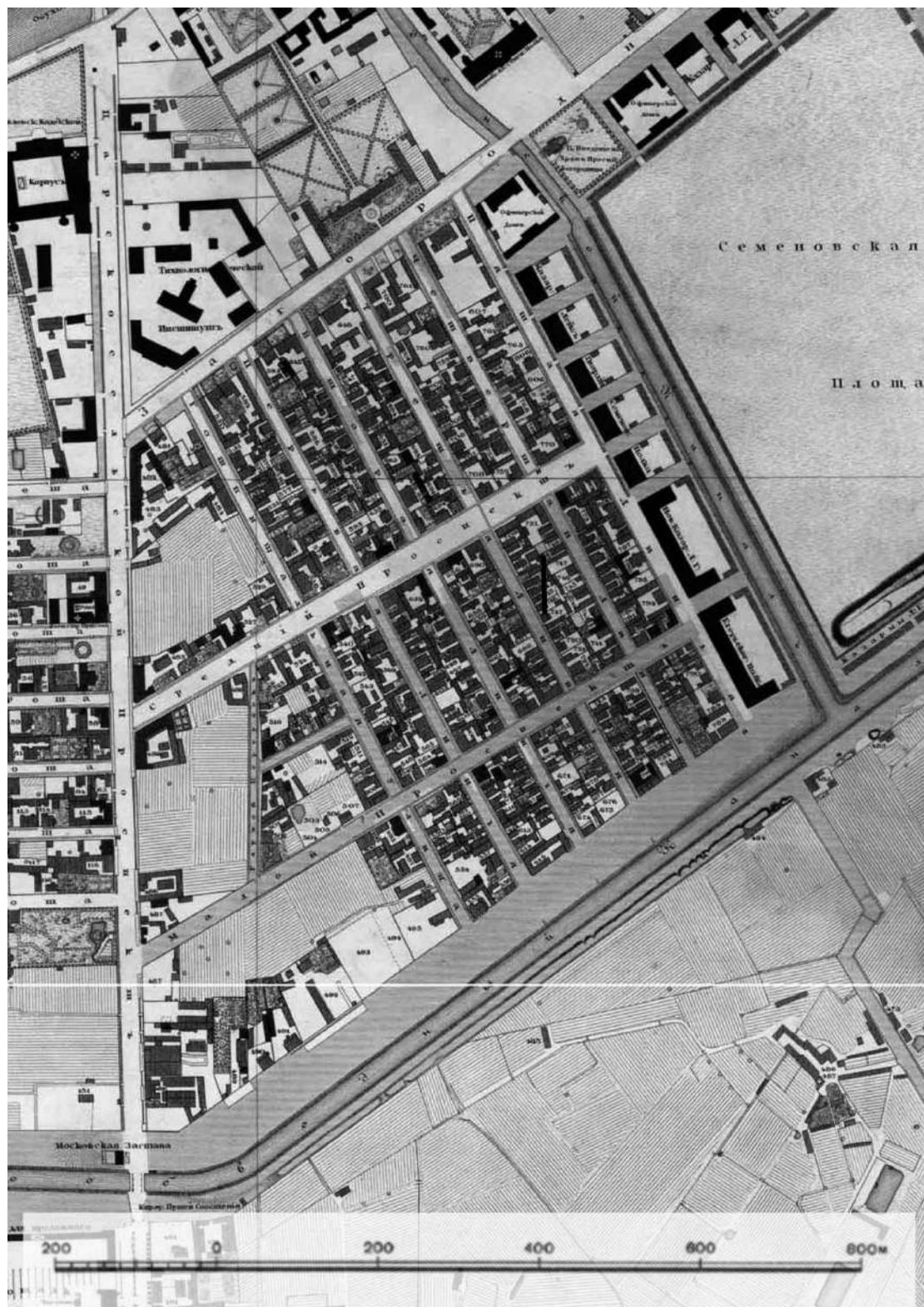
квартальной схеме. Одно-двух-этажные жилые дома – деревянные, отдельно стоявшие в окружении садов, огородов, выгонов, хозяйственных, производственных, складских и иных «дворов» и построек, как правило, обуславливали разорванность и неупорядоченность уличных фронтов первой-тринадцатой улиц-линий, которые пересекали земельные владения Лейб-гвардии Семеновского полка в направлении с северо-запада на юго-восток [6. ЛЛ. 69–72] (рис. 7)<sup>5</sup>.

В первой половине XIX в. – периоде «ранней индустриализации, или иначе «промышленного переворота» [10] в Петербурге, уровень градостроительной освоенности территории западного фрагмента полкового землеотвода, где «расселялось гражданское население слободы Семеновского полка» [7], значительно возрос, по отношению к «протоиндустриальному этапу» [10], за счет тиражирования исходного архитектурно-пространственного морфотипа в урегулированных линиях застройки кварталов [3].

«Слобода была застроена неплотно и беспорядочно. Светлицы располагались в шахматном порядке, зачастую далеко от четкой регулярности» [8]; своим «видом слобода мало походила на уголок столицы и, по словам полкового историка, «представляла нечто вроде малоопрятной деревни...» [3].

талов [11. Л. 28; 12. Л. XXII] (рис. 8). Однако в «70–80-х годах XIX века почти все деревянные постройки слободы были снесены, и район стал застраиваться многоэтажными доходными домами» [7, 13]. Этот застройочный морфотип индустриального генеза и облика, доминирующий в границах изучения и сегодня, представлен преимущественно высокоплотной городской, многоквартирной периметральной 2–7-этажной жилой застройкой с мансардами, также организованной по двухрядной модели с учетом состоявшегося во второй половине XIX в. частичного перемержевания владельческих участков [2] во вновь урегулированных линиях застройки исторических кварталов [14].

Неизбежное доформирование и «обновление» архитектурно-пространственной среды «городской слободы» с наступлением «индустриально-информационной» [15] эпохи никоим образом не сказалось на базовом морфотипе ее застройки: возведение многоквартирных среднеэтажных жилых зданий (и отдельных общественно-деловых объектов), встраиваемых в уличные фронты и внутриквартальные «лакуны», начиная с 1980-х гг. до настоящего момента, за редким исключением, осуществляется в соответствии с историческими прото-



М 1:10000

Рис. 8. Подробный план Столичного города С. Петербурга снятый по масштабу 1/4200 под начальством Генерал-майора Шуберта. СПб.: Грав. при Военно-Топографическом Депо, 1828. Фрагмент. (РНБ К<sup>2-116</sup>/<sub>38</sub>)

типами рубежа XIX–XX вв. (рис. 9). При этом высокое качество архитектуры последних – фоновых (рис. 10) и акцентных зданий (рис. 11), строений и сооружений, градостроительных доминант (рис. 12) [2], их преобладание в застройочном массиве локуса создают предпосылки для оптимального восприятия населением границ открытых общественных пространств, «очеловечивают» их масштаб и, тем самым, улучшая условия ориентации «слобожан» в насыщенной городской среде, способствуют сохранению и/или обретению эмоциональной

устойчивости и поддержанию чувства защищенности в психологически сложной ситуации нарастающей пандемии. Более того, общеизвестные специфические особенности формирования подобного морфотипа застройки, а именно: обособление внутриворотовых пространств, закрытых для доступа посторонних людей, от уличных пространств (проходных дворов в центре Петербурга сегодня мало популярны и немногочисленны!), организация отдельных входов в нежилые и жилые помещения, располагающиеся на первых, реже – на



Рис. 9. Жилой дом: Серпуховская ул., 34 (арх. А.Р. Шендерович, 2002). Фото автора, 2020 г.



Рис. 10. Фоновый жилой дом: Верейская ул., 19/Клинский пр., 9 (арх. Ф.Л. Миллер, 1881–1884). Фото автора, 2020 г.



Рис. 11. Акцентные жилые здания: Рузовская ул., 17/Клинский пр., 2 (арх. А.Ф. Барановский, 1910) и Можайская ул., 24-26/Клинский пр., 4 (2003). Фото автора, 2020 г.



Рис. 12. Градостроительная доминанта Клинского пр. – бывший доходный дом Захаровых на Серпуховской ул., 19/Клинском пр., 17 (гр. инж. А.А. Захаров, 1912–1913). Фото автора, 2020 г.

вторых этажах жилых зданий, обязательное устройство так называемых «чёрных» лестниц, дублирующих главные вертикальные коммуникации (парадные лестницы, лифты), наличие минимального количества входов в квартиры с лестничных площадок (один–три), в период развертывания пандемии новой коронавирусной инфекции оказались действенными «противоэпидемиологическими» регуляторами, изрядно снижающими риски заражения<sup>6</sup>.

Доформирование и «обновление» архитектурного ландшафта Семенов «информационно-индустриального» толка незначительно, но, тем не менее, заметно сказались на функциональной составляющей локуса при сохранении исторически состоявшегося доминирования здесь жилой функции. Существо изменений заключалось, во-первых, в перепрофилировании под актуальные цели и задачи городского сообщества крупных общественно-деловых и единичных производственных объектов конца XIX – середины XX в., располагавшихся в границах «городской слободы» и имевших общегородскую значимость<sup>7</sup>. Речь

<sup>6</sup> Жилые здания, в которых в советское время и постсоветский период состоялись капитальный ремонт или полная реконструкция, составляющие около четверти жилого фонда Семенов, значительно уступают дореволюционной доходной застройке по критерию здоровьесообразности в части их объемно-планировочных решений.

<sup>7</sup> Функциональные доминанты городского ранга сегодня в Семенах немногочисленны и территориально разобщены. К ним относятся: станция метро «Технологический институт» (Московский пр., 28), административный корпус СПбГАСУ и учебный – ВШЭ (Серпуховская ул., 10, 12), Санкт-Петербургский НИИ уха, горла, носа и речи (Бронницкая ул., 9), Институт проблем региональной экономики РАН, Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики и Научно-учебный центр подготовки кадров для отраслей народного хозяйства РФ (Малодетское сельский пр., 15), отель «Олимпия гарден» (Original Sokos Hotel Olympia Garden; Батайский пер., 3), центральные офисы Санкт-Петербургских ГБУ «Ленсвет» (Подольская ул., 36) и «Горжилобмен» (Бронницкая ул., 32), Главное управление ЦБР и др. Районный уровень общественной инфраструктуры представлен рядом колледжей (коммерческим, медицинским, педагогическим, полиграфическим), библиотеками «Бронницкой» и «Семеновской», молодежными центром «Адмиралтеец» и клубом «Прометей», административными зданиями Сбербанка России и Управления по вопросам миграции, крупными сетевыми бизнес-центрами «Павелецкий», «Сенатор» и «Фарватер», Домом детского творчества «Измайловский», Домом системы социального обслуживания населения Адмиралтейского района, музыкальной школой, детской поликлиникой и иными объектами.

идет о фабрике «Нево-табак» на Клинском пр., 25 (ныне бизнес-центр «Клинский»), заводе «Медтехника» на Рузовской ул., 18 (ныне лофт), универмаге «Фрунзенский» на Московском пр., 60 (ныне бизнес-центр «Сенатор»), кинотеатре «Космонавт» на Бронницкой ул., 24 (ныне многофункциональный комплекс) и др. Во-вторых, в формировании непрерывной, высокоплотной системы предоставления населению различных услуг повседневного, периодического и эпизодического спроса за счет эффективного развития объектов малой вместимости (торговли, общественного питания, образования, культуры, туризма, информационной поддержки, транспортного, юридического, коммунально-бытового, медицинского обслуживания и пр.), располагающихся преимущественно на первых и вторых этажах, в цокольных помещениях зданий, оформляющих главные коммуникационные связи локуса с городом (Загородный, Московский пр.), на Бронницкой ул., вдоль западных отрезков Клинского и Малодетское сельского пр. (от Подольской ул. до Московского пр.) – основных деловых и транзитных внутрирайонных трасс, а также на примыкающих к ним внутриквартальных территориях. Подобный характер функциональной организации «городской слободы», которую петербуржцы иногда несправедливо именуют «спальным районом центра», обеспечивает не только комфортность жизнедеятельности населения, предоставляя широкие возможности трудоустройства «слобожан» по месту проживания и приближая услуги к потребителям, имеющим различный социально-демографический, финансово-имущественный и культурно-образовательный статус, но и значительно повышает информативность, устойчивость и безопасность внутриобъектной среды. В период эпидемиологического неблагополучия дробность разнообразных элементов системы обслуживания и мест деятельности органично включенных в уличные фронты и внутриквартальные пространства Семенов, оказалась важным фактором стабилизации здесь эпидобстановки. Тем не менее, даже при наличии благоприятных функционально-пространственных условий для соблюдения населением противоэпидемиологических требований «дезагрегации» и «дистанцирования», за период с марта по ноябрь 2020 г. в границах локуса состоялось территориальное перераспределение общественно-деловых объектов, закономерное в условиях пандемии, изменились способы их работы.

Можно выделить три основные тенденции перераспределения объектов обслуживания населения и предпринимательской деятель-

ности, которые в значительной степени повысили «антипандемийный» потенциал локуса:

- во-первых, почти полностью обновился состав и поменялись владельцы и/или арендаторы объектов торговли, общественного питания, делового, коммунально-бытового и информационного назначения, традиционно располагающихся вдоль главных «общественно-деловых» коммуникаций Семенцов, состоялось их разукрупнение и, таким образом, значительно возросло их количество, а следовательно, удобство и безопасность использования;

- во-вторых, произошло активное распространение и результативное внедрение всех форм обслуживания «слобжан» в периферийные зоны локуса, ранее мало охваченные этой общественно значимой сферой деятельности. Процесс развивался «фронтально» в двух направлениях: от Загородного проспекта к набережной Обводного канала и от Московского проспекта к Рузовской улице, что в итоге обусловило относительно равномерное распределение общественно-деловых объектов в границах Семенцов. Это позволило, с одной стороны, максимально приблизить разнообразные учреждения обслуживания к их потенциальным потребителям и сотрудникам, нарастить, тем самым, информативность и комфортность среды слободской периферии, а с другой – снизить плотность основных пешеходных потоков в традиционно более посещаемых территориальных фрагментах локуса и, следовательно, повысить здоровьесообразность открытых (и закрытых) пространств;

- в-третьих, номенклатура общественно-деловых объектов локуса существенно расширилась как за счет развития уже апробированных здесь сфер и форм общественно-деловой и потребительской активности, так и посредством создания новых для Семенцов учреждений. Так в районе возросло количество специализированных и многопрофильных медицинских центров («Бельведер», «Остеопат и Я», «Петер Сваллоу», «Пикассо» и др.), престижных сетевых объектов питания (кафе «Коржов», «Кофестория», «Пекарня Вольчека», «Moustant lounge Safe», рестораны «Евразия», «Еда и вино», «Pixel Lounge» и др.) и торговли (специализированные магазины «Белорусские продукты», «Риф», «Икра и рыба», супермаркеты «Магнит», «Реаль», «Фермерские продукты» и др.), а также бизнес-центров малой крупности. Появились просторные лофты («На Рузовской», «Путиловский»), возникли авторские ателье по пошиву и ремонту одежды («Мужской портной», «Никита Раков» и др.), организованы авторизованные пункты каршеринга и проката разнообразных средств индивидуальной

мобильности («Прокат на Введенском» и др.), обустроен пансионат для престарелых людей и инвалидов с режимом дневного стационара («Уютный уголок»). Развитие уже существовавших и возникновение новых функций, несомненно, повышают благоустроенность и удобство проживания населения «на Семенцах», обеспечивают коллективную (и индивидуальную) психологическую устойчивость и физическую защищенность в условиях «пандемийной реальности».

Состоявшиеся в границах «городской слободы» изменения в способах организации работы различных общественно-деловых объектов нацелены на наиболее эффективное использование наличествующих ресурсов с учетом действующей системы «антиковидных» ограничений и установок «шеринг-экономики». Как правило, услуги, товары и продукты деятельности исключительно разнообразны и максимально приближены к потребителям за счет, например:

- повсеместного внедрения в практику торговли, общественного питания, коммунально-бытового и других сфер местного обслуживания системы предварительных заказов, организации курьерской доставки и работы «на вынос», с целью разуплотнения открытых и закрытых общественных пространств и сокращения числа контактов между людьми;

- освоения ресторанами, кафе, барами и иными объектами общественного питания прилегающих к ним территорий (тротуаров, открытых площадок, газонов и пр.) с расстановкой уличной мебели сообразно критерию «дистанцирования», введения специальной «шахматной» рассадки внутри закрытых помещений для безопасного пребывания в них посетителей и работы обслуживающего персонала;

- повсеместного внедрения в практику деловой активности почасового предоставления помещений в бизнес-центрах различного класса, мастерских творческих работников и офисах небольших фирм (преимущественно юридического, проектного, консалтингового, финансового, туристического профиля и пр.) сотрудникам организаций, работающих «на удаленке», индивидуальным предпринимателям и убежденным «фрилансерам» любых «мастей» для проведения отдельных производственных мероприятий, организации коворкингов, что, кстати, заставляет арендодателей более осознанно и добросовестно выполнять все санитарно-гигиенические требования Роспотребнадзора. В медицинской сфере, широко представленной в локусе, сформировалась практика сдачи в аренду руководителями и/или владельцами узко специализированных организаций

(стоматология, рентгенология, ревматология и ортопедия, остеопатия и пр.) собственных, полностью оснащенных необходимым оборудованием помещений, аналогичных медцентрам, на самых разных условиях (режимах использования в т.ч.).

Таким образом, современная функциональная составляющая «городской слободы» характеризуется сегодня, на наш взгляд, полноценным развитием объектов первичного уровня обслуживания населения и многочисленных «малых форм» разнообразной трудовой деятельности, что позволяет назвать этот небольшой район высокого уровня центральности «городом в городе» и соотнести с тем самым «15-минутным городом» [16], который обоснованно считается одной из градостроительных панaceй в период пандемии новой коронавирусной инфекции.

Фактором, способствующим весьма эффективно и непрерывно «самопреобразованию» функциональных параметров открытых (и закрытых) общественных пространств локуса в условиях пандемии COVID-19, послужили гетерогенность и выраженная «персонализация» слободской территориальной общности, совокупность коллективных потребностей и привычек «слобожан», сложившаяся в течение десятилетий, определенная заданность их ожиданий в отношении среды жизнедеятельности. Традиционно значительную часть населения Семенов составляют сотрудники сферы образования – местных школ, колледжей, вузов, расположенных поблизости, на Московском и Загородном проспектах, а именно: Санкт-Петербургских государственных архитектурно-строительного университета, института культуры, технологического института, университета путей сообщения, экономического университета, Высшей школы экономики и Военно-медицинской академии, а также детских дошкольных, культурно-досуговых и медицинских учреждений. Другой многочисленной группой населения являются работники различных служб Адмиралтейского района (коммунальных в т.ч.), представители его администрации. Исторически Семенов привлекают в качестве места постоянного и/или временного проживания людей творческих профессий [7, 17] – художников, модельеров, музыкантов, поэтов и писателей, архитекторов и дизайнеров и, конечно, театральной элиты – ведущих солистов, дирижеров, актёров, режиссёров и рядовых сотрудников прославленных Мариинского и Александринского, Большого драматического и Малого драматического театров, знаменитых ленинградского ТЮЗа, Молодежного театра на Фонтанке, театра Комедии, по-

пулярных ныне Приюта комедианта, Театра на Неве, Театра Дождей и др. Поэтому не случайно любимый «слобожанами» «сквер у Клинского пр. между Вере́йской и Подольской ул.» [2] носит сегодня имя замечательной ленинградской певицы Лидии Клемент, а фасады многих жилых и «казенных» зданий украшают памятные доски, напоминающая о том, что в них когда-то проживали выдающиеся деятели русской культуры – А.А. Ваганова, В.Г. Белинский, В.М. Гаршин, Д.Д. Шостакович и др. В социально-имущественной структуре Семенов весома доля представителей как крупного, среднего, так и малого бизнеса, непосредственно «привязанного» к территории объекта изучения: владельцы небольших магазинов, кафе-баров, ресторанчиков, медицинских центров и кабинетов, офисов, так называемых «домов быта», типографий, прачечных-химчисток и пр. предпочитают жить там, где работают, повышая тем самым уровень и совершенствуя качество обслуживания «слобожан». Заметна в локусе и высокая представленность возрастной группы неработающих пенсионеров: пожалуй, самой стабильной, заинтересованной в развитии своего «местообитания» и потому инициативной компоненты населения «городской слободы». В Семенцах, равно как и в иных районах исторического центра Санкт-Петербурга, квартируют мигранты – учтенные и не учтенные петербургской официальной статистикой и, как правило, трудоустроенные по «месту временного проживания». Именно таким неоднородным, но слитным составом «слобожане» противостоят сегодня пандемии COVID-19 и совместно с муниципальными властями делают это осознанно, умело и эффективно, применяя самые простые технологии и приёмы достижения индивидуальной и коллективной безопасности.

**Вывод.** Результативность отмеченного противостояния во многом обусловлена имманентными свойствами и параметрами «городской слободы» высокого уровня центральности, присущими ей в силу закономерностей и специфики исторического развития центра северной столицы. Таким образом, высокая сохранность и потенциал развития слободского градостроительного морфотипа в его новой «редакции» и/или модификации наряду с креативностью «слобожан» стали ключевым условием успешной социальной саморегуляции в период эпидемиологического неблагополучия. Безусловно, сейчас «речь идет о месяцах горя и изоляции, по прошествии которых мир вернется к более привычному нормальному состоянию, но эта норма уже не будет прежней. Такой сценарий развития событий», согласно прогнозу американского

теоретика дизайна Бенджамин Браттона, «кажется сейчас наиболее оптимистичным» [18]. Основания к такому оптимизму есть: исторический центр города, как показывает конкретный пример реализации совместных усилий местных властей и локальной территориальной общности по приспособлению пространств и мест обитания к непростым условиям распространения новой коронавирусной инфекции, обладает не только высоко оцениваемой петербуржцами жизнеспособностью, но и здоровьесообразностью морфотипологического генеза – ресурсом, который желательно целенаправленно и рачительно использовать в период пандемии, дабы «текущее чрезвычайное положение» [18] не стало постоянным.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Климов Д.В., Красильникова Э.Э. Принципы формирования гибридных пространств в условиях градостроительной регенерации территории города // Градостроительство. 2016. № 4. С. 85–90.
2. Закон Санкт-Петербурга «О внесении изменений в Закон Санкт-Петербурга «О границах объединенных зон охраны объектов культурного наследия, расположенных на территории Санкт-Петербурга, режимах использования земель и требованиях к градостроительным регламентам в границах указанных зон» (Принят ЗК СПб 15 июля 2020 года) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi](http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi). (дата обращения: 28.11.2020).
3. Кириков Б.М., Марголис А.Д. Пионерская площадь. Л.: Лениздат, 1983.
4. Санкт-Петербург. Картографический атлас. М.: ИПУ РАН, 2004.
5. Топонимическая энциклопедия Санкт-Петербурга / авт.-сост. С.В. Алексеева, Е.А. Балашов, А.Г. Владимирович и др. СПб.: Информационно-издательское агентство «ЛИК», 2002.
6. Атлас столичного города Санкт-Петербурга, состоящий из одиннадцати частей и 51 квартала. 1798. (ЦГИА СПб. Ф. 513. Оп. 168. Ед. хр. 319).
7. Глезеров С.Е. Исторические районы Петербурга. Изд. 2-е, испр. и доп. СПб.: Издательство «Глагол», 2006.
8. Семеновский полк/Мир Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://polki.mirpeterburga.ru/semion/topo>. (дата обращения: 14.10.2020).
9. Санкт-Петербург на планах и картах первой половины XVIII века / С.В. Семенов, О.А. Красникова, Т.П. Мазур, Т.А. Шрадер. СПб.: ООО Туристический и Культурный центр ЭКЛЕКТИКА, 2004.
10. Штиглиц М.С. Промышленная архитектура Петербурга в сфере «индустриальной археологии». СПб.: «Белое и Черное», 2003.
11. Атлас столичного города Санкт-Петербурга, состоящий из одиннадцати частей и 55 кварталов. 1806. (РГВИА. Ф. 846. Оп. 16. № 22510).
12. Подробный план Столичного города С. Петербурга, снятый по масштабу 1/4200 под начальством Генерал-майора Шуберга. СПб.: Грав. при Военно-Топографическом Депо, 1828. (РНБ К  $\frac{2-Пб}{58}$ ).
13. Архитекторы-строители Санкт-Петербурга середины XIX – начала XX века: справочник / сост. А.М. Гинзбург, Б.М. Кириков; ред. Б.М. Кириков. СПб.: «ПИЛИГРИМ», 1996.
14. Градостроительное величие Санкт-Петербурга. 300 лет единой государственной градостроительной деятельности в Санкт-Петербурге. 1706-2006: каталог выставки / сост. С.В. Семенов. СПб.: Туристический и Культурный Центр «Эклектика», 2006.
15. Абалкин Л.И. Смена цивилизаций и исторические судьбы России // Вопросы экономики. 1994. № 8. С. 151–159.
16. Коряковская Н. Что будет с городом после пандемии? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://arhi.ru/Russia/86412/chto-budet-s-gorodom-posle-pandemii> (дата обращения: 25.09.2020).
17. Зимин И.А. На Семенах. СПб.: Изд-во «Нестор-История», 2011.
18. Браттон Б. 18 уроков карантинного урбанизма [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://strelkamag.com/ru/article/18-urokov-karantinnogo-urbanizma>. (дата обращения: 04.10.2020).

### REFERENCES

1. Klimov D.V., Krasil'nikova E.E. Principles of formation of hybrid spaces in the conditions of urban regeneration of the city territory. *Gradostroitel'stvo* [Urban planning]. 2016, no. 4, pp. 85 – 90. (in Russian)
2. The law of Saint Petersburg “On amending the Law of Saint Petersburg “On the boundaries of the United zones of protection of cultural heritage located on the territory of St. Petersburg, the modes of land use and the requirements of urban planning regulations, the borders of these zones” (Adopted ZK SPb July 15, 2020). Available at: [www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi](http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi). (accessed 28 November 2020). (in Russian)
3. Kirikov B.M., Margolis A.D. *Pionerskaya ploshchad'* [Pionerskaya Square]. L., Lenizdat, 1983. (in Russian)
4. Sankt-Peterburg. *Kartograficheskij atlas* [Cartography atlas]. M, IPU RAN, 2004. (in Russian)
5. Alekseeva S.V., Balashov E.A., Vladimirovich A.G. *Toponimicheskaya enciklopediya Sankt-Peterburga* [Toponymic Encyclopedia of Saint Petersburg]. SPb, Information and publishing Agency “LIK”, 2002. (in Russian)
6. Atlas of the capital city of St. Petersburg, consisting of eleven parts and 51 blocks. 1798. (TsGIA SPb. F. 513. Op. 168. Ed. hr. 319.) (in Russian)
7. Glezerov S.E. *Istoricheskie rajony Peterburga. Izd. 2-e, ispr. i dop.* [Historical districts of St. Petersburg. Ed. 2nd, ispr. and add.] SPb, “Glagol” Publ., 2006. (in Russian)
8. *Semenovskij polk/Mir Peterburga* [Semenovskiy polk/World of Saint Petersburg]. Available at: <http://polki.mirpeterburga.ru/semion/topo>.

ki.mirpeterburg.ru/semion/topo. (accessed 14 October 2020). (in Russian)

9. Semencov S.V., Krasnikova O.A., Mazur T.P., Shrader T.A. *Sankt-Peterburg na planah i kartah pervoj poloviny XVIII veka* [St. Petersburg on the plans and maps of the first half of the XVIII century]. SPb, Tourist and Cultural Center "Eclecticism", 2004. (in Russian)

10. SHtiglic M.S. *Promyshlennaya arhitektura Peterburga v sfere «industrial'noj arheologii»* [Industrial architecture of St. Petersburg in the field of "industrial archeology"]. SPb, «Beloe i Chernoe», 2003. (in Russian)

11. Atlas of the capital city of St. Petersburg, consisting of eleven parts and 55 blocks. 1806. (RGVIA. F. 846. Op. 16. No. 22510.)

12. A detailed plan of the Capital city of St. Petersburg shot on a scale of 1/4200 under the command of Major General Schubert. St. Petersburg: Grav. At The Military Topographical Depot, 1828. (RNB К  $\frac{2-П6}{58}$ ) (in Russian)

13. Ginzburg A.M., Kirikov B.M. *Arhitektory-stroiteli Sankt-Peterburga serediny XIX – nachala HKH veka: Spravochnik* [Architects and builders of St. Petersburg in the middle of the XIX – early XX century: Reference book]. SPb, «PILGRIM», 1996. (in Russian)

14. *Gradostroitel'noe velichie Sankt-Peterburga. 300 let edinoj gosudarstvennoj gradostroitel'noj deyatel'nosti v Sankt-Peterburge. 1706-2006: Katalog vystavki / sost. S.V. Semencov* [The urban grandeur of St. Petersburg. 300 years of unified state urban planning activity in St. Petersburg. 1706-2006: Exhibition catalog / S. V. Sementsov]. SPb, Tourist and Cultural Center "Eclecticism", 2006. (in Russian)

Об авторе:

**МОНАСТЫРСКАЯ Марина Евгеньевна**

кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектурного проектирования Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-ая Красноармейская, 4 E-mail: gradoved@gmail.com

15. Abalkin L.I. The change of civilizations and the historical fate of Russia. *Voprosy ekonomiki* [Economic issues]. 1994, no. 8, pp. 151-159. (in Russian)

16. Koryakovskaya N. *CHto budet s gorodom posle pandemii?* [What will happen to the city after the pandemic?] Available at: <https://arhi.ru/Russia/86412/chtobudet-s-gorodom-posle-pandemii> (accessed 25 September 2020). (in Russian)

17. Zimin I.A. *Na Semencah* [On Semenza]. SPb, "Nestor-History" Publ., 2011. (in Russian)

18. Bratton B. *18 urokov karantinno-go urbanizma* [18 lessons in quarantine urbanism]. Available at: <https://strelkamag.com/ru/article/18-urokov-karantinno-go-urbanizma>. (accessed: 04 October 2020). (in Russian)

**MONASTYRSKAYA Marina Ye.**

PhD in Architecture, Associate Professor of the Architectural Design Chair Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering 190005, Russia, Saint Petersburg, Vtoraya Krasnoarmeiskaya str., 4 E-mail: gradoved@gmail.com

Для цитирования: Монастырская М.Е. «Реслободизация» городов – эффективный ответ на эпидемиологический вызов современности. Часть II: предпосылки, алгоритмы, результаты // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 117–129. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.17.

For citation: Monastyrskaya M.Ye. "Reslobodization" of Cities as an Effective Response to the Epidemiological Challenge of the Contemporary. Part II: Preconditions, Algorithms, Results. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 117–129. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.17.

**А. А. ПЛЕШИВЦЕВ**

## **МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КАЧЕСТВА АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ ПОСРЕДСТВОМ ТРАДИЦИОННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**METHODS OF ENSURING FUNCTIONAL QUALITY  
IN ARCHITECTURAL OBJECTS THROUGH TRADITIONAL  
AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES**

*Рассмотрены вопросы, связанные с анализом технологических приёмов формирования архитектурных объектов. Цель исследований – выявление масштабов и перспектив применения традиционных и инновационных технологий. Решение задач, связанных с развитием технологических приемов и процессов, сопровождается развитием общих теоретических знаний архитектурной науки и строительного материаловедения как способов повышения функционального качества архитектурных систем и их отображения в форматах зданий и сооружений. Настоящая необходимость разработки системного подхода и разработка методологии интеграции технологической составляющей (точнее нетрадиционных или инновационных методов и приемов) в алгоритм формирования архитектурных объектов предопределили и обусловили цель и задачи данного исследования. Теоретическая база исследований включает в себя как научно-философские труды, посвящённые объекту и предмету исследования в глобальном аспекте, так и научно-техническую литературу, применительно к конкретной области архитектурной деятельности.*

**Ключевые слова:** архитектурные объекты, архитектурная композиция, системный подход, свойство технологичности, функциональное качество, инновационные технологии, традиционные приемы, малоэтажные здания, репродуктивная и продуктивная деятельность

Архитектурным объектом (искусственным предметом научного познания мира и осмысленного преобразования окружающей материальной среды) можно считать искусственно сформированное целостное произведение, которое характеризуется конструктивным обособлением по форме, собственным функциональным назначением, художественно-эстетической ценностью и индивидуальными или типовыми качественными признаками. Архитектурное произведение содержит внутреннюю пространственную структуру, которая отражает его социальное назначение и индивидуальный

*The issues related to the analysis of technological methods for the formation of architectural objects are considered. The purpose of the research is to identify the scale and prospects for the use of traditional and innovative technologies. Solving problems associated with the development of technological methods and processes is accompanied by the development of general theoretical knowledge of architectural science and building materials science as ways to improve the functional quality of architectural systems and their display in the formats of buildings and structures. The real need to develop a systematic approach and the development of a methodology for integrating the technological component (more precisely, non-traditional or innovative methods and techniques) into the algorithm for the formation of architectural objects predetermined and determined the goal and objectives of this study. The theoretical base of research includes both scientific and philosophical works devoted to the object and subject of research in a global aspect, and scientific and technical literature, in relation to a specific area of architectural activity.*

**Keywords:** architectural objects, architectural composition, systems concept, constructability property, functional quality, innovative technologies, traditional techniques, low-rise buildings, reproductive and productive activities

способ решения задачи коммуникации и взаимодействия с существующей естественной (природной) и организованной (искусственной) средой [1, 2].

Генезис архитектурной деятельности по созданию объектов материальной природы в форматах архитектурных объектов осуществляется по двум основным направлениям:

– *репродуктивная деятельность* как форма объективного обеспечения максимального соответствия функционального качества объекта опыту и результатам предыдущих исследований, подтверждённых положительной продол-

жительной практикой применения классических или традиционных видов архитектурных систем;

– *продуктивная* деятельность как форма субъективного способа нетрадиционного, инновационного решения той же традиционной композиционной задачи, с применением инновационных: архитектурно-строительных, ху-

дожественных и технологических приёмов обеспечения функционального качества.

На рис. 1 представлены примеры (результаты) репродуктивной и продуктивной деятельности в области формирования малоэтажных архитектурных объектов с использованием традиционных и нетрадиционных технологических приёмов.



малоэтажный объект с применением традиционной (стеновой) архитектурной системы



малоэтажный объект с применением инновационной архитектурной системы

Рис. 1. Способы формирования архитектурного малоэтажного объекта с применением традиционной и инновационной архитектурных систем и материалов

В таблице представлен системный анализ основных признаков репродуктивного и продуктивного направлений архитектурной деятельности.

Традиционные технологические приёмы, применяемые для возведения архитектурных объектов в контексте *репродуктивной* деятельности, характеризуются ситуативным объединением знаний и возможностей, накопленных в течение каждого из завершившихся периодов исторического и технологического развития (доиндустриального, индустриального, постиндустриального), пригодных для встраивания структурных (конструктивных, художественных, технологических) элементов в необходимый формат архитектурного объекта.

Многokратное воспроизводство традиционных технологических приемов и архитектурных систем позволяет решать разнообразные архитектурные и градостроительные задачи в рамках репродуктивной деятельности [3, 4].

На рис. 2 представлены основные виды архитектурных (строительных) систем малоэтажных зданий, возводимых с применением традиционных технологических приемов (в рамках репродуктивной архитектурной деятельности).

Композиционные и конструктивные особенности формирования архитектурных систем определяют технологический состав или последовательность выполнения необходимых строительных процессов. Возведение объектов (например в форматах малоэтажных зданий, см. рис. 2) с использованием традиционных технологических приемов характеризуется необходимостью привлечения разнообразных строительных материалов, конструктивных элементов, способов их объединения в целостную систему, машин и механизмов, профильных специалистов различных специальностей и уровней квалификации [5–7].

Вместе с тем тектонические и конструктивные особенности традиционных строительных материалов (в особенности искусственной природы происхождения) далеко не исчерпали ресурсов эволюции свойств, параметров и характеристик, применяемых при изготовлении и возведении традиционных архитектурных систем и отдельных конструктивных элементов [8–10].

Принцип преемственности, воспроизводства и эволюции характеризует такую особенность состояния и свойства репродукции архитектурной системы, как возможность

**Оценка способов отображения архитектурной деятельности  
с применением традиционных и инновационных технологий**

№ п/п	Наименование признака (показателя)	Способы и преимущества отображения архитектурно-строительной деятельности в отношении обеспечения функционального качества			
		<i>репродуктивная</i>		<i>продуктивная</i>	
		традиционные приемы	нетрадиционные приемы	традиционные приемы	нетрадиционные приемы
<b>1. Структурный элемент (фактор) архитектурно-строительной деятельности</b>					
1.1	Производственный	+	±	±	+
1.2	Строительный	+	±	-	+
1.3	Управленческий	+	±	±	±
1.4	Организационный	+	±	±	±
1.5	Экономический	+	+	-	+
1.6	Социальный	±	+	±	+
		6/1	6/4	4/6	6/2
<b>2. Направления развития</b>					
2.1	Научные исследования	±	+	±	+
2.2	Новые типы архитектурных систем	±	+	±	+
2.3	Технологичность изготовления	±	+	±	±
2.4	Технологичность возведения	±	+	±	±
2.5	Технологичность эксплуатации	±	±	±	±
		5/5	5/1	5/5	5/3
<b>3. Масштаб применения</b>					
3.1	Местный, малый	+	±	±	+
3.2	Местный, средний	+	±	±	+
3.3	Местный, крупный	+	+	±	+
3.4	Региональный	±	+	-	+
3.5	Национальный	±	+	-	+
3.6	Транснациональный	±	+	-	±
		6/3	6/2	3/6	6/1
<b>4. Динамика реализации</b>					
4.1	Равномерная	+	±	±	±
4.2	Прогрессирующая	±	±	-	+
4.3	Регрессирующая	+	±	±	-
4.4	Неравномерная	+	±	±	±
		4/1	4/4	3/4	3/3
<b>5. Эффективность реализации</b>					
5.1	Низкая	-	+	±	±
5.2	Средняя	±	±	-	+
5.3	Высокая	+	±	-	+
		2/2	3/2	1/3	3/1
	<b>Всего:</b>	<b>23/12</b>	<b>24/13</b>	<b>16/24</b>	<b>23/10</b>

*Примечание.* Знаком «+» отмечена положительная оценка (возможность, свойство) признака; знаком «-» отмечена отрицательная оценка (возможность, свойство) признака.



камень, ручная кладка, стеновая



камень, крупные блоки, стеновая



железобетон, монолитная, стеновая



железобетон, сборная, стеновая



дерево, бревенчатая, стеновая



дерево, панельная, стеновая

Рис. 2. Традиционные приемы формирования архитектурных (строительных) систем малоэтажных зданий

функционирования в условиях адаптации к некоторым возможным изменениям или, напротив, сохранения и воспроизводства необходимого функционального качества и количества структурных элементов. Преемственность и воспроизводство свойств и характеристик частей (структурных элементов) и целого (архитектурной системы) определяются признаками функционального и тектонического соответствия историческим приемам реализации композиционных решений. Эволюционные изменения обусловлены изменениями окружаю-

щей среды и являются результатом адаптации, приспособления к ней параметров внутреннего пространства. Практическая проблема, состоящая в необходимости сохранения (воспроизводства) или изменения свойств и характеристик в устойчивой (до определенного момента) архитектурной системе для повышения эффективности, в каждом случае должна решаться в соответствии с конкретными условиями функционирования архитектурного объекта [11,12].

Особенность современного состояния архитектурной науки состоит в постепенном отходе

от непосредственного восстановления преемственности опыта (в рамках репродуктивной деятельности) и переходе к разработке механизмов и инструментов изменения традиционных принципов, навыков знания по отношению к способам и приемам отображения возможностей сложных форм, функций и свойств в соответствующих видах архитектурных систем.

Перенос перспективных (инновационных) возможностей технологической составляющей на особенности выражения свойств и особенностей состояний архитектурного объекта позволяет добиться синтезированного отображения тектонического значения и целостности восприятия в пространственной гармонии эволюции новых видов архитектурных форм и композиционных решений.

Формирование современных образно-стилевых направлений *продуктивной* архитектурной деятельности, которые рассматриваются в качестве альтернативных приемов обеспечения геометрической и тектонической соразмерности традиционных форм и композиционных решений, сопровождается эволюцией известных и революционной организацией новых, инновационных свойств строительных

материалов, тектонических особенностей архитектурных систем, технологических приемов формообразования архитектурных объектов [13–15].

Одной из наиболее заметных возможностей получения прогрессивных показателей функционального качества строительной продукции является применение аддитивных технологий в строительном производстве [16–18].

Применение аддитивных технологий для послойного наращивания («впечатывания», нанесения) конструктивных элементов архитектурных (строительных) конструкций вполне соответствует эпитету «*новой эры индустриализации*» проектирования, изготовления и возведения инновационных архитектурных систем в контексте продуктивного направления архитектурной деятельности (рис. 3).

К числу основных конкурентных преимуществ рассматриваемой инновационной технологии формирования архитектурных объектов (на примере формата малоэтажного здания) можно отнести:

– *разнообразие применяемых строительных материалов*: определяется доступностью при-



исходная BIM-модель



3D-печать объекта



3D-принтер



«возведенный» объект

Рис. 3. 3D-печать архитектурного объекта (малоэтажного здания) [19]

менения традиционных (бетон, металл, цемент) и нетрадиционных (полимеры, модифицированные смеси) видов материалов;

– *функциональное качество строительной продукции*: определяется полным отсутствием или минимизацией количества пространственных (геометрических) отклонений, нарушений сплошности и однородности материала, несоответствий установленных параметров и свойств конструктивных элементов архитектурной системы;

– *расширение архитектурных (композиционных) приёмов формообразования*: определяется доступностью возможностей по реализации разнообразных архитектурных образов с использованием традиционных и нетрадиционных систем;

– *технологичность изготовления и возведения*: определяется практической возможностью организационно-технологического объединения процессов изготовления конструктивных элементов и возведения архитектурной системы в условиях строительной площадки;

– *экономичность строительного производства*: определяется снижением трудовых затрат, повышением степени механизации и автоматизации производственных процессов и сокращения продолжительности возведения;

– *экологичность строительного производства*: определяется минимизацией экологической нагрузки на окружающую среду, прежде всего вследствие значительного сокращения количества отходов строительства.

Очевидным достоинством рассмотренной инновационной, информационно-строительной технологии является достижение синергетического эффекта, связанного с повышением производительности и конструктивно-технологического совершенства комплектов производственного оборудования (3D-принтеров) и минимизации рисков снижения функционального качества строительной продукции вследствие проявления ошибок и нарушений технологий проектирований и возведения от человеческого фактора.

Современная продуктивная деятельность рассматривается в контексте культурного оппонирования и способа передачи особенностей экспериментального формообразования посредством выражения технологических возможностей и спецификой представления осмысленного замысла архитектурного образа.

Развитие строительной области не требует немедленного, безальтернативного и интенсивного внедрения инновационных технологий и способов модификации свойств и параметров традиционных строительных материалов в практическую деятельность. Но в ряде слу-

чаев именно инновационные приемы и технологии являются рациональной и практичной возможностью восстановления или повышения параметров функционального качества строительных объектов, в основном для особых природно-климатических и градостроительных условий или при формировании уникальных или технологически сложных систем (например в ходе реновации строительных объектов культурно-исторического наследия).

В настоящее время отсутствует научно-обоснованная, критериальная оценка уровня прогрессивности (степени «инновационности», технологичности) технологической составляющей определенной архитектурной системы. При необходимости проведения анализа технологичности строительной (архитектурной) системы, оценка производится по ее одному или нескольким главным параметрам: строительным материалам, возможностям строительного оборудования, уровню механизации и автоматизации строительного производства [20,21].

Эффективность применения инновационных технологических приемов (одного или нескольких вариантов реализации) характеризуется системой количественных и качественных показателей, по которым и осуществляется оценка преимуществ определенного варианта осуществления над другими, а также над традиционными технологическими приемами, доступными для рассматриваемого (проектируемого) архитектурного объекта (архитектурной системы).

На рис. 4 представлена общая структурная схема системного анализа, ориентированная на априорное выявление перспективных направлений инновационных технологических приемов и процессов, способствующих достижению показателей функционального качества архитектурного объекта.

Концепция системного подхода к анализу условий формирования функционально-технологического качества архитектурных систем предполагает применение обширного количества теоретических и практических методов и приемов, характеризующегося следующими основными принципами [22,23]:

– учет иерархии и особенностей формирования показателей функционального качества в течение всех основных периодов жизненного цикла;

– организация исследований условий и особенностей механизма интеграции конструктивных элементов в целостную структуру и их влияние на конечный результат функционирования архитектурного объекта;

– ориентация исследований на получение количественного и качественного состава харак-



Рис. 4. Структурная схема анализа возможностей применения инновационных технологических приемов (операций)

теристик, наиболее точно и полно отображающих особенности свойств и состояний архитектурной системы.

Результатом анализа является сравнительная оценка (по одному, двум или более показателям), которая позволяет определять перспективные направления совершенствования технологических особенностей отображения архитектурных объектов в функциональном, экономическом и художественно-эстетическом отношениях.

**Выводы.** Методика приоритетной мотивации художественно-образного мышления, сопровождающая традиционный подход к разработке проектных (композиционных) решений, неоправданно занижает значимость такого фактора влияния, как технологичность (технологическая составляющая композиции) архитектурной системы.

Технологичность формирования архитектурных объектов находится в непосредственном взаимодействии с конструктивной, функциональной и художественно-эстетической составляющими единого и целостного композиционного решения.

Равноправное или равнозначное отображение принципа единства технологичности с основными структурными элементами архитектурной композиции представляет интерес как для традиционных, так и нетрадиционных приемов при проектировании и возведении архитектурных объектов.

Соответственно потеря качества и масштаба осознания и области применения нетрадиционных (инновационных) приемов и технологий образуют риски отставания как, собственно, в технологическом аспекте, так и в скорости общего, цивилизационного развития обществен-

ных, экономических и производственных отношений в современных архитектурных объектах.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бирюкова Е.Е. Эстетика формы и содержание архитектурного пространства: дис. ... кандидата философских наук: 09.00.04. Владимир, 2003. 249 с.
2. Mark W. Maier, Eberhardt Rehtin. The Art of Systems Architecting. New-York: CRC Press. 2009. 477 p.
3. Michael Fazio, Marian Moffett, Lawrence Wodehouse. A World History of Architecture. New-York. McGraw-Hill Education. 2008. 608 p.
4. Добрицына И.А. От постмодернизма – к нелинейной архитектуре: Архитектура в контексте современной философии и науки: дис. ... доктора архитектуры. М., 2007. 332 с.
5. Юдина А.Ф. Строительство жилых и общественных зданий. М.: Академия, 2011. 368 с.
6. Индустриальные конструкции для строительства малоэтажных зданий и сооружений / В.И. Жаданов, Н.П. Абовский, И.С. Инжутов, Л.В. Енджиевский, В.И. Савченков. Оренбург; Красноярск: ОГУ-СФУ, 2009. 416 с.
7. Жаров Я.В. Принятие организационно-технологических решений в строительстве на основе технологии многомерного моделирования: дис. ... канд. технических наук: 05.02.22. М., 2014. 143 с.
8. Hyunsook Shim, Gyunghyun Choi. Study of construction convergence technology for performance improvement in functional building materials // Journal of Building Engineering. Volume 11. May. 2017. P. 108–114.
9. Roberto Naboni, Ingrid Paoletti. Advanced Customization in Architectural Design and Construction. New-York: Springer. 2015. 418 p.
10. Гусев Е.В., Мухаметзянов З.Р., Антыков Д.Г. Современные аспекты анализа технологии строительства объекта // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2012. № 12. С. 56–59.

11. Julia McMorrough. The Architecture Reference & Specification Book: Everything Architects Need to Know Every Day. New-York: Rockport Publishers; Indispensable Guide edition. 2013. 272 p.
12. Янковская Ю. С. Образ и морфология архитектурного объекта: дис. ... доктора архитектуры. М., 2006. 266 с.
13. Шумилова Е. Ю., Танцура А.В. Влияние новых технологий на формообразование в современной архитектуре // Сборник научных докладов 21-й научно-практической конференции. Минеральные Воды. 23 апреля 2015 / СКФ БГТУ имени В.Г. Шухова. 2015. С. 41–44.
14. Павлов А. Б., Фридкин В. М. Методологические основы современной системы принципов формообразования строительных конструкций // Academia. 2010. № 1. С.70–73.
15. Amy Edmondson, Susan Salter Reynolds. Building the Future: Big Teaming for Audacious Innovation. Oakland. Berrett-Koehler Publishers. 2016. 240 p.
16. Гончарова О.Н. и др. Аддитивные технологии – динамично развивающееся производство // Инженерный Вестник Дона. 2016. № 4. С. 52–58.
17. Agusti-Juan I., Muller F., Hack N., Wangler T., Habert G. Potential benefits of digital fabrication for complex structures: Environmental assessment of a robotically fabricated concrete-wall // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 154. P. 330–340.
18. Ватин Н.И. 3D-печать в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. № 1(52). С. 27–46.
19. В Дубае в 2030 году четверть зданий будет печататься на 3D-принтере [Электронный ресурс]: <https://3dnews.ru/1003190> (дата обращения: 04.02.2021).
20. Лебедев В.М., Ломтев И.А. Определение технологичности проектов строительства и реконструкции объектов // Вестник Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова. 2017. № 11. С. 80–83.
21. Кузнецова Е. В. Модели и методы оценки технологичности проектов объектов строительства: дис. ... кандидата технических наук. СПб., 2000. 167 с.
22. Гусаков А.А. Системотехника строительства. М.: АСВ, 2005. 320 с.
23. Попова А.Н. Совершенствование комплексной методики оценки конкурентоспособности инновационной строительной продукции: дис. ... кандидата экономических наук. М., 2009. 126 с.
4. Dobritsyna I.A. *От постмодернизма - к нелинейной архитектуре: Архитектура в контексте современной философии и науки. Докт. Diss.* [From Postmodernism to Nonlinear Architecture: Architecture in the Context of Contemporary Philosophy and Science. Doct. Diss]. Moscow, 2007. 332 p.
5. Yudina A.F. *Stroitel'stvo zhilykh i obshchestvennykh zdaniy.* [Construction of residential and public buildings]. Moscow, Academy, 2011. 368 p.
6. Zhadanov V.I., Abovskiy N.P., Inzhutov I.S., Endzhiievskiy L.V., Savchenko V.I. *Industrial'nyye konstruksii dlya stroitel'stva maloetazhnykh zdaniy i sooruzheniy* [Industrial structures for the construction of low-rise buildings and structures]. Orenburg-Krasnoyarsk, OSU-SFU Publ., 2009. 416 p.
7. Zharov Ya.V. *Prinyatiye organizatsionno-tekhnologicheskikh resheniy v stroitel'stve na osnove tekhnologii mnogomernogo modelirovaniya. Kand. Diss.* [Adoption of organizational and technological decisions in construction on the basis of multidimensional modeling technology. Cand. Diss]. Moscow, 2014. 143 p.
8. Hyunsook Shim, Gyunghyun Choi. Study of construction convergence technology for performance improvement in functional building materials. Journal of Building Engineering. 2017. V. 11. pp 108-114.
9. Roberto Naboni, Ingrid Paoletti. *Advanced Customization in Architectural Design and Construction.* New-York, Springer, 2015. 418 p.
10. Gusev Ye.V., Mukhametzyanov Z.R., Aptykov D.G. Modern aspects of the analysis of the construction technology of the object. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Building and architecture], 2012, no. 2, pp. 56-59. (in Russian)
11. Julia McMorrough. The Architecture Reference & Specification Book: Everything Architects Need to Know Every Day. New-York, Rockport Publishers, Indispensable Guide edition, 2013. 272 p.
12. Yankovskaya Yu. S. *Obraz i morfologiya arkhitekturnogo ob'yekta. Dokt. Diss.* [Image and morphology of an architectural object. Doct. Diss]. Moscow, 2006. 266 p.
13. Shumilova E. Yu, Tantsura A.V. The influence of new technologies on shaping in modern architecture. *Sbornik nauchnykh dokladov 21-y nauchno-prakticheskoy konferentsii.* [Collection of scientific reports of the 21st scientific and practical conference]. Mineral Water, 2015, pp. 41-44. (in Russian)
14. Pavlov A.B., Fridkin V.M. Methodological foundations of the modern system of principles for the formation of building structures. *Academia* [Academia], 2010, no. 1, pp.70-73. (in Russian)
15. Amy Edmondson, Susan Salter Reynolds. Building the Future: Big Teaming for Audacious Innovation. Oakland, Berrett-Koehler Publishers, 2016. 240 p.
16. Goncharova O.N. and other. Additive technologies-dynamically developing production. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2016, no. 4, pp. 52-58. (in Russian)
17. Agusti-Juan I., Muller F., Hack N., Wangler T., Habert G. Potential benefits of digital fabrication for

## REFERENCES

1. Biryukova Ye.Ye. *Estetika formy i sodержaniye arkhitekturnogo prostranstva. Kand. Diss.* [Aesthetics of the form and content of the architectural space. Cand. Diss.]. Vladimir, 2003. 249 p.
2. Mark W. Maier, Eberhardt Rechtin. *The Art of Systems Architecting.* New-York, CRC Press, 2009. 477 p.
3. Michael Fazio, Marian Moffett, Lawrence Woodhouse. *A World History of Architecture.* New-York,

complex structures: Environmental assessment of a robotically fabricated concrete-wall. *Journal of Cleaner Production*. 2017, Vol. 154, p. 330-340.

18. Vatin N.I. and other. 3D printing in construction. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy* [Construction of unique buildings and structures], 2017, no. 1 (52), pp. 27-46. (in Russian)

19. V Dubaye v 2030 godu chetvert' zdaniy budet pechatat'sya na 3D-printere (In Dubai in 2030, a quarter of the buildings will be printed on a 3D printer). Available at: <https://3dnews.ru/1003190>. (Accessed 2 April 2021)

20. Lebedev V.M., Lomtev I.A. Determination of manufacturability of construction and reconstruction projects. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta imeni V.G. Shukhova* [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov], 2017, no. 11, pp. 80-83. (in Russian)

21. Kuznetsova E.V. *Modeli i metody otsenki tekhnologichnosti projektov ob'ektov stroitel'stva. Kand. Diss.* [Models and methods for assessing the manufacturability of projects of construction objects. Cand. Diss.]. St. Petersburg, 2000. 167 p.

22. Gusakov A.A. *Sistemotekhnika stroitel'stva* [Construction systems engineering]. Moscow: Publishing house of the Association of Construction Universities, 2005. 320 p.

23. Popova A.N. *Sovershenstvovaniye kompleksnoy metodiki otsenki konkurentosposobnosti innovatsionnoy stroitel'noy produktsii. Kand. Diss.* [Improvement of a comprehensive methodology for assessing the competitiveness of innovative construction products. Cand. Diss.]. Moscow, 2009. 126 p.

Об авторе:

**ПЛЕШИВЦЕВ Александр Александрович**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры основ архитектуры  
Государственный университет по землеустройству  
105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, 15  
E-mail [perspektiva-aa@mail.ru](mailto:perspektiva-aa@mail.ru)

**PLESHIVTSEV Alexander A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Architecture Fundamentals Chair  
State University of Land Use Planning  
105064, Russia, Moscow, Kazakova str., 15  
E-mail [perspektiva-aa@mail.ru](mailto:perspektiva-aa@mail.ru)

Для цитирования: Плешивцев А.А. Методы обеспечения функционального качества архитектурных объектов посредством традиционных и инновационных технологий // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 130–138. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.18.

For citation: Pleshivtsev A.A. Methods of Ensuring Functional Quality in Architectural Objects Through Traditional and Innovative Technologies. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 130–138. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.18.

# АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



УДК 72.01, 7.01

DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.19

М. В. ДУЦЕВ

## СОВРЕМЕННЫЙ ГОРОД. ЖИВЫЕ РЕАЛЬНОСТИ ИСТОРИИ

A MODERN CITY. LIVING REALITIES OF HISTORY

Статья посвящена реальности современного исторического города в совокупности актуальных значений ценного наследия, следов прошлого, ментальных кодов, архетипических образов и памяти цивилизации. Место истории в сегодняшнем социокультурном поле и в профессиональном контексте определяется далеко не однозначно. Вместе с пониманием необходимости сохранения наследия, следов и памяти прошлого присутствуют тенденции глобального характера, что опосредует черты локального в архитектуре. Однако и этот компромисс не может в полной мере проявить всю сложность жизнеспособности исторического города. По убеждению автора, необходим поиск оснований, порой оказывающихся за пределами материальной реальности, но адресующих напрямую к духовному миру и ментальному пространству человека, что является основной целью статьи. Акцент сделан на художественном измерении средовых реальностей, позволяющем определить живые связи истории и современности на основе авторской концепции художественной интеграции. Статья проиллюстрирована некоторыми результатами сотрудничества Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета и Миланского технического университета в области реконструкции и реновации исторически ценных территорий и авторскими фотографиями.

**Ключевые слова:** архитектурная среда, контекст, реновация, современный исторический город, образ города, миф, культурная память, средовые реальности, художественная интеграция

### Введение

Современный город наполняют бесчисленные реальности, как всеобщие, так и персональные, каждый момент времени становящиеся

The article is devoted to the reality of the modern historical city in the totality of the actual values of the valuable heritage, traces of the past, mental codes, archetypal images and the memory of civilization. The place of history in today's socio-cultural field and in the professional context is not clearly defined. Together with the understanding of the need to preserve the heritage, traces and memory of the past, there are global trends that mediate the features of the local in architecture. However, even this compromise cannot fully demonstrate the complexity of the historical city viability. According to the author, it is necessary to search for reasons that sometimes appear outside the material reality, but address directly to the spiritual world and mental space of a person, which is the main purpose of the article. The emphasis is placed on the artistic dimension of environmental realities, which allows us to determine the living connections of history and modernity on the basis of the author's concept of art integration. The article is illustrated by some results of cooperation between the Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering and the Polytechnic University of Milan (Politecnico di Milano) in the field of reconstruction and renovation of historically valuable territories and author's photographs.

**Keywords:** architectural environment, context, renovation, modern historical city, image of the city, myth, cultural memory, environmental realities, art integration

историей. Они взаимопроникают, порой сталкиваются, порождая противоречия и конфликты. Новое и современное нам мы постоянно соотносим с традицией, даже если не вполне

в нее верим. Такое динамичное «силовое поле» никак не укладывается в застывший формат города-музея, либо этот «музей» обязан перерастить свои рамки. Не оспаривая благородную идею сбережения вещественных памятников культуры, попробуем увидеть возможности непротиворечивого сосуществования старого и нового в сегодняшнем художественном измерении городской среды. Историческая среда способна стать частью сегодняшнего сознания, вернее, она априори таковой является. Обидно и нелепо, что человек (и профессионал, и пользователь) зачастую это забывают или избегают соприкоснуться со столь непростыми вопросами. Периоды возвращения интереса к традиции и традиционному не могли пройти бесследно, и было бы наивным говорить об архитектурно-градостроительном проектировании без оглядки на прошлое. В сегодняшнем профессиональном мышлении заложен этот камертон, даже если он не признается открыто.

Таким образом, следует отыскать возможности сопричастности каждого жителя историческому потоку. Именно эта черта способна естественным образом усилить меру внутренней ответственности человека перед окружающим пространством, причем пространством в потоке времени и в контексте культуры. Намеренно обойдем стороной бесспорно необходимые вопросы роли власти, правового регулирования, а также важные аспекты профессиональной «грамотности» зодчего. Задачи данного исследования – увидеть возможности художественно-образные, не столь очевидно зависящие от следования регламентам.

Представляется, что связующим началом в многомерном поле исторического города действительно выступает среда в различных интерпретациях: средового подхода, средового сценария, средового единства. Понятие контекста не раз выручало и позволяло сохранить исторический образ места. Вероятно, нет смысла пересматривать в корне «средовые» грани профессионального сознания, но есть явная потребность в расширении понятия и, как следствие, в обновлении понимания города.

Предлагается выделить ряд оснований или направлений искомого развития:

- интеграция архитектуры, искусства и дизайна;
- внимание к материальным и художественным реальностям города;
- обогащение культуры профессионально-общественного сообщества и общества в целом.

### **Мифы и реальности города**

*«Мифы приходят и уходят, путешествуют с места на место. Каждое поколение рассказывает*

*их по-разному, добавляя новое к полученному от отцов наследию.*

*Но за этой реальностью, меняющейся от эпохи к эпохе, стоит иная, стабильная реальность, в значительной степени неподвластная времени» [1, с. 22]. (Альдо Росси. «Архитектура города». 1966 г.)*

Тенденция обращения к истории и образам минувшего времени ожидаемо сопряжена концепции среды и выражается в совокупности направлений: музеефикация, воссоздание утраченных средовых фрагментов, говорящие метафоры, символы и архетипические значения, погружение в атмосферу прошлого – создание особой ауры. Этот ряд может быть расширен, исходя из многообразия сегодняшней научной школы реставрации. В аспекте исследования реальностей исторического города следует акцентировать особые «пограничные зоны», приобретающие ключевое значение.

В первую очередь, с позиции жизнеспособности среды, важен ресурс «проживаемой» истории, когда наследие и артефакты прошлого трактуются не как декорации, а как реальные соучастники актуальных событий. Пространство и постройки обнаруживают свое полноценное существование в нескольких временах, что транслируется и на восприятие человеком [2]. Возникает историческая среда, обогащенная живыми связями с минувшим и происходящим.

Своего рода метафизическим путем продления исторического образа является не просто воссоздание подлинного мотива, а погружение в атмосферу [3] (Г. Бёме) и (или) формирование ауры (В. Беньямин), т. е. комплекса средовых намеков, вызывающих чувства и предчувствия. Ауру следует понимать как некое излучение, оболочку, распространяемую вовне [4]. Она окружает явление или произведение и продолжается далеко за их пределы – за пространственные, временные и дисциплинарные границы. В этом смысле мы способны «улавливать» лучи ауры давно минувшего или даже практически неизвестного нам – только по отдельным свидетельствам, деталям, косвенным фактам и, главное, живущим в истории и поле культуры образам-отголоскам, передаваемым по сложным цепочкам. В определенном смысле, все обладает аурой или приобретает ее. Хочется верить, что ориентация на созидание и сбережение ауры в еще большей степени, чем атмосферы, сможет преодолеть проблемы потребительского отношения к миру каждого отдельного представителя общества, а также станет спасительным звеном в процессе восстановления целостности культурных и цивилизационных

связей. Наиболее поэтическим направлением, связывающим пространство и жителя или гостя, предстает следование чувствам человека.

Любой город в нашем восприятии (сознании, памяти, воображении) всегда представляется между мифом и реальностью. Город – это реальная мифология и «мифологическая» (мифологизированная и мифологизируемая в веках и сейчас) реальность. Мы с готовностью понимаем и принимаем, что архитектурное пространство не может считаться полноценным без сопровождения адресованным человеку смыслом и вымыслом... Все совокупное пространство города должно жить! Однако искусственное «оживление» исторических мест столь же нелепо, как и забвение их. Следует помнить, казалось бы, непреложную истину: город составляют многоликие и одновременные здания, рукотворные и нерукотворные пространства, события, люди. Он живет жизнью своих жителей. Следовательно, наибольшую ценность приобретает такая среда жизни, в которой сохранены возможности реализации личной истории каждого. Истории, соприкасающейся с течением всего времени.

Есть смысл прислушаться к некоторым суждениям теоретиков архитектуры относительно мифологической сущности города. Так, А. Росси, процитированный в эпиграфе, в своих высказываниях признавал абсолютную ценность именно за явленной реальностью, ее вещественной правдой. Не случайно главам своей книги «Архитектура города» будущий мастер дает такие заголовки: «индивидуальность фактов городской среды» или «факт городской среды как произведение искусства». Однако парадоксальным образом свой творческий метод архитектор выстроил практически полностью на фактах личной истории с приоритетом персональной художественной реальности над контекстом места. На эту черту обращает внимание и П. Айзенман, анализируя проектную стратегию Росси как альтернативную историческим подходам [5, с. 184].

Свою метафизическую художественную версию истории места предлагает писатель Итало Кальвино в работе «Невидимые города». «В "Невидимых городах" не найти узнаваемых городов, – пишет автор, – только города вымышленные» [6]. Книга составлена из коротких глав, каждая из которых должна представлять собой одну реплику, отражающую каждый город, или город вообще. Так появились отвлеченные и воздушные «Утонченные города», «Города и глаза», отмеченные визуальными свойствами, «Города и обмены», характеризующиеся обменами памятью, желаниями, пройденным и грядущим. Всего в книге 11 разных

типов описаний городов: «города и память, города и желания, города и знаки, утонченные города, города и обмены, города и глаза, города и имя, города и мертвецы, города и небо, протяженные города, потаенные города» [6]. «"Невидимые города" – это сон, который рождается в сердце нежизнеспособных городов», – отмечает автор. И далее: «Моя книга открывается и закрывается образами счастливых городов, которые постоянно обретают форму и исчезают, прячутся в городах несчастливых» [6]. Это поиск «другой реальности», в которой города предстают целостными, непрерывными и художественно совершенными. Книга «Невидимые города» – яркий пример вытеснения первичной реальности (исторических фактов) вторичной «семиотической» реальностью, реальностью текста.

Достоинным примером достоверного сопряжения исторической реальности и мифа служит ставшая классикой реконструкция Кастельвеккьо (итал. Castelvecchio – старый замок) в Вероне по проекту Карло Скарпа (рис. 1). Пространственный сценарий посещения музея позволяет не только ознакомиться с экспозицией, но и максимально живописно и разнообразно прочувствовать архитектуру самого замка в контексте окружающего пейзажа. Залы чередуются с открытыми переходами, аутентичные стены с бетонными включениями, близкие ракурсы с панорамными видами со стены. Помимо упомянутого богатства впечатлений, существует более тонкий мотив, повсеместно определяющий загадочную притягательность объекта: способ бытования реальности мастера. Действительно, Скарпа настолько погружен в исторический материал, что результатами его собственной «лаборатории» [7] (выражение М. Тафури) стали уникальные авторские фрагменты и детали, словно пропитанные исторической правдой. «Многогранная формальная скарпианская лаборатория представляется также как уникальная партитура, где ноты – принадлежащие неуловимому коду – расположены в секвенции преобразований, осложнённой переплетениями, усеянными паузами и внезапными переменами регистра. Более того: повторения мотивов и решений провоцируют своего рода замкнутый иконизм, признание которого может помочь прочесть поиски Скарпа», – заключает критик и теоретик Манфредо Тафури [8]. Все архитектурные элементы предельно индивидуальные, не копируют прошлое, но обладают духом «историчности», достоверностью правдивого артефакта. Личная мифология приобретает силу и убедительность временных наслоений.



Рис. 1. Реконструкция Кастельвеккьо в Вероне по проекту Карло Скарпа «Скарпианская лаборатория». Эмоциональный сценарий. Авторские детали с историей  
Фото М.В. Дуцева, 2018 г.

### **Встреча реальностей в современной городской среде. Реальности современной городской среды: художественное измерение**

Встреча реальности продолжающейся традиции и реальности нового, всегда пугающей своей неизвестностью, драматична. Такие встречи болезненны и в материальном, и в ментальном пространствах. Представляется, что человеку требуется еще одна «реальность» – стыковая, связующая, позволяющая примерить смыслы, адаптироваться к новациям, стать истинным соучастником городской истории. Это реальность «осмысления», живая среда меняющегося образа. Безусловно, основным «местом» ее реализации становится сознание и процессы культурных трансформаций, но возможно и вещественное воплощение – в архитектурно-художественной среде города.

Итак, обращаясь к проблеме реальностей, тесно связанной с качествами достоверности среды, ее исторической и культурной правды, мы приходим к потребности в ее укрупнении за

границы пространственно-временных мер, т. е. к идеям сверх-реальностей. В спектре подобных воззрений примечательны не только утопические конструкции, но и логические. Например, идея «гиперреальности» Жана Бодрийера предполагает слияние естественно-природного и рукотворного мира с виртуальной реальностью [9, с. 401]. Концепция философа всецело воспринята Жаном Нувелем, о чем красноречиво свидетельствует их совместный «Луизианский манифест», а также основной посыл работ архитектора: «Всякое современное искусство абстрактно в том смысле, что оно пропитано идеей гораздо более, чем воображением форм и субстанций» [9, с. 300]. Здесь важен взгляд за пределы материальности. М.Р. Невлютов, исследуя творчество Нувеля, приходит к заключению, что «архитектура описывается через гиперреальность, ее судьба всегда выходит за свои пределы» [9, с. 309].

В свою очередь, А.Г. Раппапорт в работе «Воображаемое и реальное» [10, с. 403] поднимает три слоя действительности. Первая при-

рода – которая не зависит от воли человека. Вторая природа – совокупность произведенных человеком вещей. Третья природа – воображаемая (и изображаемая), напоминающая мир духов. Здесь же уместно вспомнить идею ученого об эволюционном переходе к архитектурной «субстанции» [11], включающей вместе с принятыми пространственно-временными мерами мотивы переживания, атмосферные планы, грани и мотивы личностного контакта автора и произведения.

В контексте системы архитектурного творчества одной из своевременных и продуктивных обобщающих методик представляется концепция художественной интеграции («Концепция художественной интеграции в новейшей архитектуре», диссертация на соискание степени доктора архитектуры, защищенная автором этого текста в 2014 году), в которой связующей стала идея «поля» как метафоры сложных взаимодействий и взаимных влияний, изменчивости и нестабильности архитектурных феноменов [12]. Согласно концепции, введена система «полей» художественной интеграции: пространственно-временного, художественного, персонально-личностного. Художественная интеграция в архитектуре понимается как совокупность многомерных процессов созидания или воссоздания архитектурно-художественной целостности с учетом эстетических ценностей и ориентиров. В проекции исторической среды поле художественной интеграции обуславливает созидание целостности, т. е. взаимной выраженности и созвучия части и целого: отдельного объекта и ансамбля, авторского взгляда и объективных культурных смыслов, материи и «духа места».

#### **Архитектурно-художественная интеграция. Пространственно-временное поле**

В пространственно-временном поле – поле контекстов, пространство, время и восприятие человека неразрывно сплетены. Одно выражено в другом по принципу целостности, поэтому предложенное выделение составляющих носит условный методологический характер. Пространство и время «встречаются» в архитектурной форме, которая фиксирует стиль, концепцию, язык отдельного зодчего и эпохи в целом. Именно форма в этом интегральном ракурсе восприятия – осязаемый результат творчества архитектора и вещественное послание адресату – реальному и потенциальному. Таким образом, вполне закономерно считать архитектуру собирательной «формой» времени – воплощением художественного «хронотопа».

Целостная система пространственно-временной художественной интеграции выстраивается в единстве направлений:

- художественная концепция – пространство синтеза искусств: пространственного синтеза; временного синтеза; пространственно-временного синтеза;

- концепция социальной активации (адаптации) – интерактивное пространство: игры – пространство для развлечения и праздника; многомерного диалога – коммуникативное пространство; комфортного или интенсивного эмоционального поля – эмоционально насыщенное пространство;

- концепция контекста – пространство условных ограничений: вымышленного контекста – «идеальное» пространство авторского замысла;

- историко-культурный контекст – пространство реставрации, реконструкции и модернизации; непрерывности городской среды – целостное пространство города; экологическая концепция – органическое природное пространство;

- концепция технического сопровождения – пространство инновационных решений: конструктивная – пространство передовых разработок и конструкций;

- медиативная – информативное и медиа-пространство; эргономическая – удобное пространство жизнедеятельности человека; технологическая – пространство по современным эксплуатационным требованиям;

- концепция многомерного интеграционного синтеза – интегральное городское пространство.

Таким образом, исторический город – многомерное интеграционное «поле» взаимодействия пространств, времен, людей, концепций, художественных явлений и технологий по базовым слоям интеграции: средовому, деятельностному, концептуальному и универсальному. С антропоцентрической точки зрения городской организм развивается как организованное пространство жизнедеятельности – среда. В свою очередь среда складывается во взаимопроникновении природного и искусственного, в постоянном диалоге культур, искусств и профессиональных интересов, в сосуществовании разной архитектуры. Течение времени определяет вечную диалектику традиций и новаторства как смены стилей, направлений, художественных концепций. При этом именно художественное начало задействовано в каждом элементе многополярной системы, рождая целостный художественный образ города в творчестве архитектора, в сознании адресата, в произведении архитектурного искусства.

Попробуем увидеть некоторые закономерности, позволяющие существовать и развиваться городу (во всем его многообразии)

в нескольких измерениях одновременно. Сейчас нас интересует город, в первую очередь в двух реальностях – повседневно-материальной и образно-символической, устремленной в вечность. Любая из возможных реалий города обладает ценностью и заслуживает самого бережного отношения. Созидание реальностей становится задачей современного культурного сообщества и зодчего-профессионала, что не нуждается в пояснениях. Важно выделить иное: помимо сбережения, иной раз даже музейного, сохранившихся вещественных памятников, фрагментов среды и структуры городских пространств, существенной становится миссия создания условий формирования правдивой индивидуальной реальности каждого.

Исторический контекст обнаруживает здесь также переплетение множества нитей, как тянущихся во времени от исторических персонажей, так и личные истории наших современников. Именно так, индивидуально, транслируются культурные коды города, обрастая вымыслом, «неточностями», ошибками в фактах. Но эти погрешности неизбежны и могут даже сообщать новые оттенки реально произошедшему. Для архитектора необходима возможность реализации его персональной истории. Для адресата желаемо хотя бы частичное попадание в резонанс с пространством и читаемость архитектурного послания. Для города в целом представляется важным наличие определенных незбываемых «каркасов», определяющих правду, и более свободно сменяемого заполнения, открытого интерпретациям.

Во многом в помощь осмыслению искомой структуры приходит классика отечественной архитектурной теории, «каркас», «ткань» и «плазма» [13], с поправкой на не столь жесткие значения. «Каркас» и его элементы в основе развития исторической среды могут быть выбраны и достраиваться творчески, т. е. представлять каждый раз защищенное и гармонично интегрированное наследие, с одной стороны, и отправную точку для индивидуального мифотворчества – с другой. «Ткань» удерживает некую достаточную «массу» среды. «Плазма» может быть переведена в область индивидуальных представлений и предпочтений как элемент личностного выбора. В схожем ракурсе выстраивается концепция историко-культурных каркасов общественных пространств А.Л. Гельфонд: «Гипотеза – для обеспечения целостности архитектурной среды исторического поселения предлагается создавать потенциальные пространственные каркасы их общественных пространств. Потенциальный пространственный каркас (ППК) формируется как интегральный на основе природно-экологического, историко-культурного, обществен-

но-делового пространственных каркасов исторического города. В зависимости от заданной «доминанты», диктующей конкретный тип ППК, он может быть музейно-выставочным, паломническим, туристическим, этнологическим, etc.» [14]. Очевидно, что городу, как и иному сложному организму, в нашем понимании всегда требуется некая устойчивая (пусть временная) структура и свободная «переменная». Аспект реальностей усложняет, умножает, но не отменяет то и другое.

### Живые реальности города

Таким образом, в контексте исторического города существенным методическим действием становится смещение акцента с самого наполнения, содержания составляющих в сторону процесса, когда понятие «среды» уступает место идее «средовой связи», основанной на художественной интеграции. В качестве наглядных примеров могут послужить ежегодные фестивали (или бьеннале) современного искусства, городские праздники, выставки или иные культурные события, в процессе которых зачастую происходит переоткрытие среды ее, казалось бы, ежедневным пользователем. Другой показательной тенденцией может считаться своего рода «изобретение» ценности путем приращения ранее не существовавших связей. К примеру, сохранение в интерьере ничем не примечательной росписи XIX века при реконструкции здания Нового музея в Берлине (Д. Чипперфилд, Д. Херреп) обусловило ее «музейное» звучание в контексте новой художественной мифологии реконструированного пространства.

Безусловно, на пути соединения контрастных по происхождению «мифов» возникают порой спорные, даже курьезные ситуации. Так, цельная в своей историчности, поэтично рифмующая старое и новое среда Маастрихта (Нидерланды) располагает к себе и убеждает в безусловной правде своей реальности, что не мешает ей становиться местом весьма смелых и во многом спорных инициатив. Неожиданным и даже провокационным мероприятием может показаться программа реновирования культовых сооружений: здания церковей предоставляются в аренду различным организациям с условием реставрации ценного наследия (рис. 2). Качество реставрационных работ не вызывает сомнений, однако такая функциональная свобода ивольные интервенции актуального дизайна на данный момент удивляют, даже шокируют. Так, мы встречаем интегрированное в барочный интерьер лобби отеля, выполненное в игровой стилистике: дигитальная «воронка» входа, вычурные светильники, мод-

ные флуоресцентные цвета и интерактивные «обманки». Гостиничные номера располагаются в соседнем здании в помещениях бывших келий, а церковный двор превращен в веселое общественное пространство. Другой пример спокойнее – это книжный магазин-библиотека, где структурную основу составляют стеллажи, дарят сосредоточенность и тишина. В обоих примерах использован один композиционный принцип: возведение в центральном нефе самонесущей конструкции по принципу этажерки, наполненной новыми функциями. Несмотря на некоторые сомнения этического плана, подобная реновации представляется ценным опытом, так как уже сейчас позволила восстановить архитектуру и росписи соборов в условиях финансовых затруднений собственника, т. е. церкви. С другой стороны, здесь реализован эксперимент по встрече разновременных сюжетов в режиме реальных городских сценариев. Насколько это оправданно – покажет время.

Отмеченные инициативы далеко не бесспорны, носят отчасти временный характер и могут вступать в противоречие с действительно ценными произведениями, принадлежащими вечности. Здесь необходимо еще одно, казалось бы, очевидное, но столь редкое

качество – культурная зрелость общества. Сегодня за этой безликой формулировкой можно усмотреть ряд новых черт. Одна из них – индивидуализация внутри массового. Данная тенденция интересна, в первую очередь, с позиции отдельной личности – будь то архитектор, дизайнер, художник или адресат творческого послания. Выбор своей траектории понимания очень заметен в Интернете, когда каждый пользователь в персональном порядке формирует поле своих пристрастий. Как при этом работает критериальный аппарат и каково место гипотетического экспертного сообщества – вопросы открытые.

В более крупном контексте указанная линия порождает сегодняшний тренд глокализации на стыке достижений (или заблуждений) глобального мира и локальных культурных традиций [15]. Данная тенденция притягательна в условиях реновации исторической ткани города с учетом ее уязвимости, причем не только физической, но и образной. Деликатность и дружелюбность среде – свойства сложно достижимой гармонии. Современная среда Барселоны может послужить примером ряда успешных совмещений функций, времен, авторских стилей. Красивым жестом, позво-



Рис. 2. Маастрихт (Нидерланды). Примеры реновации культовых сооружений: отель  
Фото М.В. Дуцева, 2012 г.

дившим не утратить идентичности, стало сохранение труб бывших котельных в дворовых пространствах реконструируемых кварталов. Новые дополнения среды следуют глобальным тенденциям, но наследуют характер атмосферы места. Например, библиотека Сант Антонио – Жоан Оливера (Sant Antoni – Joan Oliver Library) – объект крошечный, но обладающий важным интегральным посылом (рис. 3). Неслучайно его авторы, каталонское бюро RCR Arquitectes, Рафаэль Аранда (Rafael Aranda), Карме Пижем (Carme Pigem) и Рамон Вилальта (Ramon Vilalta), стали обладателями Прицкеровской премии 2017 года именно по сумме достижений в области реализации глокального подхода.

Библиотека является удачным примером реализации целого ряда современных вехий к организации медиа-пространства, ориентированных на различные социальные потребности. Занимая небольшой участок, даже играя роль дома-вставки по фронту улицы, библиотека представляет мини-культурный центр с развитой функциональной программой: основные фонды и читальные залы, информационные и выставочные зоны, специализированный детский отдел. Кроме этого, непосредственно

к библиотеке по первому этажу примыкает клуб для пожилых людей. Очевидна интеграция социальных функций. Архитектурному решению присуща предельная открытость: весь объем здания буквально просматривается насквозь по вертикали и по горизонтали. Городское окружение беспрепятственно входит в интерьер, чему способствует использование больших плоскостей остекления, включая проемы между ступенями «амфитеатра». Цельность архитектурного образа достигается применением монохромного цветового решения. Особый шарм архитектуре придает единство художественной темы в решении интерьера и экстерьера: строгость, элегантность и проницаемость своеобразных вертикальных жалюзи. Таким образом, библиотека предстает демократичным пространством в продолжение города, обладающим цельным пластическим строем, запоминающимся и одновременно растворяющимся в исторической городской среде.

#### Итальянский опыт. Проекты реновации исторической среды

Серьезный опыт в аспекте реновации и модернизации среды исторических городов апробируется в сотрудничестве с Миланским техни-



Рис. 3. Библиотека Сант Антонио-Жоан Оливера в Барселоне (Sant Antoni - Joan Oliver Library). RCR Arquitectes. 2007 г. Фото М.В. Дущева, 2008 г.

ческим университетом. Европейская тенденция переосмысления исторических территорий простирается гораздо дальше и глубже, чем популярная ревитализация промышленных зон. Это работа с разными проявлениями реальности выбранной территории. В таком случае место, наполненное историческими кодами, становится настоящим экспериментальным полем, творческим полигоном и исследовательской лабораторией для состоявшихся и начинающих архитекторов, преподавателей, студентов, а также заинтересованных участников строительного бизнеса и административных структур.

Важно отметить системное методическое значение такого рода проектов, решающих комплекс задач. Во-первых, это поиск оптимальных для территории решений, который ведется совместно с бизнес-сообществом. Обратная связь здесь необходима и поддерживается межпрофессиональными союзами и ассоциациями. По сути, осуществляется последовательная выработка технического задания на проектирование. Следует обратить внимание на несколько обязательных функциональных сценариев, без которых не мыслится реализация проектных инициатив:

- привлечение бизнеса (создание условий для стартапов, организация коворкингов);
- музейная функция (с опорой на память места);
- туристическая функция и иная популяризация потенциала места;
- городская общественная рекреация (экологический ресурс);
- гостиницы, резиденции, жилье;
- обслуживание.

Методические уроки выносят для себя все стороны диалога. Для непосредственных участников конкурсов, воркшопов, проектных семинаров (как студентов, так и действующих архитекторов) работа в условиях ценной среды дает ни с чем не сравнимый опыт – исследовательский и практический. Вернее всего было бы назвать этот опыт духовным или ментальным, так как речь идет о глубоком погружении, о проживании нескольких слоев реальности во временной развертке. Наконец, регулярно проводимые подобные мероприятия служат безусловному накоплению фактологических знаний, связей и методик в активной базе самих организаторов. Показательно, что в такой роли часто выступают университеты или иные научно-образовательные организации, что указывает на признание их высокого статуса. Международные проектные семинары, собирающие смешанные команды участников, становятся этапом в их образовательной траектории за счет определенных предпочтений для поступления

в магистратуру, которые даются занявшим призовые места. Так происходит развитие программ магистерской подготовки соответствующей тематики и их сетевая коммуникация.

Особую роль играет реновация территорий, обладающих ценным археологическим наследием. Так, начинания Академии Адриана (Accademia Adrianea di Architettura e Archeologia, Рим) сориентированы на профессиональное осмысление уникальных ансамблей в истории человеческой цивилизации. При этом археология, обладающая незыблемой ценностью, не рассматривается только в музейном значении. Основной целью исследовательских и проектных инициатив Академии становится скорее попытка возвращения ценнейшего исторического материала в сегодняшний поток жизни с обязательным соблюдением охранных режимов. Постоянным творческим полигоном Академии является территория виллы Адриана в Тиволи (Villa Adriana, Рим), где проходят ежегодные конференции, проектные фестивали и конкурсы («Piranesi Prix de Rome»). Международные команды участников соревнуются в организации туристического маршрута и компонентов среды с обязательным учетом нескольких фиксированных требований: незыблемость артефактов прошлого, культурная идентичность, использование характерной темы воды, как и общая экологичность проекта. С учетом факта неприкосновенности окружающего большинство идей и процессов естественным образом существуют только в проектной, по сути, игровой реальности. Студенты и кураторы участвуют в экскурсиях, обсуждениях, защитах своих командных предложений, тем самым нарабатывая искомый опыт. Студенты, занявшие призовые места, имеют преимущества для дальнейшего продолжения обучения в магистратуре по соответствующему профилю в филиалах Академии в разных городах Европы. Параллельно проходит конкурс теоретических и практических разработок среди профессорско-преподавательского состава и архитекторов-практиков. Таким образом, не только накапливается спектр возможных подходов к «реновации» данной территории, но и осуществляется серьезный вклад в подготовку квалифицированных кадров.

### **След личности. Реновация территории бывшей бумажной фабрики в Ваприо-д'Адда**

*В рамках сотрудничества ННГАСУ с Миланским техническим университетом (Politecnico di Milano).*

Ваприо-д'Адда (Vaprio d'Adda) – коммуна в Италии, в провинции Милан области Ломбардия. Рассматриваемый нами живо-

писнейший уголок в своем сегодняшнем бытовании представляет место встречи нескольких исторических реалий: городок Вапприо, связанный с именем Леонардо да Винчи, заброшенная бумажная фабрика со своей судьбой, частные владения. Помимо этого, самостоятельной силой обладает сам природный характер окружения: гора, река, остров. Историческая часть города Вапприо находится на холме, к ней можно добраться по лестницам, ведущим от моста через реку, либо по магистрали. Остров с фабрикой отделен каналом и расположен под холмом. Город уже обладает некоторыми удачными примерами интеграции нового, и в обоих случаях это инженерные сооружения: мост и соединенная со смотровой площадкой лестница, поднимающаяся к историческому центру. Здесь актуальна эстетика не стала помехой достоверности восприятия окружения.

Обратимся к концепции реновации бывшей промышленной территории в совокупности контекстов и мотивов, особенно центрального, разыгранного вокруг личности Леонардо да Винчи. Экомузей Леонардо должен выступить сердцем будущего комплекса, в который, по мысли проектировщиков, будут включены площади для инновационных разработок

и стартапов, презентационные залы, обширная рекреация у воды, а также необходимые жилые площади (рис. 4).

Городок Вапприо сыграл действительно примечательную роль в судьбе гения Ренессанса. Эта роль связана с обретением здесь мастером своего ученика и последователя Франческо Мельци, который после смерти Леонардо стал наследником его документов, рисунков и рукописей. Великий художник и изобретатель оставался в имении отца Фр. Мельци Джироламо Мельци в непростой для себя период конфликтов и недопонимания с заказчиками в Милане и Флоренции. Можно сказать, что Вапприо стал для него местом отдыха и восстановления сил. Определенная умиротворяющая энергетика ощущается здесь и сегодня...

Адресация к такой сильной персоналии стала не единственной, но значимой контекстной «легендой» разрабатываемого проекта, своего рода «гением места». Архитекторы увидели продуктивность темы в интеграции концепции «новаторский дух Леонардо» и особенностей уже реализованной здесь инженерной мысли: электростанции, технологии бумажного производства и, особенно, уникального канала Падерно и Мартесана, проложенного на отметке на несколько метров выше уровня реки.



Вапприо-д'Адда. Вид с канала в сторону реки.  
Справа – подъем в историческую часть города. Фото М.В. Дуцева, 2019 г.

Рис. 4. Реновация территории бывшей бумажной фабрики в Вапприо-д'Адда<sup>1</sup>, 2019 г.

<sup>1</sup> Рабочая группа: профессора Миланского технического университета Claudio Fazzini, Massimo Bellotti, Gabriele Masera, Ida Russo, Piero Poggioli при участии студентов Politecnico di Milano и Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета (ННГАСУ). Проект находится в стадии разработки.



Лестница-смотровая площадка для подъема в историческую часть города.  
Фото М.В. Дуцева, 2019 г.



Бывший главный машинный зал фабрики. Фото М.В. Дуцева, 2019 г.

Рис. 4. Окончание

Комплекс бывшей бумажной фабрики (основана в 1774 году графом Паоло Монти Мельци) состоит из главного здания и нескольких павильонов на территории. Основной объем имеет три этажа, а также большой колонный зал, пример архитектуры конца XVIII века, с отсылками к палладианскому стилю с рядом двойных колонн, арочными кирпичными сводами и вторым светом, повторяющим полукруглую тему арок. Интерьеры открывают возможность для интерпретации, особенно главный зал с уцелевшими проемами в цокольный этаж, где монтировалось оборудование – бумагоделательные машины. Благодаря колоннам, сводам и характерной симметричной композиции зал рождает ассоциации с нефом католического собора, что открывает ресурс перевода пространства из утилитарного в возвышенное и торжественное.

Ожидаемый социально-экономический эффект от модернизации не менее значим, чем художественный: архитекторы предполагают, что функционирование обновленной территории будет способно компенсировать потерю того, что для общины Ваприо д'Адда обеспечивала работа бумажной фабрики почти сто пятьдесят лет. Кроме этого, важным элементом реконструкции должен стать новый путь сверху из города сквозь модернизируемый комплекс – вниз к реке – к новой общественной зоне отдыха.

На данный момент проект реновации представляет целую серию неоконченных итераций, каждая из которых добавляет новые идеи, условия, варианты, прежде всего для формирования удачного проектного задания. Проектные сессии не свободны и от явных трудностей и даже неудач, к которым можем отнести попытки формирования жилых комплексов на острове (в виде отдельных жилых блоков, «гибридов», версий «экодеревни»), а ведь с реализацией нового жилья во многом связаны важные социальная и коммерческая программы проекта. Появление нового масштаба застройки каждый раз оказывалось губительным для зыбкой гармонии, которая сейчас характеризует это место.

Исследования и проектные инициативы продолжают. Подводя промежуточный итог, следует еще раз обозначить основные русла движения смыслов, которые еще предстоит свести воедино в контексте модернизации территории. В первую очередь, это развитая по всем координатам пространственная структура самого городка и его приречной зоны, а также сохранившееся наследие бывшей бумажной фабрики и ее пространственный потенциал, что должно выступить в роли

интегрального каркаса. Важен и уникальный экологический ресурс долины реки Адда, определяющий социальную привлекательность. Особое место занимает инженерное наследие, его прогностический потенциал, в том числе и в плане формирования исследовательского инновационного ядра при поддержке Миланского технического института. Наконец, реальность исторического мифа – тема Леонардо да Винчи и его синтетического гения! Каждый из обозначенных потоков словно несет свою полноправную реальность в общий многоголосый сплав.

### **Реальность памяти. Реновация области Абруццо (Abruzzo) в Южной Италии**

Долина Верхнего Авентина печально известна в Италии как место драматического протivостояния между союзными войсками и немецкими оккупационными силами зимой 1943–1944 гг. После окончания войны расположенные здесь населенные пункты оказались частично или полностью разрушенными. Исключение составили лишь церкви, которые не пострадали. Итальянские архитекторы особым образом классифицируют сам объект реновации, называя такие локации «хрупкими территориями», где зафиксированы разрушительные события различной природы естественного и (или) антропоного характера, которые серьезно подрывали местную экономику, что приводило к прогрессирующей депопуляции и растущей утрате самобытности. Долина Верхнего Авентина представляет как раз характерный пример подобной территории с историей, в некоторых случаях очень древней, отмеченной на протяжении тысячелетий стихийными бедствиями, после которых жители вопреки всем трудностям восстанавливали свой мир. Военная операция фашистов, особенно использованная ими тактика «выжженной земли», стала последним и фатальным испытанием.

Исследование под руководством профессора Джузеппина Э. Чинкве (кафедра гражданского строительства и вычислительной техники DiCII Римского университета «Tor Vergata») и профессора Пьера Федерико Кальяри (кафедра архитектуры и градостроительства Миланского технического института) нацелено на разработку комплексного проекта в долине Верхнего Авентина, который может быть реализован только путем междисциплинарных архитектурных, социологических и экономических взаимодействий.

Уже сейчас проект предусматривает стратегическую интеграцию трех основных компонентов: культурных инициатив (модель

экомuzeя нового поколения), сервиса и услуг для граждан, коммуникативных ресурсов и туризма. По замыслу авторов восстановленная городская ткань Абруццо должна остаться «проницаемой» и неоднородной, что сохранит дух руин и обеспечит просматриваемость всей структуры. Преемственность обновленной среды может быть обеспечена только с опорой на «генетическую» память места и местные морфотипы. Для этого были определены повторяющиеся архитектурные элементы: типы лестниц, входов, арок. Далее предложено точечное восстановление застройки на основе принципов подобия, сохранения масштаба и мелкой парцеляции. Разнообразие и идентичность новых объектов в сочетании с историческими фрагментами позволит сформировать сложную пространственную композицию с богатыми силуэтными качествами (рис. 5).

Еще один слой решения проблемы «хрупкости» связан с конструктивными решениями и инженерной защитой на случай землетрясения. Проектом предусмотрено использование систем сухого строительства, благодаря которым можно гарантировать сейсмическую стойкость, простоту монтажа на площадке, интеграцию с остатками ранее существовавших зданий, высокие энергетические характеристики. Особое внимание архитекторы проявили к возможностям деревянных конструкций, отметив определенную историческую цикличность в обращении к дереву и, в частности, современные примеры, такие как японский павильон на выставке Expo-92 в Севилье Тадао Андо или культурный центр Жана-Мари Тжибау в Новой Каледонии Ренцо Пьяно. В исследовании конструктивных возможностей проведен историко-эвристический анализ древних деревянных конструкций, а также динамические

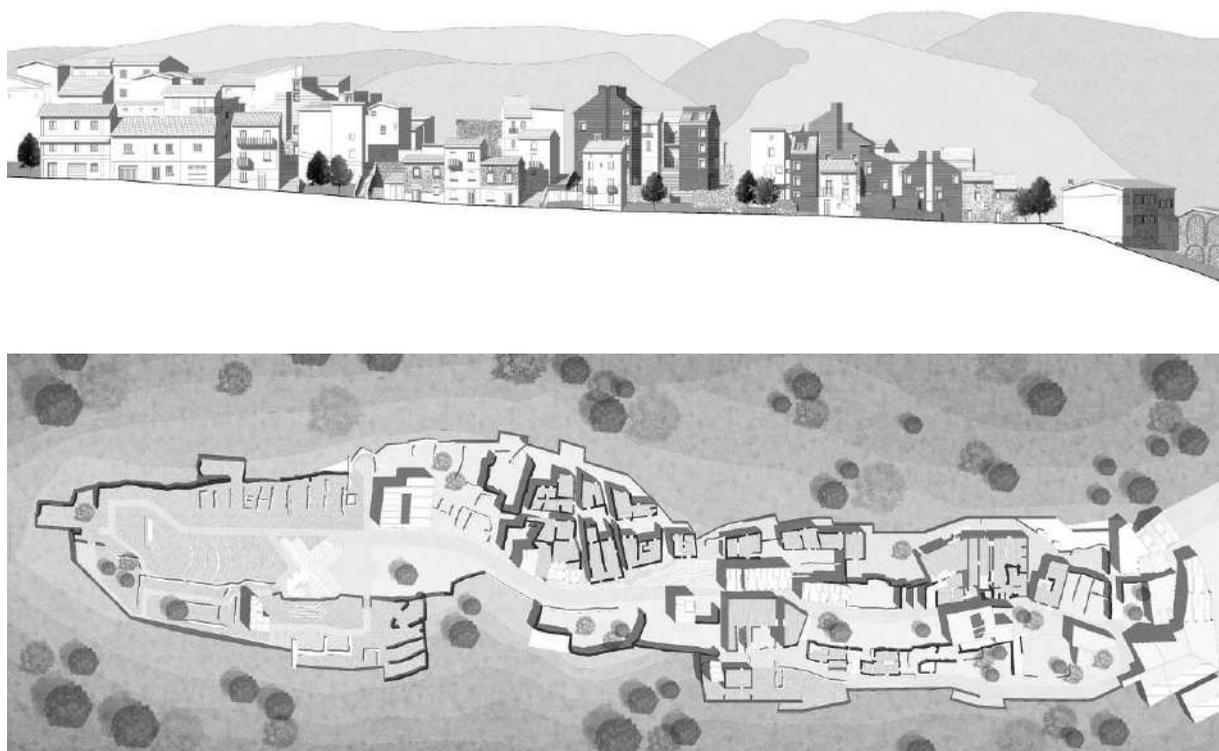


Рис. 5. Проект реновации территории города, пострадавшего от бомбардировок<sup>2</sup>. ABRUZZO, «Gustav line». 2019 г. Материалы предоставлены разработчиками проекта из Миланского технического университета

<sup>2</sup> Проект был представлен в рамках программы ежегодной Международной конференции по «архитектуре для археологии» (International conference on architecture for archaeology «Piranesei Prix de Rome»). Авторский коллектив: Massimo Bellotti, Pier Federico Caliani, Giuseppina Cinque, Antonella Grimaldi, Andrea Gallo, Elena Eramo, Federica Pisacane, Greta Allegretti, Alessia Rampoldi, Baratta Gaia, Borrello Francesca Maria, Caturegli Filippo, Congiu Ilaria, Egidi Beatrice, Fioretto Chiara, Gafita Lia Oana, Monella Riccardo, Motta Federico, Principi Irene, Ronzitti Federica, Santambrogio Roberta.

испытания деревянных конструкций X-LAM на платформе МКИ. Эксперименты показали достаточную прочность выбранных решений в условиях, имитирующих землетрясение, что подтверждает логику их использования в этом районе.

Данный конкурсный проект показывает не только встречу архитектурно-художественных и инженерно-строительных реалий, но и диалог внутри каждого направления. Например, внедрение конструктивной темы дерева, выходящей за границы местной традиции, представляется явным экспериментом и возможным якорем нового цикла в истории деревянной архитектуры.

### **Заключение. К индивидуальной правде реального...**

Подводя итоги нашим рассуждениям, еще раз зафиксируем некоторые актуальные проявления пограничных реальностей архитектурной среды исторического города, которые становятся носителями сущностных смыслов, качеств и мотивов при реновации города. Успех обновления среды в этом ракурсе заключается не столько в функциональной реорганизации или в грамотной профессиональной реставрации и реконструкции, сколько в сохранении и реализации средовой наполненности, взаимосвязанности, интегративности. Многоликие реалии городского пространства требуют соответствующих подходов к их сбережению или трансформации, которые, как следует предположить, могут быть основаны на концепции гибкой пограничной или стыковочной реальности. Рождается художественная сверхреальность или «гиперреальность» в новых значениях.

«Поэтическая» или даже «музыкальная» настройка исторического пространства не может быть единовременной, принятой раз и навсегда. Среда города подвижна, а образ исторического места максимально уязвим, зыбок, недолговечен. Внимание социума зачастую приковано к конкретным ценным объектам, наделенным соответствующим статусом и имеющим туристическую, т. е. уже коммерческую привлекательность. Однако отдельный отреставрированный памятник не способен «удерживать» среду – среда всегда больше и сложнее. Здесь было бы уместно высказать отчасти рискованный тезис о том, что культура понимания обществом также может быть объектом «реставрации», «реконструкции» или «модернизации»: не только в плане призыва к сбережению памяти или культурной идентичности, но и в аспекте повышения внимания к городскому организму и принятия его родовой сложности. Речь идет об особом

«внимании», внутреннем взгляде, искреннем, подготовленном, мудром.

Предложенная интегративная модель во многом лишь логическая конструкция, позволяющая проверить, насколько состоятельна обновленная среда, не произошло ли потери важных составляющих, как материального, так и не материального плана. К примеру, в историко-культурном аспекте данная реальность собирает следы истории и духа места, не давая выветриться накопленной памяти. В архитектурно-художественном опыте – способствует интеграции архитектуры, дизайна и искусства и позволяет жить образному началу или сосуществовать разновременным эстетическим формам и их трактовкам. В социальном измерении – определяет универсальность среды без потери адресности. Особое значение закрепляется за реальностью индивидуальной, опосредующей правду «отпечатка» среды в сознании автора или адресата. Средовая активация реальности города осуществляется на стыке персональной авторской мифологии и коллективной памяти места. Это действие требует от каждого участника особого уровня подготовленности и самого искреннего режима отзывчивости, развитого эмоционального начала и своего рода средовой эмпатии.

Реальности исторического города действительно многообразны. Помимо физической реальности нашего бытования, существует множество реальностей, проживаемых человеком, – это реальности сознания, ощущения, художественного образа. Неоспоримы реалии социальные, политические, экономические, которые определяют многое, но все же не могут в полной мере претендовать на объяснение или замену той реальности, которую ищет дух человека... Помимо этого, мы можем предположить реальности вне человека. В контексте утверждения чего-то реального всегда присутствует стремление к правде, состояние правды, определяющее доверие человека к окружению. Представляется, что успех работы в исторической среде во многом достигается созданием такой средовой конфигурации элементов, такого соотношения мер, при котором несколько разных реальностей могут согласованно и естественно сосуществовать. Носитель каждой реальности не теряет в своей правде, а субъект не испытывает чувства обмана. Это в равной степени может быть отнесено и к прагматической стороне мероприятий (функциональное наполнение, удобство и универсальность пользовательских сценариев), и к художественно-образной составляющей, не терпящей «подделки».

Таким образом, метафорическая последовательность средовых реальностей может

быть выстроена по принципу движения от исторической достоверности, через ряд социальных взаимодействий (перформативных, интерактивных, соучастующих, игровых) и художественных полей, к авторской реальности архитектора или к персональному представлению пользователя среды. Множества индивидуальных миров составляют продленную в ментальном пространстве мифологию реальности. Здесь мы также можем выявить уровни сохранения исторического, вернее те масштабы среды, которые попадают в поле деятельности профессионала и порождают реально проживаемую историю места:

- город как структура и как образ, включающий фрагменты, городские ансамбли, разновременные наслоения;
- архитектурные объекты как носители исторического мифа;
- средовые активаторы памяти в городской среде.

Актуальные примеры «живой» среды балансируют на границе разных реальностей исторического города и при этом дают им возможность состояться, реализоваться в социальном пространстве. Порой эти «стыки» болезненны и не снимают противоречия старого – нового. В определенном смысле они становятся экспериментальной площадкой, показывающей готовность среды или социума к тем или иным решениям. Такой поиск оптимума, подбор вариантов «по живому», безусловно, часто обходится очень дорого... Но, признаем, полностью исключить ошибки невозможно, да и цена ошибки всегда имеет свою обратную сторону негативного, но опыта. Хочется верить, что идея реализации интегрированного целого при проектировании способна помочь средовой реальности быть исторически и культурно обусловленной, художественно наполненной, гуманной и жизнеспособной.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Росси А. Архитектура города / пер. с ит. А. М. Голубцова: Strelka Press, 2015. 264 с.
2. Дуцев М.В. Искусство и среда города в потоке жизни // Современная архитектура мира. Вып. 9 / отв. ред. Н.А. Коновалова. М.; СПб.: Нестор-История, 2018. 280 с.
3. Бёме Г. «Атмосфера» как фундаментальное понятие новой эстетики / редакция 01.01.2018 теория/ <http://metamodernizm.ru/atmosphere-and-a-new-aesthetics/>
4. Художественная аура: истоки, восприятие, мифология / отв. ред. О.А. Кривцун. М.: Индрик, 2011. 560 с.
5. Айзенман П. Десять канонических зданий, 1950–2000 / пер. с англ. М.: Strelka Press, 2017. 312 с.
6. Кальвино И. Невидимые города / пер. с ит. Н. Ставровской. Режим доступа : <https://www.litmir.me/br/?b=116130&p=1>
7. Yawein O. I., & Lisenkova E. V. (2018). Карло Скарпа: «Поэзия рождается из вещей в себе». *Academia. Архитектура и строительство*, (3), 37–47
8. Tafuri M. Il frammento, la "figura", il gioco. Carlo Scarpa e la cultura architettonica italiana
9. Невлютов М.Р. Жан Нувель. За пределами архитектуры // Вопросы теории архитектуры. Архитектура: современный опыт профессиональной саморефлексии: сб. науч. тр. и докладов на Девятом и Десятом Иконниковских чтениях / сост., отв. ред. И.А. Добрицына. М.: ЛЕНАНД, 2017. 432 с.
10. Раннанорт А.Г. Воображаемое и реальное // Вопросы теории архитектуры. Архитектура: современный опыт профессиональной саморефлексии: сборник научных трудов и докладов на Девятом и Десятом Иконниковских чтениях / сост., отв. ред. И. А. Добрицына. М.: ЛЕНАНД, 2017. 432 с.
11. Раннанорт А.Г. Пространство и субстанция. Ч. 1. От функции к пространству // *Academia. Архитектура и строительство*. 2012. № 2. С. 20–23.
12. Дуцев М.В. Пути художественной интеграции в новейшей архитектуре // Художественные миры XXI века. Пути интеграции архитектуры и арт-практик: коллективная монография / авт.-сост. и отв. ред. Т.Г. Малинина. М.: БуксМАрт, 2020. 500 с.: ил.
13. Гутнов А.Э., Лежава И.Г. Будущее города. М.: Стройиздат, 1977. 126 с.
14. Гельфонд А.Л. Концепция формирования потенциальных пространственных каркасов исторических поселений // *Academia. Архитектура и строительство*. 2019. № 1. С. 26–34.
15. Данилова Э.В. Неиконическая архитектура: к концепции глокальности // *Архитектура и строительство России*. 2018. № 2. С. 42–47.

## REFERENCES

1. Rossi A. *Arhitektura goroda* [The Architecture of the City, Italian: L'architettura della città]. Moscow, Strelka Press Publ., 2015. 264 p.
2. Dutsev M.V. (2018) The art and the city environment in the flow of life. *Sovremennaya arhitektura mira* [Modern architecture of the world], 2018. 280 p. (in Russian)
3. Böhme G. "Atmosfera" kak fundamental'noe ponyatie novoj estetiki [Atmosphere as the Fundamental Concept of a New Aesthetics]. *Teoriya*. Publ., 2018.
4. *Hudozhestvennaya aura: istoki, vospriyatie, mifologiya* [Artistic aura: origins, perception, mythology]. Moscow, Indrik Publ., 2011. 560 p.
5. Aisenman P. *Desyat' kanonicheskikh zdaniy, 1950–2000* [Ten Canonical Buildings, 1950–2000]. Moscow, Strelka Press Publ., 2017. 312 p.
6. Kal'vino I. Invisible cities. Per. s it. N. Stavrovskoj. Available at: <https://www.litmir.me/br/?b=116130&p=1/>
7. Yawein O.I., & Lisenkova, E.V. Carlo Scarpa: "Poetry is Born of the Thing in Itself". *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo* [Academy. Architecture and construction], 2018, no.3, pp. 37–47. (in Russian)

8. Tafuri M. Il frammento, la "figura", il gioco. Carlo Scarpa e la cultura architettonica italiana

9. Nevlyutov M.R. Jean Nouvel. Beyond architecture. *Voprosy teorii arhitektury. Arhitektura: sovremennyy opyt professional'noj samorefleksii* [Questions of the theory of architecture. Architecture: modern experience of professional self-reflection]. Moscow, 2017, pp. 299–310. (in Russian).

10. Rappaport A.G. Imaginary and real. *Voprosy teorii arhitektury. Arhitektura: sovremennyy opyt professional'noj samorefleksii* [Questions of the theory of architecture. Architecture: modern experience of professional self-reflection]. Moscow, 2017, 432 p. (in Russian).

11. Rappaport A.G. Space and substance. Part. 1. From function to space. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo* [Academy. Architecture and construction], 2012. no. 2, pp. 20–23. (in Russian)

12. Dutsev M.V. *Puti hudozhestvennoj integratsii v novyejshej arhitekture* [Ways of art integration in contemporary architecture]. *Hudozhestvennye miry XXI veka. Puti integratsii arhitektury i art-praktik: kollektivnaya monografiya*. [Art worlds of the XXI century. Ways to integrate Architecture and Art Practices: a collective monograph]. Moscow, BuksMART Publ., 2020. 500 p.

13. Gutnov A.E. *Budushchee goroda* [The future of the city]. Moscow, Strojizdat Publ., 1977, 126 p.

14. Gel'fond A.L. The concept of forming potential spatial frameworks of historical settlements. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo* [Academy. Architecture and construction], 2019, no. 1, pp. 26–34. (in Russian)

15. Danilova E.V. Non-iconic architecture: to the concept of glocality. *Arhitektura i stroitel'stvo Rossii* [Academy. Architecture and construction], 2018, no. 2, pp. 42–47. (in Russian)

Об авторе:

#### **ДУЦЕВ Михаил Викторович**

доктор архитектуры, заведующий кафедрой дизайна архитектурной среды,  
профессор кафедры архитектурного проектирования  
Нижегородский государственный  
архитектурно-строительный университет  
ведущий научный сотрудник отдела проблем теории  
архитектуры  
НИИ теории и истории архитектуры  
и градостроительства,  
советник РААСН  
603950, Россия, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, 65  
E-mail: nn2222@bk.ru

#### **DUTSEV Mikhail V.**

Doctor of Architecture, Head of the Design Architectural Environment Chair,  
Professor of the Architectural Design Chair  
Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering  
Leading Researcher of the Department of Problems of the Theory of Architecture  
Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning  
Advisor to RAASN  
603950, Russia, N. Novgorod, Il'inskaya str., 65  
E-mail: nn2222@bk.ru

Для цитирования: Дутцев М.В. Современный город. Живые реальности истории // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 139–154. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.19.

For citation: Dutsev M.V. A modern city. living realities of history. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 139–154. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.19.

**А. П. РАКОВ**

## ТЕХНОЛОГИИ ТРЁХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОМ ДИЗАЙНЕ

### THREE-DIMENSIONAL MODELING TECHNOLOGIES IN INDUSTRIAL DESIGN

*В настоящее время специалисты, использующие в своей работе навыки рисования, черчения, моделирования и лепки, в значительной степени стали использовать возможности компьютерной техники и программного обеспечения. Работа с цифровыми моделями и технологии трёхмерного моделирования входят и в компетенции промышленного дизайнера. В данной статье предпринимается попытка сделать выборку компьютерных программ, которые используют в своей работе промышленные дизайнеры, и классифицировать возможности этого программного обеспечения по его функциональному назначению. Очевидно, что все перечисленные в статье технологии трёхмерного моделирования очень важны для специалистов, занятых вопросами технической эстетики, художественного конструирования, визуализации, макетирования и изготовления прототипов вещей.*

**Ключевые слова:** промышленный дизайн, программное обеспечение, трёхмерное моделирование

Рынок программного обеспечения огромен, и новые программные продукты появляются очень часто. Даже простое перечисление названий программного обеспечения едва ли сможет уместиться на одной странице машинописного текста.

Вместо того чтобы перечислять программные продукты, лучше перечислить возможности этих компьютерных программ, из которых складывается тот или иной продукт. Тем более что в последнее время можно наблюдать взаимную интеграцию различных продуктов, которая связана с появлением одних и тех же возможностей в разных программных продуктах.

Итак, весь спектр возможностей, а точнее технологий программного обеспечения, которые используют промышленные дизайнеры для построения трёхмерных моделей, классифицируются на несколько условно самостоятельных групп:

**1. Единицы измерения.** Настройка единиц измерения – это одна из основных возможностей любой программы для трёхмерного моделирования. Все профессиональные программные продукты имеют гибкую и широкую систему настройки единиц измерения. Обычно

*Currently, specialists who use the skills of drawing, drawing, modeling and modeling in their work have largely begun to use the capabilities of computer technology and software. Working with digital models and three-dimensional modeling technologies are also within the competence of an industrial designer. This article attempts to make a selection of computer programs that are used in their work by industrial designers and classify the capabilities of this software according to its functional purpose. It is obvious that all the technologies of three-dimensional modeling listed in the article are very important for specialists engaged in technical aesthetics, artistic design, visualization, prototyping and prototyping of things.*

**Keywords:** Industrial design, software, three-dimensional modeling

пользователь сталкивается с четырьмя группами настроек – это линейные единицы измерения, угловые единицы, настройки шкалы времени и настройки массы объектов.

В линейных единицах измерения нередко встречаются не только привычные нам микроны, миллиметры, метры, футы и дюймы, но и нанометры и даже парсеки. Линейными единицами измерения, например, определяются размеры создаваемых объектов и дистанции между ними.

Угловые единицы измерения – это не только привычные нам градусы, но минуты, секунды, радианы. Например, угловые единицы измерения помогают определить угол поворота объекта.

Настройка шкалы времени присутствует в тех программах, которые позволяют записывать и воспроизводить анимацию. Кроме часов, минут, секунд и миллисекунд, шкала времени может измеряться количеством кадров анимации.

Настройки массы объектов, например в килограммах, появляются, если программа позволяет вычислять динамику столкновений или делать механические расчёты [1–3].

**2. Трёхмерная навигация в виртуальном пространстве.** Практически во всех трёхмерных редакторах используются три способа изменять точку зрения на виртуальное пространство с моделями. Речь идёт о командах: орбита, панорамирование и зуммирование.

Термин «зуммирование» пришёл из фотографии и обозначает увеличение и уменьшение изображения в видовом экране, подобно тому, как это происходит в фотоаппарате. Только на компьютере управление зуммированием чаще всего происходит за счёт прокручивания колёсика мышки (устройство ввода mouse).

Термин «панорамирование» означает перемещение точки зрения наблюдателя в плоскости, перпендикулярной направлению луча зрения. Управление панорамированием, как правило, осуществляется через использование колёсика мышки, только не прокручиванием, как при зуммировании, а нажатием на колёсико и перемещением самой мышки по коврику.

Термин «орбита» неслучайно ассоциируется с космическими полётами. Команда «орбита» позволяет менять точку зрения на объект или трёхмерную сцену так, как будто пользователь находится на орбите объекта или сцены. Точка зрения при этом свободно вращается вокруг ещё одной точки, на которую смотрит. В разных программах эта команда включается по-разному, но чаще всего технология использования напоминает панорамирование, т. е. пользователь нажимает колёсико мышки и двигает ее, только дополнительно при этом нужно удерживать нажатой ещё одну клавишу, например Alt или Shift [1–6].

**3. Трансформации.** Существуют три основных инструмента трансформации – перемещение, вращение и масштабирование. Кроме основных, имеется немало дополнительных инструментов, которые являются разновидностями основных. Ещё важно отметить, что трансформации применимы не только к целым объектам, но и к их составным компонентам, таким как точки и группы точек, рёбра и поверхности.

Трансформация перемещения позволяет выделить объект и переместить его из одного места в другое. В качестве примера дополнительного инструмента трансформации можно привести инструмент копирования, который мы используем так же как перемещение, но при этом исходный объект остаётся на месте, а в новое место отправляется копия выбранного объекта.

Трансформация вращения позволяет поворачивать объекты, предварительно выбрав при этом ось вращения. Во всех профессиональных программных продуктах ось вращения может

располагаться или определяться любым требуемым способом. Примером дополнительного инструмента трансформации вращения может стать инструмент трёхмерного выравнивания, который позволяет осуществлять более сложное вращение, когда нужно разместить грань или поверхность одного объекта параллельно или перпендикулярно грани либо поверхности другого объекта.

Трансформация масштабирования позволяет изменять масштаб объекта относительно любой заданной или выбранной точки. Во многих программах масштабирование может осуществляться не только по трём осям одновременно, но и по двум или одной, если нужно. В качестве примера дополнительного инструмента трансформации можно привести трансформацию растягивания, хотя растягивание может служить примером ещё и трансформации перемещения. Используя растягивание, пользователь может изменять масштаб не всего объекта, а только его части или нескольких частей [1–6].

**4. Системы координат и режимы перемещения.** Наиболее широкое распространение в программах для трёхмерного моделирования получила декартова система координат с тремя перпендикулярно расположенными по отношению друг к другу осями X, Y и Z. Хотя в некоторых программах используются и альтернативные системы координат, например полярные.

Режимов перемещения обычно предусмотрено два – ортогональный и свободный. В ортогональном режиме перемещения объекты перемещаются строго вдоль осей декартовой системы координат. В свободном режиме у пользователя появляется возможность двигать объекты по двум либо трём осям одновременно [1–6].

**5. Привязки и зависимости.** Привязки – это возможность попадать точно в определённые точки без излишних усилий при использовании инструментов трансформации. Используя трансформацию перемещения, можно, например, точно совместить угол одного объекта с углом другого. Список наиболее часто используемых типов привязок выглядит следующим образом: конечная точка, средняя точка, касательная точка, центр окружности, перпендикуляр.

Зависимости похожи на привязки списком наиболее часто используемых типов, но отличаются тем, что работают постоянно, а не только в момент использования какого-либо инструмента. То есть, например, если задать отрезку зависимость перпендикулярности по отношению к другому объекту, то этот отрезок будет

отслеживать положение объекта, от которого зависит, и корректировать своё положение до перпендикулярного состояния [1–6].

**6. Вычерчивание векторных эскизов.** В вычерчивании особенно сильно выделяются две группы инструментов, одни позволяют создавать объекты, что называется, «с нуля», а другие делают возможным редактирование уже созданных объектов. К первой группе, например, относятся инструменты создания: отрезки, полилинии, окружности, эллипсы и кривые Безье, а ко второй группе – инструменты редактирования: обрезки, продления, фаски, скругления и смещения [1, 2, 4, 5, 7].

**7. Твердотельное моделирование.** Основные инструменты твердотельного моделирования предназначены для поисковых и начальных этапов создания и редактирования моделей. Основное отличие твердотельного моделирования от полигонального заметнее всего при работе с булевыми операциями и после расщепления объектов на части. Полигональные модели состоят из полигонов, они пустые внутри, а твердотельные как бы заполнены материей.

В качестве примеров инструментов создания можно назвать следующие: выдавливание, вращение сечения, движение сечения по траектории, трансформация сечений на траектории.

В качестве примеров инструментов редактирования можно назвать следующие: булевы операции, расщепление, трёхмерные фаски и скругления, смещение точек, рёбер, граней и поверхностей [1–6].

**8. Модификация.** Инструменты модификации объектов представляют собой особые типы инструментов редактирования, применение которых имеет обратимый характер. То есть назначенную модификацию можно удалить, и это приведёт модель в исходное состояние [2].

**9. Полигональное моделирование.** Этот тип моделирования основан на построении моделей из требуемого количества не плоских многоугольников. Объекты этого типа имеют ряд очень специфических особенностей. Во-первых, полигональные объекты пустые внутри, т. е. после расщепления или удаления одного из полигонов мы можем заглянуть внутрь объекта. Во-вторых, полигоны видимы только с одной стороны, т. е. разместив точку зрения внутри полигонального объекта, мы его видеть не будем. В-третьих, у полигонов есть свойства видимой гладкости. Например, пользователь может отключить ребристость и, назначив нескольким полигонам одну группу сглаживания, создать эффект гладкой криволинейной поверхности [2, 4].

**10. NURBS моделирование.** Такое моделирование основано на кривых, которые управляются контрольными точками. NURBS – это сокращение, на английском языке читается как Non-uniform rational B-spline, что в переводе означает неоднородные рациональные B-сплайны. Это математический способ описания формы, который получил широкое распространение в компьютерной графике из-за своей простоты и доступности [2, 4].

**11. Автоматизация разработки цифровых моделей, создания чертежей и проектной документации.** Эта возможность особенно актуальна для стадии разработки рабочего проекта, когда в проект постоянно поступают новые данные и разрабатываемое проектное решение подвергается постоянным изменениям.

Для автоматизации работы с моделями, а также вывода чертежей и спецификаций используется как минимум дерево модификаций, а в крупных компаниях ещё и ВМ технологии.

Дерево модификаций – это сложная, упорядоченная и многоуровневая иерархия модификаций и применённых параметров. Иными словами, при использовании дерева проекта в процессе создания цифровой модели автоматически происходит запись всех действий пользователя, которые связаны с созданием и редактированием модели.

ВМ технологии – это не только использование дерева проекта, но ещё и многопользовательское построение модели и взаимное влияние всех решений друг на друга и на конечный результат [1, 2, 5].

**12. Параметризация эскизов, поверхностей, моделей и их свойств.** В разных программах возможности параметризации существенно отличаются, однако можно проследить интересную закономерность в том, в каком направлении развивается моделирование.

В разных программах всё чаще появляются элементы визуального программирования деревьев проекта или компонентов проекта. При таком подходе пользователь получает возможность размещать на холсте особые алгоритмические блоки и соединять их связями, которые похожи на провода. Такой подход позволяет создавать сложные, параметрически управляемые модели объектов с невероятно сложной геометрией [1, 2, 5].

**13. Моделирование физических процессов.** В программах, в которых требуется визуализация физических процессов или какие-либо физические расчёты, появляются инструменты, позволяющие управлять физическими свойствами цифровых моделей.

В качестве примеров можно привести программы и дополнения к программам, которые

визуализируют динамику движения частиц в воздушной или газовой среде. Или, например, программы для расчёта динамики тканей. И, конечно, программы, которые умеют делать статические и динамические расчёты нагрузок [2, 5].

**14. Скульптинг.** Этот тип моделирования предназначен для работы с формами, которые крайне сложно или невозможно описать геометрически. Речь идёт прежде всего о формах, которые проще получить в результате классической техники лепки. Это, например, фигуры человека и живых существ, а также элементы природного окружения [8].

**15. Морфинг заготовок.** Морфингом называют плавное преобразование одного объекта в другой. Существуют программы и дополнения к программам, которые содержат заранее заготовленные морфотипы объектов и через управление различными параметрами позволяют пользователю менять форму объекта и получать требуемую конфигурацию.

Существуют программы, которые таким образом позволяют получить трёхмерную модель человеческого тела. Причём пользователь имеет возможность настраивать не только пол, возраст, рост или вес, но и черты лица [2, 3].

**16. Трёхмерное сканирование.** Технология трёхмерного сканирования бывает двух типов – контактная и бесконтактная. При контактном способе пользователь касается измеряемого объекта при помощи специального устройства, а программа записывает координаты точек в трёхмерном пространстве. Бесконтактный тип трёхмерного сканирования бывает двух разновидностей – активный и пассивный. Активный сканер светит в окружающее пространство светодиодами, лазером или даже рентгеновскими лучами, а специальная программа с помощью камеры вычисляет положение точек в пространстве. Пассивный сканер никуда не светит, а использует алгоритм распознавания объекта по потоку видеоданных. Этот алгоритм умеет находить на поверхности объектов узнаваемые точки, следит за их перемещением при изменении положения камеры, а также вычисляет их положение в пространстве [9, 10].

**17. Распознавание результатов трёхмерного сканирования.** Результатом трёхмерного сканирования всегда является облако точек или модель, состоящая из большого количества треугольников.

Сканер не делает различий между сложной скульптурой и простыми геометрическими фигурами, такими как конус или цилиндр. Вот для таких случаев и разработано программное обеспечение для распознавания результатов

трёхмерного сканирования, которое сейчас часто называют модным словосочетанием реверс инжиниринг.

Современные разработчики программного обеспечения научили свои программы видеть в облаках точек или треугольниках простые геометрические фигуры, скругления и фаски [10].

**18. Построение трёхмерных моделей по фотографиям и видео.** Этот тип построения трёхмерных моделей во многом использует наработки пассивного трёхмерного сканирования. Отличие в том, что пользователю предоставляется заметно больше возможностей по управлению процессом создания модели. Например, бывают программы, которые умеют определять по фотографиям не только точки на объекте, но и точки, из которых производилась съёмка. Таким образом, пользователь получает возможность моделировать объект, привязываясь к контрольным точкам в пространстве и рассматривая объект с реальных ракурсов [2].

**19. Текстурирование, картирование и визуальные свойства материалов.** Наиболее часто с визуальными свойствами материалов, картами и текстурами промышленному дизайнеру приходится сталкиваться при решении задач презентации проектируемого объекта.

Во многих программах для трёхмерного моделирования присутствуют возможности управления видимыми поверхностными свойствами объектов. Для наложения текстур и управления этим наложением используются инструменты UVW проецирования. UVW – это буквы английского алфавита, которые предшествуют XYZ и дополняют оси декартовой системы координат, так как находятся с текстурируемой моделью в одном и том же месте [2–4, 6–8].

**20. Моделирование освещения.** Во многих программах для трёхмерного моделирования у пользователя есть возможность расставлять в трёхмерной сцене источники света, визуализировать результаты работы этих источников, а также очень реалистично вычислять результаты отражений и преломлений лучей света. Причём профессиональные программы с инструментами визуализации располагают самым широким набором параметров, которые позволяют моделировать практически любые условия освещения [2–4, 6].

**21. Построение фото- и видеопанорам, а также HDR.** Для моделирования реалистичного рассеянного освещения часто используются особые изображения, которые представляют собой замкнутую во всех направлениях сферическую панораму с широким диапазоном яркости.

Панорамные изображения, замкнутые со всех сторон, ещё называют эквидистантными проекциями. Для склеивания эквидистантных

проекций и любых других панорам существует программное обеспечение, которое как в трёхмерном сканировании умеет находить на снимках узнаваемые точки, следит за их перемещением и склеивает фрагменты изображения, деформируя их и выравнивая при этом тон.

Изображения с широким диапазоном яркости обозначаются четырьмя буквами HDR1 или тремя HDR. Это англоязычное сокращение расшифровывается как High Dynamic Range Imaging, что в переводе с английского означает изображение с высоким динамическим диапазоном яркости [7, 11].

**22. Визуализация (видовой экран и рендеринг).** Каждая программа для трёхмерного моделирования предоставляет пользователю возможность рассматривать трёхмерные объекты и сцену в окне прямоугольной формы, которое называется видовым экраном.

Изображение в видовом экране как правило имеет ряд ограничений, которые связаны с производительностью компьютера. Например, в видовом экране редко выводятся падающие тени и отражения, для расчёта которых в режиме реального времени требуется мощный компьютер.

В отличие от видового экрана в окне рендеринга выводится финальный результат визуализации всех используемых эффектов сцены. Процесс вывода изображения в окно рендеринга занимает заметно больше времени, но при этом выводит изображения наиболее высокого качества [2, 3, 6].

**23. Анимация по ключевым кадрам.** Современные программы для трёхмерного моделирования позволяют записывать и воспроизводить анимацию трёхмерных объектов.

Для записи информации о перемещениях, поворотах и изменениях масштаба объектов используются ключевые кадры или сокращённо ключи на шкале времени. Например, для записи перемещения объекта из точки А в точку Б понадобится всего два ключа в двух разных положениях на шкале времени. Промежуточные положения объекта будут рассчитаны автоматически [2, 3].

**24. Интерактивная презентация.** Ещё одна, сравнительно новая возможность появилась у дизайнеров вместе с развитием и активным внедрением программ, которые называются игровыми движками. Эти программы обычно используются для сборки трёхмерных компьютерных игр, но они же позволяют делать очень наглядные и, что интересно, интерактивные презентации проектных решений. Это уже не просто движущиеся и трёхмерные объекты, а объекты, способные меняться в зависимости от действий пользователя [6].

**25. Трёхмерная обработка, печать и манипуляции.** Навыки трёхмерного моделирования необходимы промышленным дизайнерам для работы со станками с числовым программным управлением (ЧПУ), в подготовке заданий для трёхмерной печати. Трёхмерные модели используются специальными программами для вычисления траекторий перемещения рабочих органов станков при изготовлении реальных, физических прототипов вещей [10, 12–14]. А современная робототехника и манипуляторы уже не просто исполняют заранее написанный код, а способны подстраиваться под изменяющиеся условия окружающей среды. Существует техника, оборудованная трёхмерным зрением, которая может распознавать и преодолевать препятствия. Некоторые роботы умеют останавливать работу в случае обнаружения человека в опасной близости от производственной площадки [15, 16].

**Вывод.** Сегодня нет никаких сомнений, что работа с цифровыми моделями и технологии трёхмерного моделирования входят в компетенции промышленного дизайнера [17–19]. Хотя ещё до возникновения профессии промышленный дизайнер перед специалистами, занятыми вопросами технической эстетики и художественного конструирования, стояли вопросы визуализации, макетирования и изготовления прототипов вещей. По этой причине зодчие, архитекторы и дизайнеры во все времена должны были владеть навыками изготовления макетов и вообще любого моделирования. При этом в настоящее время черчение и моделирование не только перестало быть ручным трудом, но в значительной степени использует возможности компьютерной техники и программного обеспечения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ascon.ru // Официальный русскоязычный сайт производителя программного обеспечения URL: <https://ascon.ru/products/7/review/> (дата обращения: 21.12.2020).
2. Autodesk.com // Официальный сайт производителя программного обеспечения URL: <https://www.autodesk.ru/> (дата обращения: 15.12.2020).
3. Blender.org // Официальный сайт производителя программного обеспечения URL: <https://www.blender.org/> (дата обращения: 23.12.2020).
4. Rhino3d.com // Официальный сайт производителя программного обеспечения URL: <https://www.rhino3d.com/> (дата обращения: 18.12.2020).
5. Solidworks.com // Официальный русскоязычный сайт производителя 3d-принтеров и программного обеспечения URL: <https://www.solidworks.com> (дата обращения: 24.12.2020).

6. Unity.com // Официальный сайт производителя программного обеспечения URL: <https://unity.com> (дата обращения: 21.12.2020).
7. Adobe.com // Официальный сайт производителя программного обеспечения URL: <https://www.adobe.com/> (дата обращения: 14.12.2020).
8. Pixologic.com // Официальный сайт производителя программного обеспечения URL: <https://pixologic.com/> (дата обращения: 17.12.2020).
9. Plm.automation.siemens.com // Официальный сайт производителя программного обеспечения URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/> (дата обращения: 21.12.2020).
10. 3dsystems // Официальный сайт производителя 3d-принтеров, 3d-сканеров и программного обеспечения URL: <https://www.3dsystems.com> (дата обращения: 25.12.2020).
11. Ptgui.com // Официальный сайт производителя программного обеспечения URL: <https://www.ptgui.com/> (дата обращения: 22.12.2020).
12. Machsupport.com // Официальный сайт разработчика программного обеспечения <https://www.machsupport.com/software/mach4/> (дата обращения: 21.12.2020).
13. Ultimaker.com // Официальный сайт производителя 3d-принтеров и программного обеспечения URL: <https://ultimaker.com/> (дата обращения: 23.12.2020).
14. Wanhao.ru // Официальный русскоязычный сайт производителя 3d-принтеров и программного обеспечения URL: <https://wanhao.ru/> (дата обращения: 25.12.2020).
15. Fanuc.eu // Официальный сайт производителя промышленного оборудования URL: <https://www.fanuc.eu/> (дата обращения: 16.12.2020).
16. Kuka.com // Официальный сайт производителя робототехники и промышленного оборудования URL: <https://www.kuka.com/> (дата обращения: 22.12.2020).
17. Малахов С.А. Композиционный метод как эксперимент по возникновению новой функции и нового языка // Градостроительство и архитектура. 2012. № 4 (8). С. 48–52. DOI: 10.17673/Vestnik.2012.04.9.
18. Раков А.П. Метод гуманизации технических концепций в архитектуре экстремальных условий обитания: дис. ... канд. арх. наук: 05.23.20. Нижний Новгород, 2013.
19. Репина Е.А. Катастрофа прогресса и природа инноваций // Инновационные методы и технологии в высшем архитектурном образовании: материалы международной научной конференции. XVII международный смотр-конкурс) / СГАСУ. Самара, 2008. С. 218–229.
3. Blender (2020) Available at: <https://www.blender.org/> (accessed 23 December 2020).
4. Rhino3d (2020) Available at: <https://www.rhino3d.com/> (accessed 18 December 2020).
5. Solidworks (2020) Available at: <https://www.solidworks.com> (accessed 24 December 2020).
6. Unity (2020) Available at: <https://unity.com> (accessed 21 December 2020).
7. Adobe (2020) Available at: <https://www.adobe.com/> (accessed 14 December 2020).
8. Pixologic (2020) Available at: <https://pixologic.com/> (accessed 17 December 2020).
9. Plm.automation.siemens (2020) Available at: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/> (accessed 21 December 2020).
10. 3dsystems (2020) Available at: <https://www.3dsystems.com> (accessed 25 December 2020).
11. Ptgui (2020) Available at: <https://www.ptgui.com/> (accessed 22 December 2020).
12. Machsupport (2020) Available at: <https://www.machsupport.com/software/mach4/> (accessed 21 December 2020).
13. Ultimaker (2020) Available at: <https://ultimaker.com/> (accessed 23 December 2020).
14. Wanhao (2020) Available at: <https://wanhao.ru/> (accessed 25 December 2020).
15. Fanuc (2020) Available at: <https://www.fanuc.eu/> (accessed 16 December 2020).
16. Kuka (2020) Available at: <https://www.kuka.com/> (accessed 22 December 2020).
17. Malakhov S.A. The compositional method as an experiment in the emergence of a new function and a new language. *Gradostroitel'stvo i arhitektura*. [Urban Construction and Architecture], 2012, no. 4 (8), pp. 48–52. (in Russian)
18. Rakov A.P. *Metod gumanizatsii tekhnicheskikh kontseptsiy v arkhitekture ekstremal'nykh usloviy obitaniya. Kand, Diss.* [Method of humanization of technical concepts in the architecture of extreme living conditions. Cand, Diss.]. Nizhniy Novgorod, 2013.
19. Repina E.A. The catastrophe of progress and the nature of innovation. *Innovacionnye metody i tekhnologii v vysshem arhitekturnom obrazovanii. Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. XVII mezhdunarodnyj smotr-konkurs*. [Innovative methods and technologies in higher architectural education. Materials of the international scientific conference. XVII International review-competition]. Samara, 2008. (in Russian)

## REFERENCES

1. Ascon (2020) Available at: <https://ascon.ru/products/7/review/> (accessed 21 December 2020).
2. Autodesk (2020) Available at: <https://www.autodesk.ru/> (accessed 15 December 2020).

Об авторе:

**РАКОВ Антон Петрович**

кандидат архитектуры, доцент кафедры  
инновационного проектирования  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: radesign@inbox.ru

**RAKOV Anton P.**

PhD of Architecture, member in Russian association of  
designers,  
Associate Professor of the Innovation Design Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Architecture and Civil Engineering  
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244  
E-mail: radesign@inbox.ru

Для цитирования: Раков А.П. Технологии трёхмерного моделирования в промышленном дизайне // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 155–161. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.20.

For citation: Rakov A.P. Three-Dimensional Modeling Technologies in Industrial Design. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 155–161. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.20.

**НАУЧНО-ПРОЕКТНЫЙ ЦЕНТР  
«АРХИГРАД»**

Направления  
деятельности



Градостроительство, градостроительная реконструкция, территориальное планирование, архитектурное и ландшафтное проектирование, реконструкция зданий и сооружений, экспертная деятельность, повышение квалификации руководителей и специалистов организаций

Руководитель



Татьяна Владимировна ВАВИЛОНСКАЯ  
доктор архитектуры, профессор

Контакты



443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 0102  
(846) 242-52-21  
baranova1968@mail.ru



УДК 622.323: 621.313

DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.21

**А. И. ДАНИЛУШКИН**  
**В. А. ДАНИЛУШКИН**

### **ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПОДГОТОВКИ ГАЗА К ТРАНСПОРТИРОВКЕ ПО МАГИСТРАЛЬНОМУ ТРУБОПРОВОДУ**

**EFFICIENT CONTROL OF FUNCTIONING OF ELECTRICAL  
GAS PREPARATION COMPLEX TO TRANSPORTATION BY MAIN PIPELINE**

*Рассматривается проблема повышения эффективности функционирования линейного участка магистральной газопроводной системы за счет разработки эффективных алгоритмов управления режимами работы установки охлаждения газа. Для разработки алгоритмов управления установкой охлаждения газа используются адаптированные математические модели тепловых процессов в аппаратах воздушного охлаждения газа и в газопроводе. Показано, что при рассмотрении динамических режимов газопроводную систему можно представить состоящей из двух динамических звеньев. Звено «установка охлаждения газа», включающее до 24 электроприводов с теплообменными аппаратами, характеризуется относительно небольшими постоянными времени. В магистральном газопроводе процессы теплообмена протекают значительно медленнее. Это обстоятельство позволяет основное внимание сосредоточить на разработке эффективной системы управления установкой охлаждения. Управление осуществляется путем дискретного или непрерывного изменения расхода охлаждающего воздуха через теплообменник за счет регулирования числа включенных аппаратов воздушного охлаждения и изменения частоты вращения вентиляторов. Поиск алгоритмов управления аппаратами воздушного охлаждения осуществляется путем постановки и решения задачи минимизации среднеквадратичного отклонения температуры газа на выходе из теплообменного аппарата от требуемого значения. Для реализации*

*The article discusses the problem of increasing the efficiency of the linear section of the main gas pipeline system by developing effective control algorithms for the operating modes of the gas cooling unit. To develop control algorithms for a gas cooling unit, adapted mathematical models of thermal processes in air-cooled gas devices and in a gas pipeline are used. It is shown that when considering the dynamic modes, the gas pipeline system can be represented as consisting of two dynamic links. The link "gas cooling unit", which includes up to 24 electric drives with heat exchangers, is characterized by relatively short time constants. In the main gas pipeline, heat exchange processes proceed much more slowly. This circumstance allows the main attention to be focused on the development of an effective control system for the cooling plant. The control is carried out by discrete or continuous change in the flow rate of the cooling air through the heat exchanger by adjusting the number of switched on air coolers and changing the fan speed. The search for control algorithms for air coolers is carried out by formulating and solving the problem of minimizing the root-mean-square deviation of the gas temperature at the outlet from the heat exchanger from the required value. To implement the obtained control algorithms, a functional diagram of the automatic control system for the operating modes of the gas cooling unit has been developed.*

полученных алгоритмов управления разработана функциональная схема системы автоматического управления режимами работы установки охлаждения газа.

**Ключевые слова:** магистральный газопровод, математическое моделирование, теплообмен, управление, переходные режимы, энергосбережение

**Keywords:** main gas pipeline, mathematical modeling, heat exchange, control, transient modes, energy saving

### Введение

Для увеличения пропускной способности магистральной трубопроводной системы, повышения надежности и эффективности эксплуатации технологического оборудования транспортируемый газ на выходе из газоперекачивающего агрегата охлаждают. Поставленная задача как правило решается с помощью установок воздушного охлаждения [1–4], которые включают до 24 теплообменных аппаратов с электроприводными вентиляторами.

Изменение производительности магистрального трубопровода, сезонные и суточные колебания температуры охлаждающего воздуха и другие внешние возмущения приводят к необходимости применения оперативной системы управления процессом охлаждения газа. Существующие способы отличаются как технической реализацией, так и точностью стабилизации температуры газа, но практически все способы основываются на изменении расхода охлаждающего воздуха с помощью вентиляторов [5, 6].

Исследуемые процессы относятся к классу наиболее сложных распределенных систем, обладающих существенными нелинейностями. Это затрудняет применение аналитических методов исследования процессов теплообмена и обуславливает использование численно-аналитических или численных математических моделей тепловых и гидравлических процессов [7–9]. Упрощение математических моделей в ряде случаев обеспечивает достаточную точность аппроксимации процессов и позволяет реализовать систему управления с заданными показателями.

### Функциональная схема трубопроводной системы «установка охлаждения газа – магистральный трубопровод»

Рассматриваемый объект состоит из энергоёмкой многодвигательной установки охлаждения газа (УОГ) с приводными асинхронными электродвигателями и магистрального газопровода. На рис. 1 представлена функциональная схема системы «установка охлаждения газа – магистральный газопровод». Здесь УОГ –

установка охлаждения газа, включающая ряд аппаратов воздушного охлаждения.

Измеряемыми параметрами в системе управления температурным режимом газа являются температура охлаждающего воздуха, температура и давление газа на входе и выходе системы охлаждения. В качестве внешнего возмущающего воздействия рассматривается коэффициент конвективного теплообмена между потоком газа и воздухом.

В процессе эксплуатации система «установка охлаждения газа – газопровод» испытывает влияние внешних условий, вследствие чего изменяются температура и давление газа на входе в магистральный газопровод. Как показали исследования [7–9], из-за значительной разницы в динамических процессах, происходящих в установке охлаждения газа и в магистральном газопроводе, систему «установка охлаждения газа – газопровод» можно представить в виде двух последовательно соединенных звеньев: «звена с относительно малой постоянной времени» – установки охлаждения газа и «звена с большой постоянной времени» – газопровода.

Для синтеза системы управления температурным режимом газа необходимо разработать математические модели процессов теплообмена в рассматриваемом объекте управления. Существует достаточно много исследований частного характера, посвященных этой проблеме [10, 11].

В процессе транспортировки температура и давление газа изменяются как во времени, так и по длине трубопровода. Температура  $T_{TP}(x, t)$  трубы и давление  $P_{TP}(x, t)$  в каждой точке трубопровода  $x \in [0, L_{TP}]$  описываются в общем случае системой взаимосвязанных нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. При этом в качестве параметров, влияющих на распределение температуры и давления, рассматриваются:

- изменение температуры  $T_{TP1}(t)$  и давления  $P_{TP1}(t)$  на входе трубопровода;
- изменение давления  $P_{TP2}(t)$  на выходе трубопровода;
- температура  $T_{OC}(x, t)$  окружающей среды в зоне расположения трубопровода;

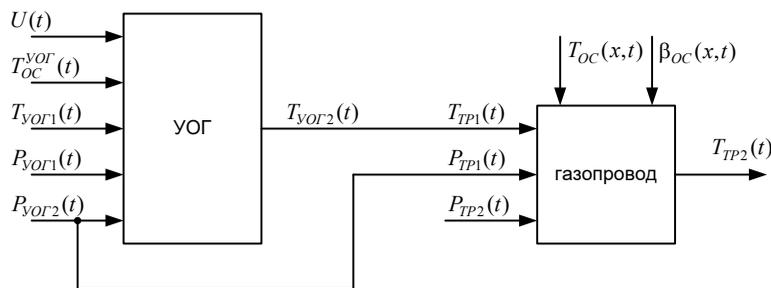


Рис. 1. Функциональная схема объекта управления

– коэффициент конвективного теплообмена  $\beta_{OC}(x, t)$  между потоком газа и окружающей средой.

Характер изменения температуры  $T_{yOG2}(t)$  газа на выходе установки охлаждения зависит от температуры  $T_{yOG1}(t)$  газа и давления  $P_{yOG1}(t)$  на входе УОГ; давления  $P_{yOG2}(t)$  газа на выходе УОГ; температуры  $T_{OC}^{yOG}(t)$  окружающей среды; режимов работы аппаратов воздушного охлаждения.

**Математическая модель процессов теплообмена в магистральном газопроводе**

Математическая модель процессов теплообмена в трубопроводе может быть получена на основании уравнения теплового баланса для потока газа с учётом переменной скорости потока [6, 8–10]:

$$\frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} + V(t) \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial x} = \beta_{sp} (T_{sp}(x, t) - \theta(x, t)), 0 \leq x \leq x_1, t > 0 \tag{1}$$

с краевыми условиями

$$\theta(x, t)_{t=0} = \theta_0, \tag{2}$$

$$\theta(x, t)_{x=0} = \theta_{gas}(t). \tag{3}$$

Здесь  $\theta(x, t)$  – температура газа в контролируемой точке;  $T_{sp}(x, t)$  – температура грунта;  $\theta_{gas}(t)$  – температура газа на входе линейного участка газопровода;  $V(t)$  – скорость потока газа в трубопроводе;  $\beta_{sp}$  – приведённый коэффициент конвективного теплообмена между грунтом и потоком газа;  $x_1$  – длина линейного участка газопровода.

Температура грунта  $T_{sp}(x, t)$  по длине газопровода определяется, с одной стороны, температурой газа в этой точке, с другой – температурой наружного воздуха  $T_{возд}(x, t)$ . Теплопроводность стенки газопровода значительно выше теплопроводности грунта, поэтому стенка принимается теплотехнически тонким телом и не учитывается в модели.

Уравнение (1) аналитически не решается, поскольку содержит произведение двух функций, зависящих от времени:

$$V(t) \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial x}.$$

В практически реализуемых процессах с некоторыми допущениями можно линеаризовать уравнение (1) и решить аналитически полученное линеаризованное уравнение.

Линеаризованное уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial \theta(x, t)}{\partial t} + V_C \frac{\partial \theta(x, t)}{\partial x} + \beta_{sp} \theta(x, t) = \beta_{sp} T_{sp}(x, t) - \Delta V(t) T_{sp.C} \frac{\beta_{sp}}{V_C} \exp\left(-\frac{x \beta_{sp}}{V_C}\right). \tag{4}$$

Решение получено в виде [13]:

$$\theta(x, p) = \int_0^{x_1} W(x, \xi, p) \cdot \omega(\xi, p) d\xi, \tag{5}$$

где

$$W(x, \xi, p) = 1(x - \xi) \cdot \exp\left(-\frac{p + \beta_{cp}}{V} \cdot (x - \xi)\right), \quad (6)$$

$$\omega(x, p) = \beta_{cp} \cdot T_{cp}(x, p) V_C \cdot \delta(x) \cdot \theta_{gas}(p) - \Delta V(p) T_{cpC} \frac{\beta_{cp}}{V_C} \exp\left(-\frac{x \beta_{cp}}{V_C}\right). \quad (7)$$

Расчет температуры выполнен в разработанной Simulink-модели [11, 12], представленной на рис. 2.

Идентификация полученной модели производилась по результатам физических экспериментов на одном из магистральных участков трубопровода.

Входными сигналами модели являются температура газа на входе в линейный участок трубопровода – T gas in, температура воздуха в начале и в конце линейного участка газопровода – Tair 1, Tair 2, изменение скорости потока газа dV/V. Математическая модель учитывает скорость потока газа, зависящую от объёмного расхода газа, давления и площади поперечного сечения трубопровода.

**Математическая модель процесса охлаждения газа в теплообменном аппарате**

Математическая модель процесса охлаждения газа в теплообменном аппарате с учетом некоторых допущений получена на основании уравнения теплового баланса, в соответствии с которым распределение температуры  $T(x, t)$  по длине трубки теплообменника описывается уравнением [6–10]:

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} + v \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} = \beta(t) \cdot (T_{cp} - T(x, t)), \quad (8)$$

с краевыми и начальными условиями

$$T(x, 0) = T_0(x), \quad T(0, t) = g(t), \quad (9)$$

где  $v$  – скорость потока;  $v = F/S_{mp}$ ;  $F$  – расход газа;  $S_{mp}$  – площадь поперечного сечения трубки;  $T_{cp}$  – температура воздуха;  $T_0(x)$  – начальное распределение температуры;  $g(t)$  – функция изменения температуры газа на входе теплообменника.

Согласно структурной теории распределённых систем [13], передаточная функция объекта управления на основании уравнения (8) принимает вид:

$$W(x, \xi, p) = 1(x - \xi) \cdot \frac{1}{v} \cdot \exp\left[-\frac{1}{v}(p + \beta) \cdot (x - \xi)\right], \quad (10)$$

где  $1(x - \xi)$  – передаточная функция пространственно-интегрирующего блока.

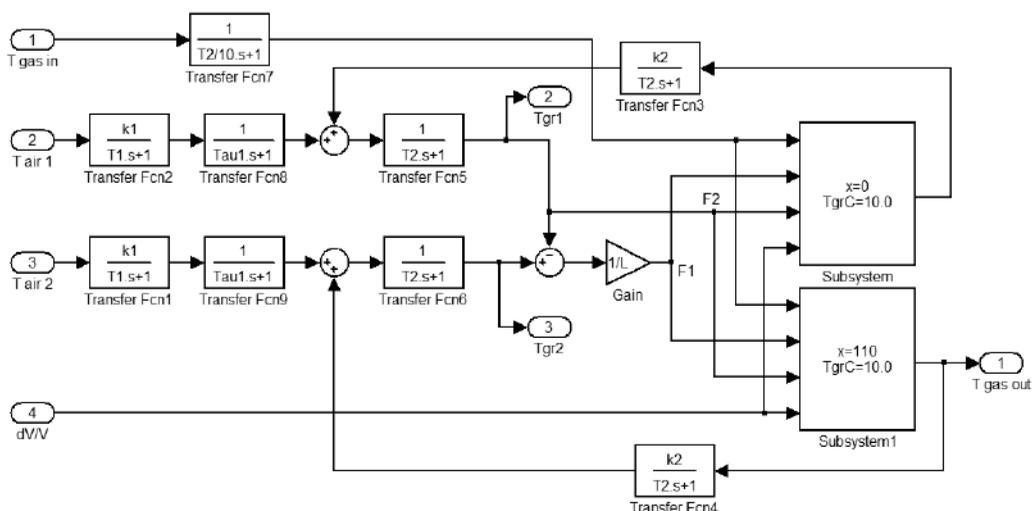


Рис. 2. Simulink-модель температуры газа на выходе линейного участка газопровода в зависимости от температуры воздуха

Передаточные функции объекта по различным каналам управления принимают вид:  
 – по каналу «изменение коэффициента теплообмена – температура газа на выходе теплообменника»

$$W_{\Delta\beta}(p) = T_{cp} \frac{1}{p} \left[ \exp\left(-\frac{\beta_c}{v} L\right) \cdot \left(1 - \exp\left[-\frac{p}{v} L\right]\right) \right]; \quad (11)$$

– по каналам «температура воздуха – температура газа на выходе» и «температура газа на входе теплообменника – температура газа на выходе» соответственно:

$$W_B(p) = \frac{1}{\beta_c p + 1} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{1}{v} (p + \beta_c) L\right) \right], \quad (12)$$

$$W_G(p) = \exp\left(-\frac{1}{v} (p + \beta_c) L\right). \quad (13)$$

Структурная схема объекта управления представлена на рис. 3. Здесь  $\Delta\bar{\beta}(p)$  – изменение коэффициента теплообмена – рассматривается в качестве управляющего воздействия, а температура воздуха  $\bar{T}_B(p)$  и температура газа на входе теплообменника  $\bar{T}_G(p)$  – как возмущающие воздействия.

Полученная аналитическая модель используется для синтеза системы автоматического управления температурой газа на выходе аппарата воздушного охлаждения.

### Решение задачи управления системой охлаждения газа

Комплексная задача снижения энергозатрат на перекачку газа предполагает регулирование как температуры газа, так и расхода газа. Известно, что изменение расхода приводит к снижению экономической эффективности магистрального трубопровода. Одним из эффективных способов повышения экономичности является вариант комплексного решения задачи выбора режима работы установки охлаждения газа и регулирования давления газа.

При решении задачи выбора режима работы магистрального трубопровода необходимо учитывать наличие ограничений на технологические параметры и на управляющие воздействия.

Задача оптимального управления по критерию точности формулируется следующим образом [14].

Для объекта, описываемого уравнением (8), найти управляющую функцию, обеспечивающую выполнение соотношения

$$\max |T_{зад}(L) - T(G_{opt}(t), L, t)| = \min \left[ \max |T_{зад}(L) - T(G(t), L, t)| \right] \quad (14)$$

в условиях глубоких возмущений при смене производительности или температуры газа на входе в теплообменник при наличии энергетических и технологических ограничений вида

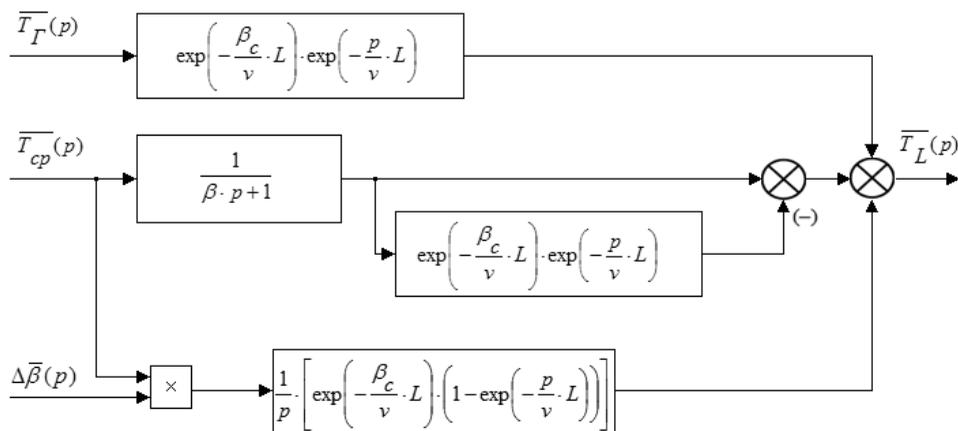


Рис. 3. Структурная схема аппарата воздушного охлаждения

$$G_{\min} \leq G(t) \leq G_{\max} . \tag{15}$$

Согласно принципу максимума для систем с распределенными параметрами [13], оптимальный алгоритм управления  $G_{opt}(t)$  принимает вид

$$G_{opt}(t) = \begin{cases} \frac{G_{\max}}{2} \left[ 1 + \text{sign} \int_0^x \Psi(x,t) dx \right], & \text{если } \int_0^x \Psi(x,t) dx \neq 0, \\ G_{oc}(t), & \text{если } \int_0^x \Psi(x,t) dx = 0. \end{cases} \tag{16}$$

Оптимальное управление имеет вид релейной функции, принимающей поочередно максимальное или минимальное значения. В том случае, когда управляющее воздействие в процессе выхода на новый установившийся режим не достигает предельного значения, задача поиска оптимального алгоритма сводится к определению формы и длительности участков оптимальной траектории

$$G_{oc}(t), \text{ если } \int_0^x \Psi(x,t) dx = 0$$

из условия

$$T_{зад}(L) = T_{мек}(L, t). \tag{17}$$

Задача определения оптимального алгоритма управления сводится к поиску формы, числа и длительности участков управления. Подставляя решение уравнения (8) с известными начальными условиями, соответствующими исходной производительности, в равенство (17), получаем после несложных преобразований оптимальный алгоритм управления процессом охлаждения газа при смене производительности в виде кусочно-постоянной функции, сходящейся к новому установившемуся значению

$$G_n(t) = \frac{G_0 V_1}{V_0} \exp\left(- (n+1) \beta T_0 - \beta \frac{V_0 - V_1}{V_0} t\right) + \frac{\beta T_{зад}}{k} \sum_0^N \exp(-n \beta T_1), \quad \forall t \in [nT_1, (n+1)T_1]. \tag{18}$$

Здесь  $V_0$  – скорость потока газа до изменения производительности;  $V_1$  – скорость потока газа после изменения производительности.

Поскольку в реальной технологической ситуации допускаются определенные отклонения температуры газа на выходе из теплообменника, т. е. ставится цель попадания в заданную область с допустимой погрешностью, число интервалов оптимального управления можно разумно ограничить, определив его исходя из допустимой ошибки приближения к заданному значению.

Предложенная методика позволяет выработать оптимальный алгоритм управления АВО и оптимальную структуру системы автоматизированного управления в переходных режимах работы.

#### Функциональная схема системы автоматического управления установкой охлаждения газа

Общая функциональная схема замкнутой системы автоматического управления температурой газа на выходе аппарата воздушного охлаждения приведена на рис. 4.



Рис. 4. Функциональная схема САУ температурой газа на выходе АВО

Регулирующим воздействием на объект управления является расход воздуха  $Q$ . Основными возмущающими воздействиями на объект управления являются температура наружного воздуха  $T_{\text{вн}}$  и расход газа  $Q_g$ .

В качестве базовой принципиальной схемы для построения системы автоматического управления установкой охлаждения газа рассматривается структура, представленная на рис. 5.

Расход газа и его температура на входе установки, а также температура воздуха измеряются с помощью датчиков и проходят первичную обработку (масштабирование, фильтрацию). Далее каждое из значений поступает на соответствующий блок дискретизации [Д], который осуществляет квантование сигнала по уровню, для исключения слишком частого вызова процедуры включения или отключения вентиляторов при незначительных изменениях измеряемых параметров. При переходе выхода блока дискретизации на новый уровень сигнальным блоком [Л] формируется управляющий импульс, который поступает на блок логического сложения OR. Таким образом, изменение уровня любого из трёх параметров приводит к запуску перерасчёта оптимального управляющего воздействия. В результате работы алгоритма оптимизации формируются управляющие сигналы на включение или отключение вентиляторов, которые через устройства связи с объектом подаются на электроприводы вентиляторов установки охлаждения газа.

Решение задачи оптимизации за счёт включения или отключения вентиляторов обеспечивает температуру на выходе установки охлаждения газа не выше заданной. Это означает, что практически всегда температура будет несколько ниже заданной, другими словами, практически всегда будет возникать перерасход энергии из-за отсутствия возможности плавного регулирования вращения включенных вентиляторов. Дополнительная экономия электроэнергии достигается за счёт введения в структуру управления дополнительного контура стабилизации температуры на выходе установки путём плавного регулирования скорости вращения одного или двух вентиляторов с помощью частотного преобразователя.

Общий алгоритм функционирования автоматической системы управления аппаратами воздушного охлаждения выглядит следующим образом:

- 1) в результате изменения одного из входных параметров системы запускается расчёт оптимального распределения нагрузки между вентиляторами установки охлаждения газа;
- 2) по окончании расчёта подаются команды на включение/выключение вентиляторов установки охлаждения газа;
- 3) в процессе работы установки с помощью преобразователя частоты осуществляется точное регулирование температуры газа на выходе за счёт плавного регулирования скорости вращения вентиляторов одного или нескольких аппаратов воздушного охлаждения.

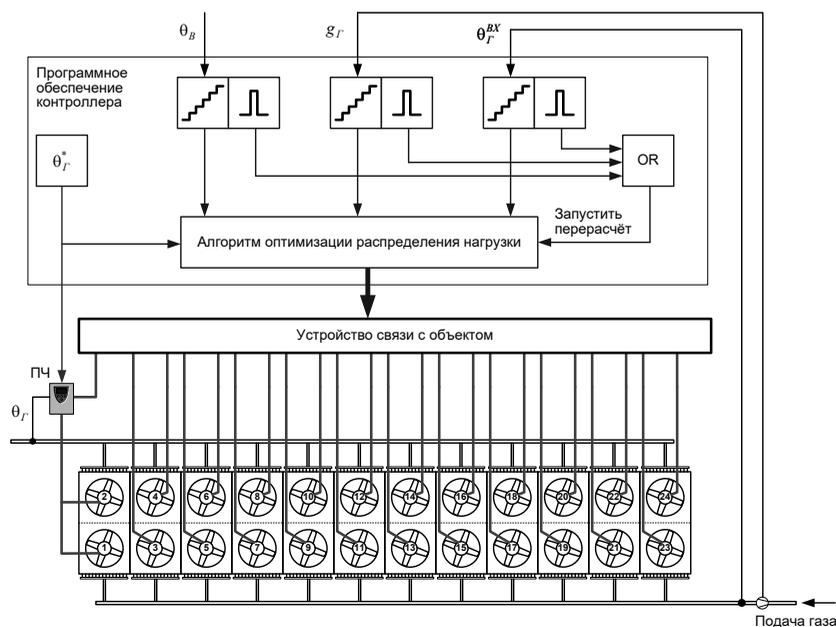


Рис. 5. Принципиальная схема автоматической системы оптимального распределения нагрузки

Еще одним положительным фактором такого комплексного подхода является возможность поддержания заданной температуры при варьировании входных параметров алгоритма оптимизации в пределах зон нечувствительности блоков дискретизации. Более того, при наличии двустороннего обмена информацией между преобразователем частоты и контроллером появляется возможность запуска расчёта оптимального распределения нагрузки по сигналу от преобразователя частоты по достижении максимальной или минимальной частоты вращения подключенных к нему вентиляторов, т. е. при выходе на ограничение по управляющему воздействию системы автоматического регулирования температурой газа на выходе установки охлаждения.

**Заключение.** Проведены исследование и анализ применяющихся в настоящее время технологий управления процессом охлаждения газа. Предложены численно-аналитические математические модели теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения и магистральном газопроводе, на основании которых проведён анализ и выявлены проблемные места эксплуатации магистрального трубопровода. Показано, что эффективное снижение энергозатрат на транспортировку газа возможно с помощью модернизации системы управления установкой охлаждения газа. Разработаны структурные схемы технической системы управления объектом «установка охлаждения газа – магистральный газопровод». Предложена двухуровневая система управления процессом охлаждения, включающая дискретное регулирование расхода воздуха изменением числа включенных вентиляторов и непрерывное регулирование изменением частоты вращения одного или нескольких регуляторов. Сформулированы рекомендации по усовершенствованию системы управления охлаждением газа. Разработан алгоритм функционирования автоматической системы управления аппаратами воздушного охлаждения, обеспечивающий энергоэффективный режим охлаждения газа. Предложена структура и разработана функциональная схема системы управления установкой охлаждения газа, реализующей полученные алгоритмы управления с учетом энергетических и технологических ограничений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поршаков Б.П., А.Н. Козаченко, В.И. Никишин. Пути и способы развития энергосберегающих технологий в трубопроводном транспорте газов // Изв. вузов. Нефть и газ. 2000. № 3. С. 57–63.
2. Махов О.Н., Субботин В.И., Ярунин С.Н., Ярунина Н.Н. Основные направления энергосбережения

в газоперекачивающей отрасли // Вестник ИГЭУ. 2005. № 1. С. 48–50.

3. Datsuk T., Pozin G., Ulyasheva V., Kanev M. Energy-saving technologies in transportation of natural gas facilities // Procedia Engineering. 2015. № 117(2015). P. 237.

4. Данилушкин А.И., Крайнов В.Г., Мигачева Л.А. Оптимизация стационарного распределения нагрузки аппаратов воздушного охлаждения газа // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. 2011. Вып. № 3(31). С. 159–165.

5. Белоусенко И.В., Шварц Г.Р., Великий С.Н. и др. // Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике газовой промышленности. М.: Недра, 2002. 300 с.

6. Алимов С.В., Данилушкин И.А., Мосин В.Н. Моделирование установившихся процессов теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения газа // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. 2010. Вып. № 2(26). С. 178–186.

7. Данилушкин А.И., Данилушкин И.А. Оптимизация электропотребления электротехнического комплекса установки охлаждения газа // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, № 1. С.124–129.

8. Базаров А.А., Данилушкин А.И. Моделирование процессов теплообмена между газопроводом и окружающей средой // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Технические науки. 2015. Вып. № 2(46). С. 66–76.

9. Грабовец В.А., Данилушкин А.И., Данилушкин И.А. и др. Метод моделирования температуры газа при транспортировке по магистральному газопроводу // Газовая промышленность. 2016. № 9(743). С. 26–30.

10. Oosterkamp A., Helgaker J.F., Ytrehus T. Modelling of natural gas pipe flow with rapid transients-case study of effect of ambient model // Energy Procedia. 2015. № 64(2015). P. 101–110.

11. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений / под общ. ред. В.Г. Потемкина. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 496 с.

12. Дудников Е.Е. Универсальные программные пакеты для моделирования систем с распределёнными параметрами // Автоматика и телемеханика. 2009. № 1. С. 3–24.

13. Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределёнными параметрами. М.: Высшая школа, 2003. 299 с.

14. Рапопорт Э.Я. Оптимальное управление системами с распределёнными параметрами. М.: Высшая школа, 2009. 677 с.

## REFERENCES

1. Porshakov B.P., Kozachenko A. N., Nikishin V. I. Ways and methods of development of energy-saving technologies in pipeline transport of gases. *Izv. vuzov. Nef' i gaz* [News of universities. Oil and gas], 2000, no. 3, p. 57-63. (in Russian)

2. Makhov O.N. Subbotin VI, Yarunin SN, Yarunina NN. The main directions of energy saving in the gas pumping industry. *Vestnik IGEU [Bulletin of ISUE]*, 2005, n.1, pp. 48 - 50. (in Russian)

3. Datsuk T., Pozin G., Ulyasheva V., Kanev M. Energy-saving technologies in transportation of natural gas facilities. *Procedia Engineering*, 2015, no. 117, pp. 237–243.

4. Danilushkin A.I., Kraynov V.G., Migacheva L.A. Optimization of stationary load distribution of gas air coolers. *Vestnik Samar. Gos. Tekhn. Un-ta. Ser. Tekhnicheskie nauki [Vestnik of Samara State Technical University (Technical Sciences Series)]*, 2011, no. 3 (31), pp. 159-165. (in Russian)

5. Belousenko I.V., Shvarts G.R., Velikiy S.N. and others. *Novyye tekhnologii i sovremennoye oborudovaniye v elektroenergetike gazovoy promyshlennosti [New technologies and modern equipment in the electric power industry of the gas industry]*. M.: Nedra, 2002. 300 p.

6. Alimov S.V., Danilushkin I.A., Mosin V.N. Modeling of steady-state heat transfer processes in gas air cooling devices. *Vestnik Samar. Gos. Tekhn. Un-ta. Ser. Tekhnicheskie nauki [Vestnik of Samara State Technical University (Technical Sciences Series)]*, 2010, no. 2 (26), pp. 178-186. (in Russian)

7. A.I. Danilushkin, I.A. Danilushkin. Optimization of power consumption of the electrical complex of the gas cooling plant. *Gradostroitel'stvo i arhitektura [Urban Construction and Architecture]*, 2018, Vol. 8, no. 1, pp. 124-129. (in Russian)

8. A.A. Bazarov, A.I. Danilushkin. Modeling the processes of heat exchange between the gas pipeline and the environment. *Vestnik Samar. Gos. Tekhn. Un-ta. Ser. Tekhnicheskie nauki [Vestnik of Samara State Technical University (Technical Sciences Series)]*, 2015, no. 2 (46), pp. 66-76. (in Russian)

9. Grabovets V.A., Danilushkin A.I., Danilushkin I.A. and others. Method for modeling gas temperature during transportation through the main gas pipeline. *Gazovaya promyshlennost' [Gas industry]*, 2016, no. 9 (743), pp. 26-30.

10. Oosterkamp A., Helgaker J.F., Ytrehus T. Modelling of natural gas pipe flow with rapid transients-case study of effect of ambient model. *Energy Procedia*, 2015, no. 64, pp. 101–110.

11. Chernykh I.V. *SIMULINK: sreda sozdaniya inzhenernykh prilozheniy [SIMULINK: environment for creating engineering applications]*. M.: DIALOG-MIFI, 2003. 496 p.

12. Dudnikov E.E. Universal software packages for modeling systems with distributed parameters. *Avtomatika i telemekhanika [Automation and telemechanics]*, 2009, no. 1, pp. 3–24. (in Russian)

13. Rapoport E.Ya. *Strukturnoe modelirovaniye obektov i sistem upravleniya s raspredelennymi parametrami [Structural modeling of objects and control systems with distributed parameters]*. M.: Vysshaya shkola, 2003. 299 p.

14. Rapoport E.Ya. *Optimalnoye upravleniye sistem s raspredelennymi parametrami [Optimal control of systems with distributed parameters]*. M: Visshaya shkola, 2009. 677 p.

Об авторах:

#### **ДАНИЛУШКИН Александр Иванович**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: aidanilushkin@mail.ru

#### **DANILUSHKIN Aleksandr I.**

Doctor of Engineering Science, Professor of the Power Supply of Industrial Enterprises Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: aidanilushkin@mail.ru

#### **ДАНИЛУШКИН Василий Александрович**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: vasilydan2013@yandex.ru

#### **DANILUSHKIN Vasily A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Power Supply of Industrial Enterprises Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: vasilydan2013@yandex.ru

Для цитирования: Данилушкин А.И., Данилушкин В.А. Эффективное управление функционированием электротехнического комплекса подготовки газа к транспортировке по магистральному трубопроводу // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 162–170. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.21.

For citation: Danilushkin A.I., Danilushkin V.A. Efficient Control of Functioning of Electrical Gas Preparation Complex to Transportation by Main Pipeline. *Gradostroitel'stvo i arhitektura [Urban Construction and Architecture]*, 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 162–170. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.21.

Е. А. КРЕСТИН  
Г. В. СЕРЕБРЯКОВ

## ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ БЕСКОНТАКТНЫХ УПЛОТНЕНИЙ С ПЛОСКИМИ ЩЕЛЕВЫМИ ЗАЗОРАМИ ПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### HYDRODYNAMIC CALCULATION OF CONTACTLESS SEALS WITH PLANE SLOTS IN DRIVES OF ELECTRIC POWER SYSTEMS

Исследованы бесконтактные уплотнения с плоскими щелевыми зазорами приводов электроэнергетических систем, используемые в распределительных устройствах гидроагрегатов, а также в насосах и гидромоторах. Расчет уплотнений по средней величине зазора приводит к занижению или завышению расхода утечек по сравнению с эксплуатационными значениями. Определена закономерность распределения давления и скорости потока в зазоре плоской конусной щели, а также найдены формулы для расхода (утечки) и сил трения, действующих на стенки конусной щели. Для решения задачи использованы приближенные уравнения Навье-Стокса и неразрывности потока. Рассмотрено несколько частных случаев течения рабочей жидкости в различных зазорах: плоскопараллельный зазор с осциллирующей стенкой и при постоянном градиенте давления и конический зазор при различных соотношениях перепада давления и фрикционного воздействия подвижной стенки канала. При осцилляции стенки в коническом зазоре и постоянном давлении характерно наличие экстремума. В этом случае в щелевом зазоре возникало избыточное давление, создающее поддерживающую силу, а величина давления становилась достаточно высокой. При движении нижней стенки конусной щели в направлении увеличивающегося зазора давление внутри щелевого канала, при некоторых условиях, может достичь полного вакуума, величина которого ограничивается объемной прочностью жидкости и давлением насыщенных паров при заданной температуре. Когда перепад давления и осцилляции стенки конусного зазора аддитивны, то при достаточно большой скорости движения стенки давление внутри щели может даже возрастать и превосходить значение подводимого давления.

**Ключевые слова:** щелевые зазоры, расход утечек, сила трения, распределение давления, гидроагрегаты, уравнения Навье-Стокса, конический зазор, электроэнергетические системы

Бесконтактные уплотнения в виде плоских щелей используются в гидравлических

Non-contact seals with flat slotted gaps of drives of electric power systems used in switchgears of hydraulic units, as well as in pumps and hydraulic motors have been investigated. Calculation of seals based on average clearance results in an underestimation or overestimation of the leakage rate compared to the operational values. The regularity of the distribution of pressure and flow rate in the gap of a flat conical slot is determined, and formulas for the flow rate (leakage) and friction forces acting on the walls of the conical slot are found. To solve the problem, the approximate Navier-Stokes and flow continuity equations are used. Several special cases of the flow of the working fluid in different gaps are considered: a plane-parallel gap with an oscillating wall and at a constant pressure gradient and a conical gap at different ratios of the pressure drop and the frictional action of the moving channel wall. When the wall oscillates in a conical gap and constant pressure, the presence of an extremum is characteristic. In this case, an excess pressure appeared in the slotted gap, creating a supporting force, and the pressure value became high enough. When the lower wall of the conical slot moves in the direction of the increasing gap, the pressure inside the slotted channel, under certain conditions, can reach a complete vacuum, the value of which is limited by the bulk strength of the liquid and the pressure of saturated vapor at a given temperature. When the pressure drop and oscillations of the wall of the conical gap are additive, then at a sufficiently high velocity of the wall movement, the pressure inside the slot can even increase and exceed the value of the supplied pressure.

**Keywords:** slotted gaps, leakage rate, friction force, pressure distribution, hydraulic units, Navier-Stokes equations, conical gap, electric power systems

системах, например в распределительных устройствах гидроагрегатов, а также в насосах

и гидромоторах приводов электроэнергетических систем [1].

Щелевой зазор может иметь постоянную высоту, но может быть и конусным. Конусность щели обычно является следствием несовершенства изготовления и неравномерного износа деталей при эксплуатации.

Расход жидкости через конусную щель можно определить по формуле

$$Q = \frac{Wh^3 \Delta p}{12\nu pl}, \quad (1)$$

в которой за величину зазора принимают некоторую среднюю величину, определяемую соотношением  $h_{cp} = (h_1 + h_2)/2$ , где  $h_1$  и  $h_2$  – соответственно величина зазора на входе и на выходе из щели. Опыты показали, что расчет уплотнений по  $h_{cp}$  соответствует для конусных зазоров с небольшими углами конусности, не превышающими угол  $0^\circ 20'$ . При больших значениях угла конусности расчет утечки по  $h_{cp}$  оказывается существенно завышенным, если щель расширяется, и заниженным, если щель сужается. Причем расхождения возрастают по мере увеличения угла конусности. Так, например, у расширяющегося в направлении утечки зазора с углом конусности порядка  $2^\circ$  фактический расход будет меньше расчетного по  $h_{cp}$  в 8–10 раз.

Рассмотрим движение жидкости в плоской конусной щели, образованной двумя непроницаемыми стенками (рис. 1). Нижняя стенка неограниченной длины перемещается с постоянной скоростью  $\pm V$ . Необходимо определить закономерность распределения давления и скорости потока в зазоре плоской конусной щели, а также получить формулы для расхода (утечки) и сил трения, действующих на стенки, образующие щелевой зазор. Движение рабочей жидкости в зазоре обусловлено действием градиента давления и силы вязкого трения на подвижной стенке.

В прямоугольной системе координат ось  $Ox$  направим по течению, совместив её с одной

из стенок зазора, ось  $Oy$  – вертикально, а ось  $Oz$  – перпендикулярно потоку (см. рис. 1).

Введем обозначения:  $W, l$  – ширина и длина щели;  $\vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z$  – проекция скорости потока на соответствующие оси координат;  $h(x)$  – переменный зазор;  $h_0, h_1, p_0, p_1$  – соответственно размеры зазора и давление жидкости на входе и выходе из щели;  $\Delta p = p_0 - p_1$  – перепад давления;  $\bar{p} = p/\Delta p, \bar{p}_0 = p_0/\Delta p, \bar{p}_1 = p_1/\Delta p$  – относительная величина давления по концам зазора;  $\text{tg} \alpha = m = (h_1 - h_0)/l$  – конусность щели;  $k = (h_1 - h_0)/h_0$  – некоторый параметр, определяющий конусность щели и который с конусностью  $m$  связан соотношением

$$ml = kh_0. \quad (2)$$

Направление конусности по течению жидкости определяется знаком параметров  $k$  и  $m$ . Для расширяющихся щелей  $m > 0$  и  $k > 0$  для сужающихся –  $m < 0$  и  $k < 0$ . Значение параметра  $k$  может меняться в пределах  $-1 \leq k \leq \infty$ . При  $k = -1$  границы сужающейся щели смыкаются и течение жидкости прекращается, а при  $k = \infty$  имеет место течение жидкости как через отверстие в тонкой стенке. Движение жидкости в щели предполагаем изотермическим, ламинарным и установившимся, а жидкость несжимаемой с постоянной вязкостью. Будем считать, что размер щели, а также очистка жидкости от частиц загрязнений таковы, что облитерация каналов отсутствует. Решение будем искать для малых углов конусности и небольших зазоров. Длина и ширина канала много больше высоты зазора, т. е.  $l \gg W$  и  $l \gg h$ , причем размеры зазора не изменяются от действия перепада давления. Для определения искомых закономерностей воспользуемся приближенными уравнениями Навье-Стокса и неразрывности потока, записанными в виде [2]:

$$\frac{\partial^2 \vartheta_x}{\partial y^2} = \frac{1}{\nu \rho} \frac{\partial p}{\partial x}; \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial \vartheta_x}{\partial x} + \frac{\partial \vartheta_y}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

Граничными условиями для скоростей являются равенства скорости частиц жид-

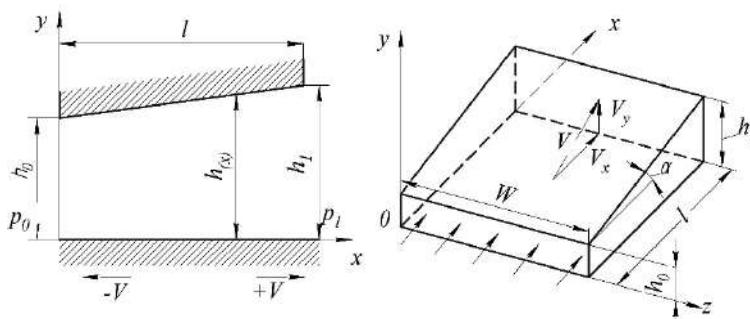


Рис. 1. Схема плоской конусной щели

кости и поверхностей, ограничивающих поток жидкости. При  $y = 0, \vartheta_x = \pm U, \vartheta_y = 0$ , при  $y = h(x) = h_0 \left(1 + k \frac{x}{l}\right) = h_0(1 + k\bar{x}), \vartheta_x = 0, \vartheta_y = 0$ .  
 Граничные условия для давлений: при  $x = 0, p = p_0$  при  $x = l, p = p_1$ .

Проинтегрировав первое уравнение (3) дважды по  $y$ , получим значение скорости в виде функции

$$\vartheta_x(x, y) = \frac{1}{2\nu\rho} \frac{dp}{dx} y^2 + A_1(x)y + A_2(x).$$

Определим произвольные функции  $A_1(x), A_2(x)$  из значений скоростей на границах. В результате закономерность распределения скорости по зазору приобретает вид:

$$\vartheta_x(x, y) = \frac{1}{2\nu\rho} (y^2 - hy) \frac{dp}{dx} \pm \frac{U}{h} (h - y). \quad (4)$$

Для определения  $p(x)$  обратимся к уравнению неразрывности (3). Интегрируя это уравнение по  $y$  в пределах  $h_1(x) \leq y \leq h_2(x)$  получим

$$p(x) = \pm 6\nu\rho U \int \frac{dx}{h^2(x)} - 12\nu\rho C \int \frac{dx}{h^3(x)} + C_2, \quad (5)$$

где  $h$  – переменный зазор, равный

$$h = h_0(1 + k\bar{x}). \quad (6)$$

Здесь  $\bar{x} = x/l, \bar{x} = 0$  – на входе в щель,  $\bar{x} = 1$  – на выходе из щели.

Определим закономерность изменения давления в щелевых зазорах. Эту закономерность можно получить, интегрируя уравнение (5). Используем граничные условия для случая, когда  $x' = 0$ , то  $p(x') = p_0$ . Опуская элементарные выкладки для определения постоянных интегрирования  $C_1$  и  $C_2$  получим

$$\bar{p}(\bar{x}) = \bar{p}_0 - \frac{(1+k)^2}{2+k} \frac{2\bar{x} + k\bar{x}^2}{(1+k)^2} + q_\vartheta \frac{k\bar{x}(\bar{x}-1)}{(1+k)^2(2+k)}, \quad (7)$$

где  $\bar{p}(\bar{x}) = \frac{p(\bar{x})}{\Delta p}; \bar{p}_0 = \frac{p_0}{\Delta p}; q_\vartheta = \frac{6\nu\rho l U}{h_0^2 \Delta p}$ .

Анализ работы гидравлических систем показал, что в бесконтактных уплотнениях, образованных щелевыми зазорами, при рабочих давлениях и скоростях передвижения стенок величина безразмерного параметра  $q_\vartheta$  может изменяться в следующем диапазоне:  $q_\vartheta = \pm 10$ . Рассмотрим несколько частных случаев течения рабочей жидкости в зазорах.

1. Пусть щелевой зазор образован параллельными стенками ( $h = \text{const}, k = 0$ ), причем одна из стенок канала движется со скоростью  $\vartheta_{cm} \neq 0$ , а рабочая жидкость находится под действием перепада давления, т. е.  $\Delta p \neq 0$ . В этом

случае закономерность изменения давления (7) запишется в виде соотношений:

$$\bar{p}(\bar{x}) = \bar{p}_0 - \bar{x} \quad \text{или} \quad p(x) = p_0 - \frac{x}{l} \Delta p. \quad (8)$$

Из (8) следует, что изменение давления в щели происходит по линейному закону, т. е. давление изменяется от  $p_0$ , которое подводится к щели, до давления  $p_1$  – на выходе из зазора, причем независимо от того, движется стенка щелевого зазора или нет. Величина давления в произвольной точке щели зависит лишь от давления  $p_0$  и  $p_1$  и относительной координаты точки  $\bar{x} = x/l$  и не зависит от размера самого зазора  $h$ .

2. Рассмотрим фрикционное течение. Щелевой зазор образован параллельными стенками  $h = \text{const}$ . Одна из стенок канала движется со скоростью  $\vartheta_{cm} \neq 0$  однако в зазоре отсутствует напорное течение, т. е.  $\Delta p = p_0 - p_1 = 0$ . В этом случае давление в любом сечении зазора бесконтактного уплотнения равно давлению на границах канала  $p(x) = p_0 = p_1$ .

3. Рассмотрим конусную щель  $k \neq 0$ , образованную неподвижными стенками  $\vartheta_{cm} = 0, q_\vartheta = 0$ , а течение жидкости происходит под действием перепада давления. Подставив эти заданные значения в формулу (7), получим изменение давления в виде:

$$\bar{p}(\bar{x}) = \bar{p}_0 - \frac{(1+k)^2}{2+k} \frac{2\bar{x} + k\bar{x}^2}{(1+k)^2}. \quad (9)$$

Из (9) следует, что давление вдоль щели зависит не только от  $p_1, p_0, \bar{x}$ , но и от размера входного зазора  $h_0$  и величины конусности  $k$ . На рис. 2 представлена графическая зависимость изменения относительной величины давления  $\bar{p}(\bar{x}, k) = p/\Delta p$  вдоль щели. В расчете принято: давление жидкости у входа в канал  $p = p_0$ , на выходе из канала  $p = p_1 = 0$ , т. е.  $\Delta p = p_0$  длина щели  $l = 10$  мм, входной зазор  $h_0 = 20$  мкм. Изменение конусности щели происходило вследствие изменения выходного зазора  $h_1 = 1..120$  мкм. Значение  $m = \text{tg}\alpha = 0,01$  соответствует углу  $\alpha = 0^\circ 35'$  и конусности  $k = 5$ .

При  $m < 0$  (сужающиеся щели, рис. 2, б) изменение давления в щели выражается выпуклыми кривыми, а при  $m > 0$  (расширяющейся щели, рис. 2, а) – вогнутыми. Границей раздела этих кривых является прямая линия, полученная для плоскопараллельного канала. Из графика следует, что чем больше конусность при неизменном входном зазоре, тем значительнее проявляется отклонение изменения давления от прямолинейной зависимости.

При  $k = -1$  верхняя и нижняя границы щели смыкаются и тогда давление в любой точке ще-

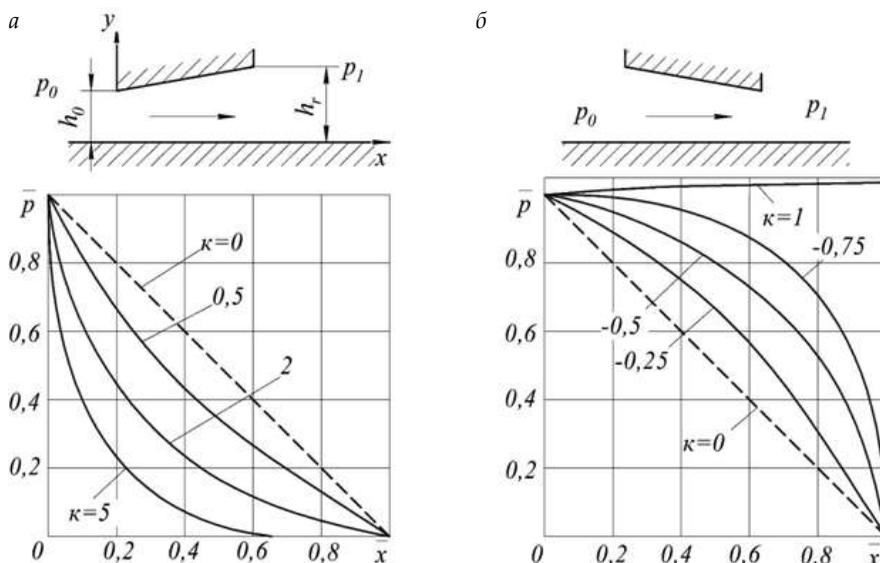


Рис. 2. График зависимости  $\bar{p} = f(\bar{x}, k)$  в конусных щелях при напорном течении  $\Delta p \neq 0, p_1 = 0, v_{cm} = 0, h_0 = \text{const}, h_1 = \text{var}$ : а – щель расширяющаяся; б – щель сужающаяся

левого зазора становится равным подводимому давлению.

4. Рассмотрим безнапорное течение в конусной щели с подвижной стенкой ( $\Delta p = 0, p_0 = p_1, \vartheta_{cm} \neq 0, k = 0$ ). При указанных обстоятельствах закономерность изменения давления в щелевом зазоре запишется в виде [3]:

$$p(\bar{x}) = \bar{p}_0 \pm \frac{6\nu\rho l \vartheta_{cm}}{h_0^2} \frac{k\bar{x}(\bar{x}-1)}{(1+k\bar{x})^2(2+k)}. \quad (10)$$

Приведем зависимость (10) к безразмерному виду, для чего поделим и левую, и правую части на давление  $p_0$ :

$$\bar{p}^0(\bar{x}) = 1 + \frac{q_{\vartheta_0} k\bar{x}(\bar{x}-1)}{(1+k\bar{x})^2(2+k)}, \quad (11)$$

где  $q_{\vartheta_0} = \pm \frac{6\nu\rho l \vartheta_{cm}}{p_0 h_0^2}$  – безразмерный параметр;

$$\bar{p}^0(\bar{x}) = \frac{p(x)}{p_0}.$$

На рис. 3 приведены расчётные кривые изменения относительного давления  $\bar{p}^0 = f(\bar{x})$  в конусных щелях с подвижной стенкой. При движении стенки в направлении уменьшения зазора (рис. 3, а) расчёты выполняли для  $q_{\vartheta_0} = 5 = \text{const}$  и трех значений параметров конусности  $k = 1, 0, 2, 0$  и  $10$  [4–7].

При движении стенки в сторону увеличивающегося зазора (рис. 3, б) значение конусности было неизменным  $k = 1$ , но переменным был параметр  $q_{\vartheta_0}$  что достигалось изменением

скорости движения стенки  $\vartheta_{cm}$ . Для обоих случаев течения характерно наличие экстремума. При движении стенки щели в сторону меньшего зазора давление внутри щели сначала увеличивалось, достигая максимума, а затем уменьшалось до  $p_0$ . В этом случае в щелевом зазоре возникало избыточное давление, создающее поддерживающую силу. Формула (10) показывает, что малый зазор  $h_0$  позволяет получить довольно высокое давление в щелевом канале.

При движении нижней стенки в направлении увеличивающегося зазора (см. рис. 3, б) давление внутри щели вначале понижается, а затем возрастает до  $p_0$ . Координату точки экстремума давления можно определить, пользуясь известным приемом. В точке экстремума производная  $dp/dx = 0$ . Используя (10), получим:

$$x_1 = \frac{l}{2+k}; \quad \bar{x}_1 = \frac{1}{2+k}. \quad (12)$$

Теоретически получается, что при движении нижней стенки щели в направлении увеличивающегося зазора давление внутри щелевого зазора, при некоторых условиях, может достичь полного вакуума. Зависимость между скоростью движения стенки  $\vartheta_{cm,кр}$  параметром конусности  $k$ , длиной щели  $l$ , вязкостью  $\nu$  и начальным давлением  $p_0$ , при которых образуется вакуум, можно определить, если в уравнении (10) положить  $p = 0, x = l/(2+k)$ :

$$g_{cm,кр} = \frac{2p_0 h_0 (1+k)(2+k)}{3\gamma\rho l k}. \quad (13)$$

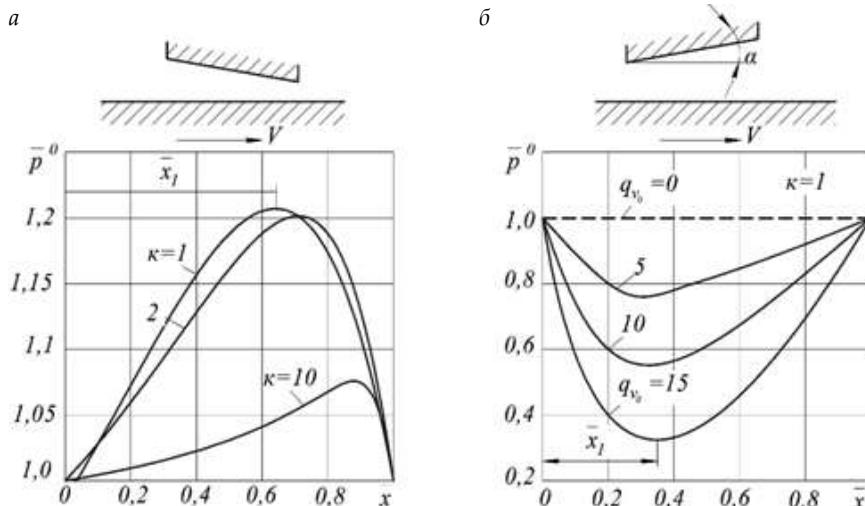


Рис. 3. График зависимости  $\bar{p}^0 = f(\bar{x}, k)$  в конусных щелях при фрикционном течении  $v \neq 0, \Delta p = 0$ , когда стенка движется в сторону меньшего зазора (а) и в сторону большего зазора (б)

В реальных условиях давление в щели никогда не достигает нуля, так как оно ограничивается объемной прочностью жидкости.

В гидравлических расчетах обычно считают, что наименьшее давление, которое может быть в жидкости, равно или близко к давлению ее насыщенных паров при заданной температуре. Например, при работе подшипника скольжения жидкость в тонком слое зазора нагревается, что снижает ее вязкость и повышает давление насыщенных паров [8, 9].

5. Рассмотрим движение жидкости в конусных щелях, которое происходит под действием суммарного эффекта, т. е. перепада давления  $\Delta p$  и фрикционного воздействия подвижной стенки канала.

Изменение давления в щелевом зазоре также определяется выражением (7). Графическая иллюстрация изменения давления в щелевом канале показана на рис. 4.

Расчеты выполнены для параметров конусности  $k = 5$  и  $k = -0,5$ . Перепад давления по концам зазора принимали  $\Delta p = p_0$ , что возможно только при  $p_1 = 0$ . На графике (рис. 4, а) напорное течение жидкости, вызванное перепадом давления  $\Delta p$ , происходит в сторону увеличения зазора  $h$ . Давление вдоль щели быстро уменьшается, и в случае, когда стенка будет двигаться в направлении расширяющегося зазора, то давление может достичь нулевого значения. Если же течение жидкости происходит в сторону уменьшения зазора  $h$ , а также при совпаде-

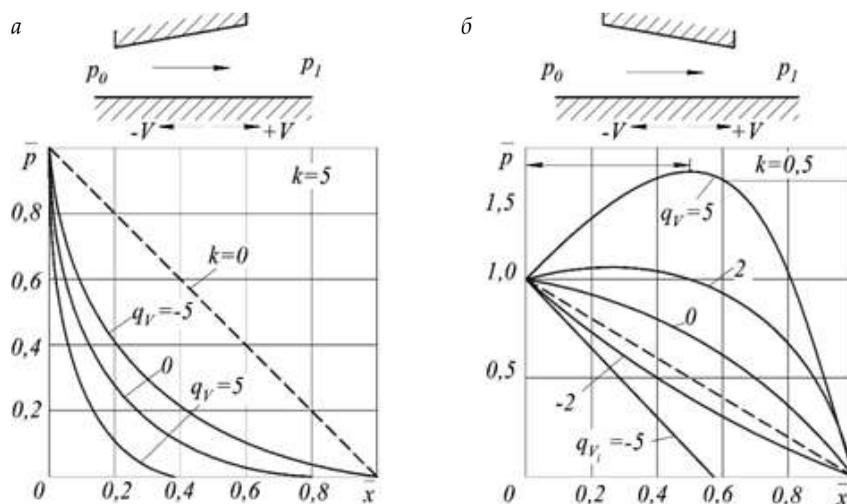


Рис. 4. Схема распределения давления в конусных щелях при совместном действии перепада давления  $\Delta p \neq 0$  и движении стенки со скоростью  $\pm v_{ст}$

нии направления движения стенки с потоком, интенсивность падения давления вдоль стенки существенно снижается. При достаточно большой скорости  $\vartheta_{cm}$  движения стенки давление внутри щели может даже возрасти и превосходить значение подводимого давления  $p_0$ . Координату  $\bar{x} = x_1/l$  соответствующую максимальному значению давления в сужающемся зазоре, найдем из условия  $dp/dx = 0$ :

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{k} \left[ \frac{2(1+2k)}{2+k} \left( \frac{1+k}{q_s} + 1 \right) - 1 \right]. \quad (14)$$

Если же стенка движется против потока, обусловленного перепадом давления  $\Delta p$ , то при некоторой скорости  $\vartheta_{cm}$  давление внутри щели может уменьшиться до нуля.

**Выводы.** 1. Исследованы бесконтактные уплотнения с плоскими щелевыми зазорами приводов электроэнергетических систем, используемые в распределительных устройствах гидроагрегатов, а также в насосах и гидромоторах.

2. Опыт эксплуатации гидравлических систем показывает, что расчет уплотнений по средней величине зазора приводит к занижению или завышению расхода утечек от эксплуатационного значения. При углах конусности более  $0^\circ 20'$  расход утечки оказывается существенно завышенным, если щель расширяется, и заниженным, если щель сужается. Расхождения возрастают по мере увеличения угла конусности: у расширяющегося в направлении утечки зазора с углом конусности порядка  $2^\circ$  фактический расход будет меньше расчетного в 8–10 раз.

3. Определена закономерность распределения давления и скорости потока в зазоре плоской конусной щели, а также получены формулы для расхода (утечки) и сил трения, действующих на стенки конусной щели, образованной двумя непроницаемыми стенками. Нижняя стенка неограниченной длины перемещается с постоянной скоростью.

4. Для определения искомых закономерностей использовали приближенные уравнения Навье-Стокса и неразрывности потока с граничными условиями для скоростей и давлений по зазору.

5. Рассмотрено несколько частных случаев течения рабочей жидкости в различных зазорах: плоскопараллельный зазор с осциллирующей стенкой и при постоянном градиенте давления; зазор постоянной высоты при отсутствии давления и при движении одной из стенок канала; конусная щель, образованная неподвижными стенками, в которой течение жидкости происходит под действием перепада давления; конусная щель с подвижной стен-

кой при безнапорном течении; конусная щель, движение жидкости в которой происходит под действием суммарного эффекта, т. е. перепада давления и фрикционного воздействия подвижной стенки канала. Для всех указанных случаев найдено распределение давления по зазору с учетом плоскопараллельности и конусности.

6. Из построенных графиков следует, что чем больше конусность при неизменном входном зазоре, тем значительнее проявляется отклонения изменения давления от прямолинейной зависимости.

7. При осцилляции стенки в коническом зазоре и постоянном давлении характерно наличие экстремума. При движении стенки щели в сторону меньшего зазора давление внутри щели сначала увеличивалось, достигая максимума, а затем уменьшалось до  $p_0$ . В этом случае в щелевом зазоре возникло избыточное давление, создающее поддерживающую силу, а величина давления становилась достаточно высокой.

8. При движении нижней стенки конусной щели в направлении увеличивающегося зазора давление внутри щелевого канала, при некоторых условиях, может достичь полного вакуума, величина которого ограничивается объемной прочностью жидкости и давлением насыщенных паров при заданной температуре.

9. Когда перепад давления и осцилляции стенки конусного зазора аддитивны, то при достаточно большой скорости движения стенки давление внутри щели может даже возрасти и превосходить значение подводимого давления.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никитин Г.А., Черкун В.Е., Дидур В.А. Повышение качества сборки плунжерных пар золотниковых распределителей // *Технология и организация производства*. Киев, 1971. № 1. С. 77–80.
2. Крестин Е.А. Определение утечек жидкости через зазор бесконтактного уплотнения поршня гидравлического вибратора // *Научное обозрение*. 2014. № 5. С. 108–110.
3. Васильев В.А. Метод расчета гидродинамических сил в щелевых уплотнениях роторов мощных питательных насосов // *Вестн. ЮУрГУ. Сер. Машиностроение*. 2004. № 5. С. 115–120.
4. Гидравлика, гидромашин и гидроприводы / Т. М. Башта [и др.]. 5-е изд., стер. М.: Альянс, 2011. 422 с.
5. Численное исследование устойчивости течения Тейлора между двумя цилиндрами в двумерном случае / О. М. Белоцерковский [и др.] // *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2009. № 4. С. 754–768.

6. Уплотнительные устройства в машиностроении / Б. Жирных [и др.]. М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2017. 24 с.

7. Никитин О.Ф. Рабочие жидкости и уплотнительные устройства гидроприводов. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. 288 с.

8. Машиностроительный гидропривод / под ред. В. Н. Прокофьева; авт.: Л. А. Кондаков, Г. А. Никитин, В. Н. Прокофьев, В. Я. Скрицкий, В. Л. Сосонкин. М.: Машиностроение, 1978. 495 с.

9. Найгерт К.В., Редников С.Н., Япарова Н.М. Процессы полимеризации рабочей среды в зазорах золотниковых пар // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника: сборник статей. Челябинск, 2016. № 46. С. 125–123.

## REFERENCES

1. Nikitin G.A., Cherkun V.E., Didur V.A. Povyshenie kachestva sborki plunzhernykh par zolotnikovyykh raspredeliteley. *Tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva* [Technology and organization of production], Kiev, 1971, no. 1, pp. 77-80.

2. Krestin E.A. Opredelenie utechek zhidkosti cherez zazor beskontaktnogo uplotneniya porshnya gidravlicheskogo vibratora / Nauchnoe obozrenie, 2014, no. 5, pp. 108-110. (in Russian)

3. Vasil'yev V.A. Metod rascheta gidrodinamicheskikh sil v shchelevykh uplotneniyakh rotorov moshchnykh pitatel'nykh nasosov / V. A. Vasil'yev // Vestn. YUUrGU. Ser. Mashinostr. 2004, no. 5, pp. 115-120. (in Russian)

4. Gidravlika, gidromashiny i gidroprivody: uchebnyk dlya studentov vysshih tekhnicheskikh uchebnykh zavedeniy / T. M. Bashta i dr. 5-e izd., ster. – M.: Al'yans, 2011, 422 p. (in Russian)

5. Chislennoe issledovanie ustoychivosti techeniya Teylora mezhdru dvumya tsilindrami v dvumernom sluchae / O. M. Belotserkovskiy [i dr.] // Zhurnal vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy fiziki. 2009, no. 4, pp. 754-768. (in Russian)

6. Uplotnitel'nye ustroystva v mashinostroenii: uchebnoe posobie / B. Zhirnykh [i dr.] – M.: Izdatel'stvo MGTU im. Baumana. 2017, 24 p. (in Russian)

7. Nikitin O.F. Rabochie zhidkosti i uplotnitel'nye ustroystva gidroprivodov. – M.: MGTU im. N. E. Bauman. 2013, 288 p. (in Russian)

8. Mashinostroitel'nyy gidroprivod / Pod red. V. N. Prokof'yeva, avt.: L. A. Kondakov, G. A. Nikitin, V. N. Prokof'yev, V. Ya. Skritskiy, V. L. Sosonkin, M.: Mashinostroenie. 1978, 495 p. (in Russian)

9. Naygert K.V. Protessy polimerizatsii rabochey sredy v zazorakh zolotnikovyykh par / K.V. Naygert, S.N. Rednikov, N.M. Yaparova // Vestnik PNIPU. Aerokosmicheskaya tekhnika: sbornik statey. Chelyabinsk, 2016, no. 46, pp. 125-123. (in Russian)

Об авторах:

### 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, 244 E-mail: krestin@bk.ru

### 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 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244 E-mail: krestin@bk.ru

### СЕРЕБРЯКОВ Григорий Владимирович

студент 3 курса, факультет инженерных систем и природоохранного строительства, направление: гидротехническое строительство, группа Г-81 Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: karately123@mail.ru

### SEREBRYAKOV Grigoriy V.

Student of the Faculty of Engineering Systems and Environmental Construction Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244 E-mail: karately123@mail.ru

Для цитирования: Крестин Е.А., Серебряков Г.В. Гидродинамический расчет бесконтактных уплотнений с плоскими щелевыми зазорами приводов электроэнергетических систем // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 171–177. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.22.

For citation: Krestin E.A., Serebryakov G.V. Hydrodynamic calculation of contactless seals with plane slots in drives of electric power systems. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, Pp. 171–177. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.22.

# 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  
Суг, размер 14пт*

*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)*

*библиографический список на транслитерации (References)*

*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) 242-36-98, E-mail: [vestniksgasu@yandex.ru](mailto:vestniksgasu@yandex.ru), [uc-arch@yandex.ru](mailto:uc-arch@yandex.ru).