

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ISSN 2542-0151

Т. 8, № 1

## URBAN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



САМАРА

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

ISSN 2542-0151

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

URBAN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Т.8, № 1

САМАРА  
2018

УДК 71+72

Градостроительство и архитектура=Urban construction and architecture. 2018. Т. 8, № 1. 140 с.

Учредитель:

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

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

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

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

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

**Редакционная коллегия:**

И.И. АРТЮХОВ, д.т.н., профессор (Саратов)

Е.А. АХМЕДОВА, д. арх., профессор

Ю.П. БОЧАРОВ, д. арх., профессор (Москва)

А.Д. ВАСИЛЬЕВ, д.т.н., доцент (Нижний Новгород)

В.В. ВАХНИНА, д.т.н., профессор (Тольятти)

С.Я. ГАЛИЦКОВ, д.т.н., профессор

А.Д. ГЕЛЬФОНД, д. арх., профессор

(Нижний Новгород)

В.П. ГЕНЕРАЛОВ, к. арх., профессор

А.И. ДАНИЛУШКИН, д.т.н., профессор

В.В. ЕЛИСТРАТОВ, д.т.н., профессор

(Санкт-Петербург)

В.Н. ЗЕНЦОВ, д.т.н., профессор (Уфа)

И.В. ЛИПАТОВ, д.т.н., доцент (Нижний Новгород)

Т.В. КАРАКОВА, д. арх., профессор

А.А. КУДИНОВ – д.т.н., профессор

Г.В. МУРАШКИН, д.т.н., профессор

В.Д. НАЗАРОВ, д.т.н., профессор (Уфа)

Н.Д. ПОТИЕНКО, к. арх., доцент

В.А. СЕЛЕЗНЕВ, д.т.н., профессор (Тольятти)

С.В. СТЕПАНОВ, д.т.н., доцент

А.И. ХЛЫСТОВ, д.т.н., профессор

К.Л. ЧЕРТЕС, д.т.н., профессор

Н.Г. ЧУМАЧЕНКО, д.т.н., профессор

В.А. ШАБАНОВ, к.т.н., профессор

Д.А. ШЛЯХИН – д.т.н., профессор

А.БОРОДИНЕЦ, D.Sc., профессор (Рига, Латвия)

Г. РАДОВИЧ, D.Sc. arch., профессор (Подгорица, Черногория)

М.КНЕЗЕВИЧ, D.Sc., профессор (Подгорица, Черногория)

Я. МАТУШКА, PhD, доцент (Пардубице, Чешская Республика)

С. ОГНЕНОВИЧ, PhD, профессор (Скопье, Македония)

М.ПРЕМРОВ, D.Sc., профессор (Марибор, Словения)

Д. САФАРИК, главный редактор СТВУН Journal (Чикаго, США)

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

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

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

Executive Secretary – PhD in Philology M.S. DOSKOVSKAYA

**Editorial Board:**

I.I. ARTYUKHOV, D. Eng., Prof. (Saratov)

E.A. AKHMEDOVA, D. Arch., Prof.

Y.P. BOCHAROV, D. Arch., Prof. (Moscow)

A.L. VASILYEV D. Eng., Ass. Prof. (Nizhny Novgorod)

V.V. VAKHINA, D. Eng., Prof. (Tolyatti)

S.YA. GALITSKOV, D. Eng., Prof.

A.L. GELFOND, D. Arch., Prof.

(Nizhny Novgorod)

V.P. GENERALOV, PhD in Architecture, Prof.

A.I. DANILUSHKIN, D. Eng., Prof.

V.N. ELISTRATOV, D. Eng., Prof.

(Saint Petersburg)

V.N. ZENTSOV, D. Eng., Prof. (Ufa)

I.V. LIPATOV, D. Eng., Ass. Prof. (Nizhny Novgorod)

T.V. KARAKOVA, D. Arch., Prof.

A.A. KUDINOV, D.Eng., Prof.

G.V. MURASHKIN, D. Eng., Prof.

V.D. NAZAROV, D. Eng., Prof. (Ufa)

N.D. POTIENKO, PhD in Architecture, Ass.Prof.

V.A. SELEZNEV, D. Eng., Prof. (Tolyatti)

S.V. STEPANOV, D. Eng., Ass. Prof.

A.I. KHLYSTOV, D. Eng., Prof.

K.L. CHERTES, D. Eng., Prof.

N.G. CHUMACHENKO, D. Eng., Prof.

V.A. SHABANOV, PhD in Engineering, Prof.

D.A. SHLYAKHIN, D.Eng., Prof.

A. BORODINECS, D.Sc., Prof. (Riga, Latvia)

G. RADOVIC, D.Sc. arch., Prof. (Podgorica, Montenegro)

M. KNEZEVIC, D.Sc., Prof. (Podgorica, Montenegro)

J. MATUŠKA, Ph.D., Ass. Prof. (Pardubice, Czech Republic)

S. OGNJENOVIC, Ph.D., Prof. (Skopje, Macedonia)

M. PREMROV, D.Sc., prof., (Maribor, Slovenia)

D.SAFARIK (Chicago, the USA)

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

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

в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций

на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

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

Каждой статье присваивается идентификатор цифрового объекта DOI

Индекс журнала в каталоге Агентства «Роспечать»: 70570

Научное издание

Редактор Г.Ф. Конопина

Корректор М.В. Веселова

На обложке высотные здания Самары

Подписано в печать 27.04.2018 г. Формат 60х90 1/8. Бумага мелованная.

Печать офсетная. Печ. л. 17,5. Тираж 300 экз. Заказ № 1702 .

Адрес редакции: 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 632

Телефоны: (846) 242-36-98

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

Отпечатано в типографии ООО «КНИЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО»:

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

## Содержание

### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

#### СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

- 4 **Мордовский С.С., Давликамов Р.И.** Напряженно-деформированное состояние внецентренно сжатых железобетонных колонн круглого сечения
- 10 **Родионов И.К., Родионов И.И.** Технологические параметры сварки при усилении стальных ферм покрытия промышленных зданий
- 16 **Рязанова Г.Н., Попова Д.М.** Анализ существующих методов возведения конструкций из монолитного бетона и железобетона в зимних условиях
- 24 **Широков В.С., Соловьёв А.В.** Анализ конструктивного исполнения серийных модульных зданий
- 28 **Шейна Т.В., Авдеева Е.А.** Технологии защиты автодорог от камнепадов

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

- 35 **Лукс А.Л., Матвеев А.Г., Зеленцов Д.В.** Методика расчета тепловых труб, отводящих тепло от тепловыделяющей поверхности
- 40 **Панченко В.В.** Воздушно-лучистое отопление на базе двухконтурного теплогенератора с инфракрасными излучателями

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

- 44 **Кичигин В.И., Землянова М.В., Вядкова Е.И.** Исследование возможности использования СВЧ-излучения для обработки жидких коммунальных отходов
- 50 **Минкина С.А., Негода Л.Л., Курмаева Т.С.** Подготовка воды для работы котельных и тепловых сетей районов города Самары, городов и поселков Самарской области
- 54 **Вильсон Е.В., Серпокрьлов Н.С., Долженко Л.А.** Устойчивость функционирования очистных сооружений водоотведения в критических ситуациях

#### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

- 59 **Закирова М.Н., Чуприна Е.В.** Обеспечение экологической безопасности в условиях загрязнения городской среды кадмием
- 63 **Константинов И.С., Звягинцева А.В.** Комплексная оценка состояния урбанизированных территорий

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

- 72 **Лёшина К.С., Сысоева Е.А., Сластенин П.В.** Принципы и приемы архитектурной адаптации исторических комплексов и зданий
- 78 **Орлова Н.А., Орлов Д.Н.** Средовые факторы в архитектуре
- 85 **Ченпалов М.Ф., Журавлёв М.Ю.** Аутентификация новгородской школы древнерусского храмового зодчества

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

- 91 **Артемьева Т.Г., Бальзанникова Е.М.** Эволюция понимания ценности исторической архитектуры в форматах времени / формы / контекста
- 96 **Генералова Е.М.** Выявление типологической структуры многофункциональных высотных зданий
- 102 **Котенко И.А., Харитоновна А.С.** Семантика домовая резьбы Самары

#### ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

- 109 **Косенкова Н.А., Серова А.А.** Формирование идентичности общественных объектов на примере Самары

### ЭНЕРГЕТИКА

#### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- 117 **Вахнина В.В., Кувшинов А.А., Кузнецов В.Н., Шаповалов В.А.** Моделирование одностороннего насыщения магнитных систем силовых трансформаторов электроэнергетических систем
- 124 **Данилушкин А.И., Данилушкин И.А.** Оптимизация электропотребления электротехнического комплекса установки охлаждения газа

#### ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

- 130 **Крестин Е.А.** К вопросу о теоретическом исследовании гидродинамических характеристик течения вязкой несжимаемой жидкости в зазорах переменной высоты
- 135 **Кудинов А.А., Дёмина Ю.Э.** Расчет системы отвода уходящих дымовых газов газотурбинной установки через башню градирни

- 139 **ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ**

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ



УДК 624.072.31

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.1

С.С. МОРДОВСКИЙ  
Р.И. ДАВЛИКАМОВ

### НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ

STRESS-STRAIN STATE OF ECCENTRICALLY COMPRESSED REINFORCED CONCRETE COLUMNS  
OF CIRCULAR CROSS-SECTION

Анализируются теоретические исследования железобетонных внецентренно сжатых колонн круглого сечения по показателям прочности. Данные исследования опираются на использование нелинейной деформационной модели, которая приближает работу бетона к реальным экспериментальным условиям. Приводится сравнительный анализ результатов расчета прочности железобетонных колонн круглого сечения по методике, предложенной в действующем своде правил, авторской программы для определения напряженно-деформированного состояния железобетонной колонны круглого сечения, реализованной в программной среде MathCad. Сравниваются результаты численного эксперимента в виде конечно-элементной модели в программном комплексе Лира-САПР с использованием нелинейной деформационной модели. Расчеты и схемы приведены с учетом возможности проведения экспериментального исследования.

Theoretical studies of reinforced concrete eccentrically compressed columns of circular cross-section on strength indexes are analyzed. These studies rely on the use of a nonlinear deformation model that approximates the work of concrete to real experimental conditions. A comparative analysis of the results of calculating the strength of reinforced concrete columns of circular cross-section is carried out according to the methodology proposed in the current set of rules, is the author's program for determining the stress-strain state of a reinforced concrete column of circular cross-section implemented in the MathCad software environment. The results of a numerical experiment are compared in the form of a finite-element model in the Lira-CAD program complex using a nonlinear deformation model. Calculations and schemes are given taking into account the possibility of conducting an experimental study.

**Ключевые слова:** колонна круглого сечения, внецентренно сжатый элемент, железобетонная колонна, прочность, напряженно-деформированное состояние

**Keywords:** column of circular section, eccentrically compressed element, reinforced concrete column, strength, stress-strain state

Основной целью работы является совершенствование расчета железобетонных колонн круглого сечения и определение их напряженно-деформированного состояния (НДС).

Как известно, форма сечения играет значительную роль в напряженно-деформированном состоянии железобетонного элемента [1]. В исследовании

рассматривалось круглое сечение колонн. Одно из важнейших преимуществ такого сечения заключается в том, что при смещении эксцентриситета от оси приложения нагрузки площадь сжатой зоны бетона остается практически неизменной. При этом железобетонные колонны круглого поперечного сечения оказываются в более выгодном положении при

возникающем случае косога внецентренного сжатия в отличие от колонн прямоугольного сечения.

Применение приведенных в справочном приложении Д (СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003) расчётных формул для ручного инженерного счёта осложнено тем, что значение относительной площади сжатой зоны бетона одновременно входит в уравнения как самостоятельный член и как переменная под знаком синуса. Поэтому для решения данной задачи предпочтительно применение вычислительной техники с организацией итерационных циклов. К недостаткам данного метода расчета можно отнести то, что анализ сечения выполняется только в предельном состоянии, без возможности определения НДС в иных состояниях.

На сегодняшний день нелинейная деформационная модель расчёта, предусматривающая использование диаграмм деформирования бетона и арматуры [2–5], внедрена в различные международные и национальные нормы проектирования железобетонных конструкций. Данный подход к расчёту внецентренно сжатых железобетонных элементов позволяет достаточно точно определить не только несущую способность, но и напряжённо-деформированное состояние поперечного сечения элемента конструкции на всех стадиях загрузки. При расчёте по методу предельных усилий такая возможность отсутствует, а при расчётах с применением

двух- и трехлинейной диаграмм деформирования – ограничена ввиду несоответствия данных диаграмм состояния действительной работе бетона из-за чрезмерного упрощения их представления.

В работах большинства авторов в качестве диаграмм деформирования бетона и арматуры предлагались или совершенствовались ранее предложенные феноменологические зависимости в виде полиномов, степенных, дробных и других функций.

В настоящее время неизученным остаётся вопрос о возможности непосредственного применения диаграмм одноосного сжатия (растяжения) бетона для расчётов конструкций, находящихся в сложнапряжённом состоянии. Исследователи, придерживающиеся мнения о различии диаграмм одноосного сжатия и сложнапряжённого состояния количественно и качественно, указывают на необходимость трансформации диаграмм деформирования бетона при осевом сжатии перед непосредственным использованием в расчётах [6].

Для автоматизации процесса расчета железобетонных колонн круглого сечения вычисления производились в программном комплексе MathCad. В данной среде был разработан алгоритм с применением методов программирования. Предложенный алгоритм представляет собой отдельную программу, которая позволяет производить расчет железобетонных колонн круглого сечения. Расчетная схема для составления уравнений равновесия представлена на рис. 1.

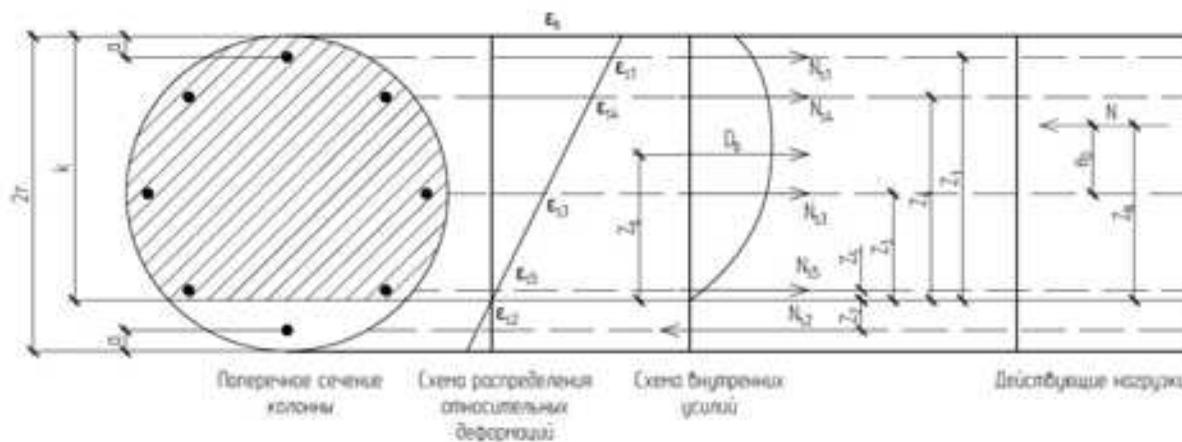


Рис. 1. Схема расчетной модели внецентренно сжатого железобетонного элемента

В алгоритме расчетной программы в качестве диаграммы деформирования бетона использовалась экспоненциальная зависимость, первоначально предложенная профессором Г.В. Мурашкиным для изгибаемых элементов, затем адаптированная для внецентренно сжатых элементов [3, 4]. Расчет происходит без учета влияния гибкости элемента. Исходные данные заносятся в форму заполне-

ния (рис. 2), после чего происходит итерационный расчет и программа выводит результаты в форме таблицы (рис. 3), которая наглядно показывает все интересующие нас величины. Предложенная методика позволяет значительно ускорить время расчета, более того, все изменяющиеся величины вычисляются не в одной заданной точке, а по мере изменения нагрузки.

**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:**

$r = r$	см	радиус сечения колонны
$a = a$	см	расстояние от края колонны до центра тяжести арматурного стержня
$A_s = A_s$	см <sup>2</sup>	площадь одного стержня продольной арматуры
$e_0 = e_0$	см	эксцентриситет внешнего усилия $N$
$R_b = R_b$	МПа	расчетное сопротивление бетона на осевое сжатие
$E_b = E_b$	МПа	нормальный модуль упругости бетона при сжатии
$R_s = R_s$	МПа	расчетное сопротивление арматуры на растяжение
$E_s = E_s$	МПа	модуль упругости продольной арматуры

Рис. 2. Форма заполнения данных для расчета

$\epsilon_b$	K	$\epsilon_{s1}$	$\epsilon_{s2}$	$\epsilon_{s3}$	$\epsilon_{s4}$	$\epsilon_{s5}$	$N_{s1}$	$N_{s2}$	$N_{s3}$	$N_{s4}$	$N_{s5}$	$D_b$	N	$Z_N$	$Z_b$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$M_b$	M,
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Рис. 3. Результаты расчета

Апробация результатов вычислений по предложенной методике проводилась путем их сравнения с результатами расчета по формулам приложения Д (СП 63.13330.2012). В программном комплексе Лира-САПР 2013 были замоделированы два образца, которые загружались продольными силами с различными значениями эксцентриситетов (рис. 4). Для моделирования бетона применялись конечные элементы Типа 234 – физически нелинейный универсальный пространственный шестиузловой изопараметрический КЭ и Типа 236 – физически нелинейный универсальный пространственный восьмиузловой изопараметрический КЭ. Для арматуры в модели использовался Тип 210 – физически нелинейный универсальный пространственный стержневой КЭ. Для равномерного распределения нагрузки по сечению на концах колонн были замоделированы стальные пластины толщиной 5 см, для которых в модели применялись следующие типы конечных элементов: Тип 34 – универсальный пространственный шестиузловой изопараметрический КЭ, Тип 36 – универсальный пространственный восьмиузловой изопараметрический КЭ.

Образцы колонн K1, K2 (см. рис. 4) имеют радиус сечения 15 см и армируются восемью стержнями диаметром 10 мм. Длина образцов составляет 1 м. Расстояние от края колонны до центра тяжести арматурного стержня составляет 3 см. Эксцентриситет приложения продольной нагрузки для колонны K1 был принят равным 3 см, для колонны K2 – 10 см.

При моделировании образцов колонн K1, K2 использовалась экспоненциальная диаграмма деформирования как для бетона, так и для арматуры. Параметры нелинейности бетона и арматуры и их физические характеристики представлены на рис. 5 и 6.

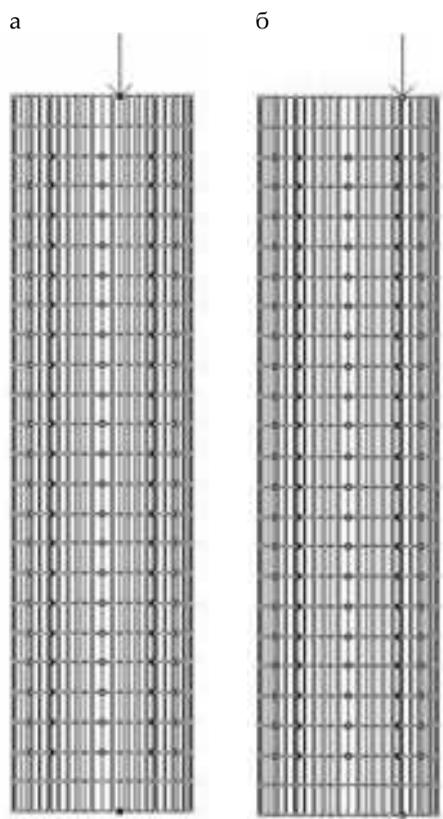


Рис. 4. Образцы численного эксперимента: а – колонна K1 при значении эксцентриситета 3 см; б – колонна K2 при значении эксцентриситета 10 см

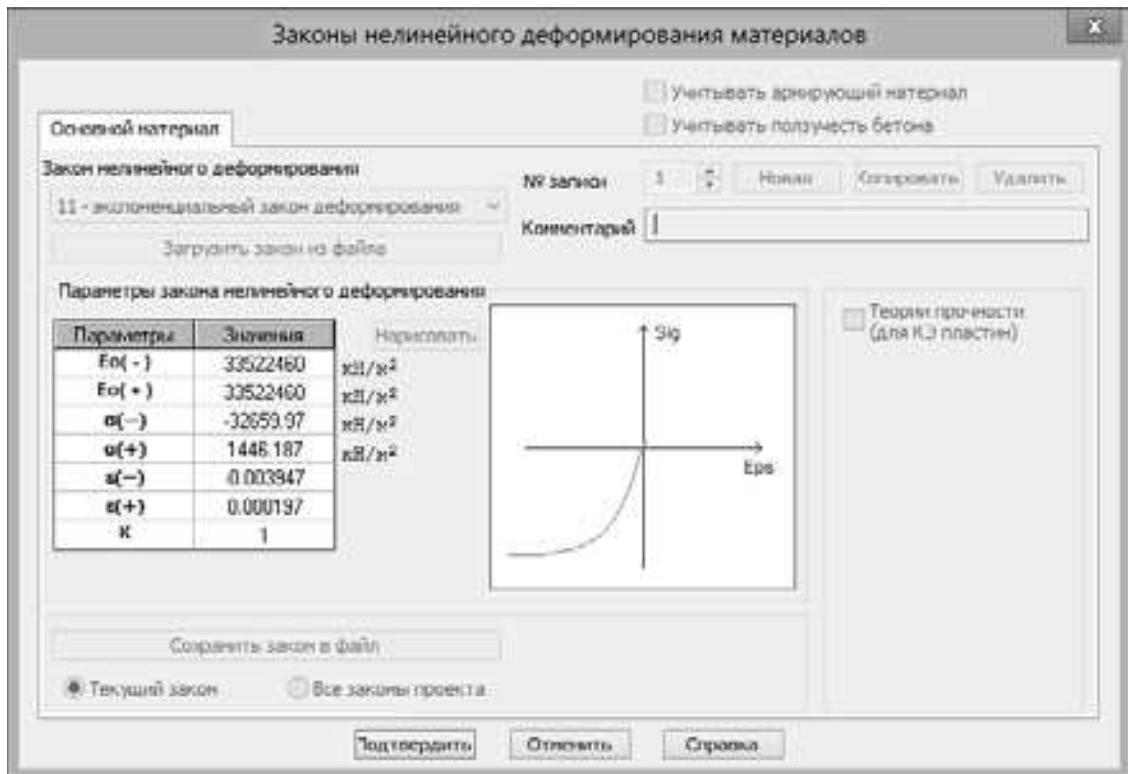


Рис. 5. Параметры нелинейности бетона (физические характеристики бетона)

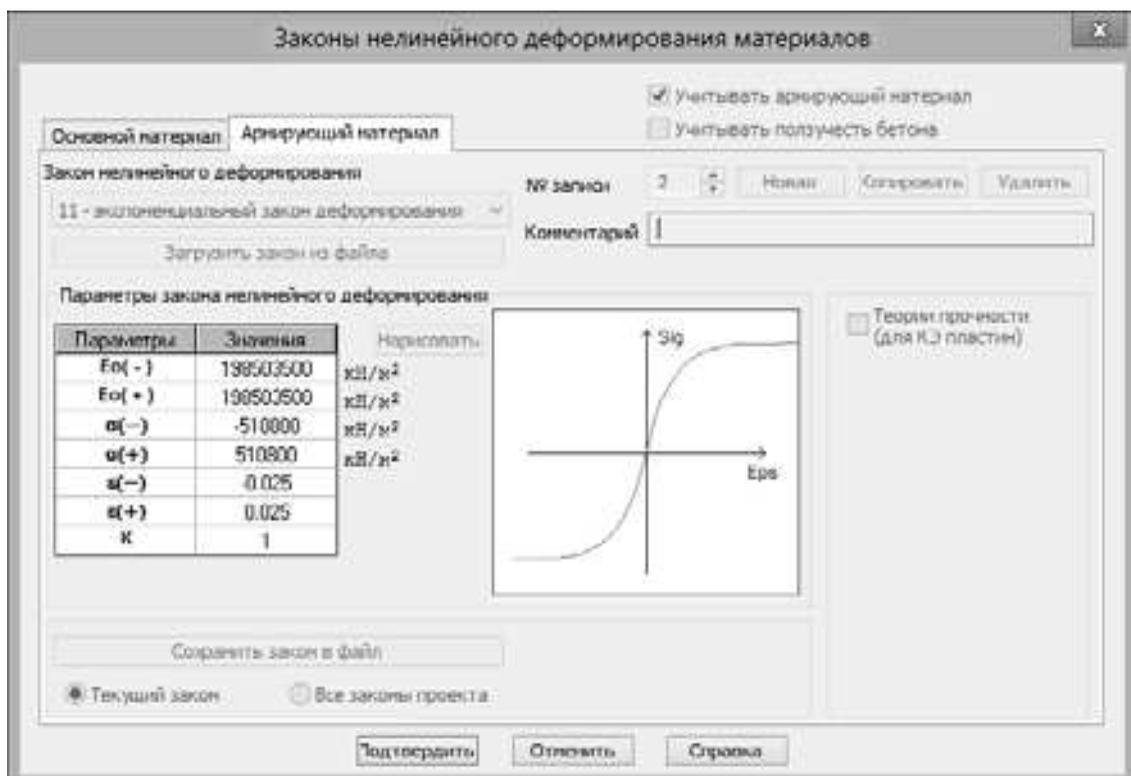


Рис. 6. Параметры нелинейности арматуры (физические характеристики арматуры)

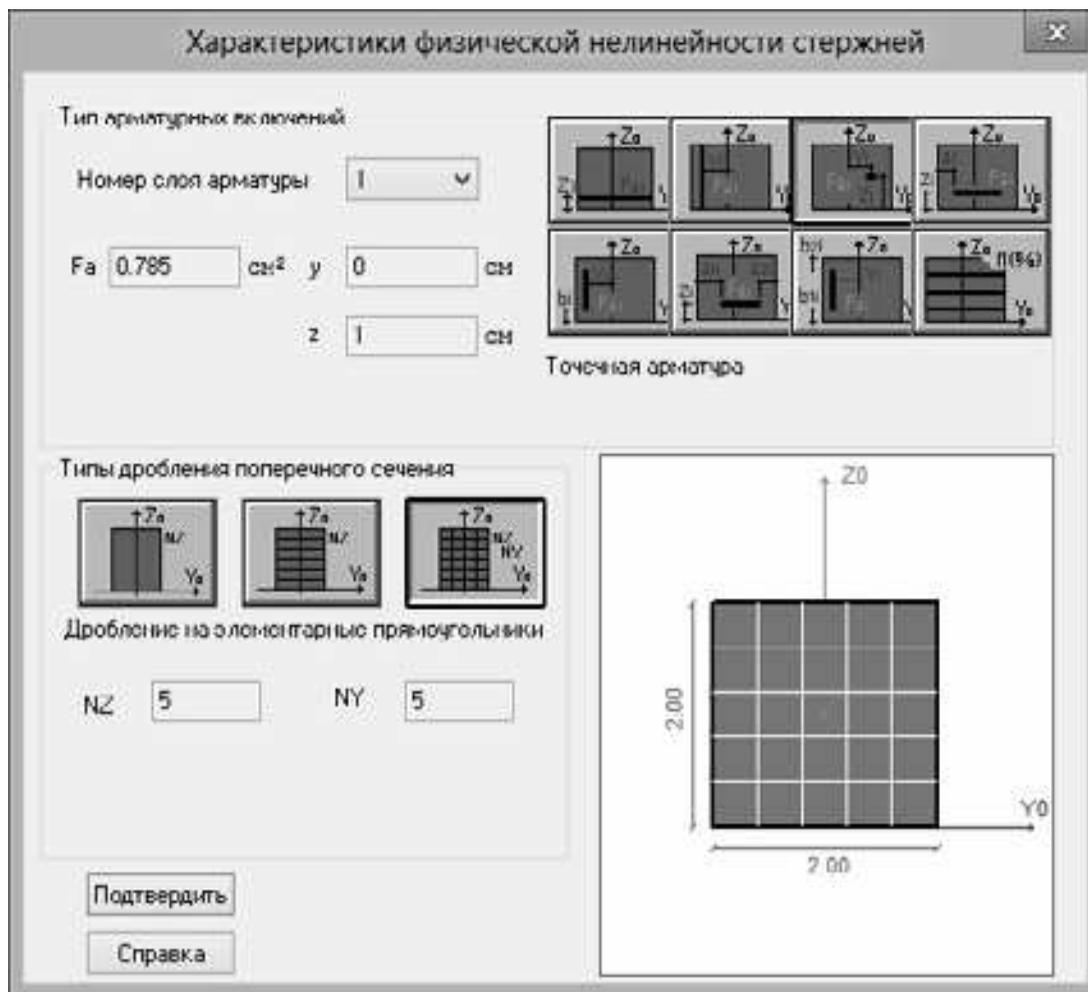


Рис. 6. (Окончание)

Сводная таблица результатов теоретического исследования

Шифр колонны	Методика расчета	Разрушающая нагрузка, кН
K1	Лира-Сапр 2013	2014 (5,2 %)
	СП 63.13330.2012, приложение Д	2037,00 (6,4 %)
	MathCad, авторская программа	1913,30
K2	Лира-Сапр 2013	967,50 (10 %)
	СП 63.13330.2012, приложение Д	912,00 (3,7 %)
	MathCad, авторская программа	879,00

Анализируя результаты исследования, можно сделать следующие **выводы**. Разработан основанный на нелинейной деформационной модели алгоритм, позволяющий определять напряженно-деформированное состояние и прочность железобетонных колонн круглого сечения. На основании данного алгоритма в программной среде MathCad составлена программа

«Расчёт прочности и определение напряженно-деформированного состояния (НДС) внецентренно сжатых железобетонных колонн круглого сечения». Моделирование экспериментальных образцов в Лира-САПР 2013 показало идентичность характера напряженно-деформированного состояния с разработанной расчетной программой (см. таблицу).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Веретенников В.И., Бармотин А.А.* О влиянии размеров и формы сечения элементов на диаграмму деформирования бетона при внецентренном сжатии // Бетон и железобетон. 2000. №5. С. 27–30.
2. *Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В.* Анализ и совершенствование криволинейных диаграмм деформирования бетона для расчета железобетонных конструкций по деформационной модели // Промышленное и гражданское строительство. 2013. №1. С.25–27.
3. *Мурашкин Г.В., Мордовский С.С.* Применение диаграмм деформирования для расчёта несущей способности внецентренно сжатых железобетонных элементов // Жилищное строительство. 2013. №3. С. 38–40.
4. *Мордовский С.С.* Совершенствование расчёта прочности внецентренно сжатых железобетонных элементов: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2013. 214 с.
5. *Тошин Д.С., Анисимова М.П.* Поиск оптимального способа реализации итерационного приближения при расчете по деформационной модели // Научное обозрение. 2016. №17. С. 25–29.
6. *Крусь Ю.А.* Трансформирование диаграмм деформирования бетона при центральном сжатии и растяжении // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2008. №7. С. 113–122.

Об авторах:

**МОРДОВСКИЙ Сергей Сергеевич**  
доцент кафедры строительных конструкций  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

**MORDOVSKY Sergey S.**  
Associate Professor of the Building Structures Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Civil Engineering and Architecture  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: qaer1@yandex.ru

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

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

Для цитирования: *Мордовский С.С., Давликамов Р.И.* Напряженно-деформированное состояние внецентренно сжатых железобетонных колонн круглого сечения // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С. 4-9. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.1.

For citation: *Mordovsky S.S., Davlikamov R.I.* Stress-strain state of eccentrically compressed reinforced concrete columns of circular cross-section // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 4-9. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.1.

**И.К. РОДИОНОВ**  
**И.И. РОДИОНОВ**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СВАРКИ ПРИ УСИЛЕНИИ СТАЛЬНЫХ ФЕРМ ПОКРЫТИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ**

TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF WELDING DURING THE REINFORCEMENT  
OF STEEL TRUSSES COVERING INDUSTRIAL BUILDINGS

*Представлены основные положения рациональных технологий усиления методом увеличения сечения сжатых и растянутых стержней из парных уголков стропильных ферм покрытия промышленных зданий. Дано обоснование технологий с позиции имеющегося в данном случае теплового влияния сварки. Приведены критерии безопасного проведения сварочных работ при любом уровне нагрузки. Теоретически обоснованы преимущества данной технологии над известными технологическими схемами. На конкретном примере рассмотрены вопросы существующей в данном случае взаимосвязи технических, экологических и экономических аспектов.*

**Ключевые слова:** покрытия промышленных зданий, растянутые и сжатые стержни, реконструкция, стальные фермы, сварочные технологии, технологические параметры сварки, усиление стержней методом увеличения сечений, экологические и экономические показатели, эксплуатация промышленных зданий

Проблемам усиления стальных конструкций, в том числе стропильных ферм, уделяется значительное внимание. Это связано и с недостаточностью знаний в этой области и далеко не единичными случаями аварий.

При эксплуатации промышленных зданий наиболее часто имеет место обрушение покрытий. Причиной может явиться перегрузка стропильных ферм, в частности пылевыми корками, снегом, и наличие различного вида дефектов. Для предотвращения аварий требуется проведение периодических обследований конструкций стальных ферм с целью определения их действительного напряженного состояния, необходимости проведения усиления.

Значительное большинство стальных ферм покрытий промышленных зданий – фермы со стержнями из парных уголков. Усиление их достигается часто и эффективно путем увеличения сечения стержней присоединением дополнительных стержневых элементов на сварке.

Сварка конструкций, находящихся под нагрузкой, – это непростой вопрос для эксплуатационников. Причиной является разноречивость известных

*The main provisions of rational reinforcement technologies are presented by the method of increasing the cross-section of compressed and stretched rods from pairs of rafter trusses covering industrial buildings. The justification of the technology is given from the position of the available thermal effect of welding in this case. Criteria are given for the safe conduct of welding operations at any level of load. Theoretically, the advantages of this technology over known technological schemes are substantiated. On a concrete example the issues of the present interrelation of technical, ecological and economic aspects are considered.*

**Keywords:** coatings of industrial buildings, stretched and compressed rods, re-construction, steel trusses, welding technologies, technological parameters of welding, strengthening of rods by increasing the cross-sections, environmental and economic losses, exploitation of industrial buildings

рекомендаций по усилению, предлагающих самые различные сварочные технологии (протяженность швов, порядок их наплавки...) и разные величины предельно допускаемых при усилении усилий в стержнях: от 0,4 [1, с. 50, 54] до 0,8 [2, с. 443], [3, с. 459] от расчетной несущей способности.

Такое положение объясняется, в целом, состоянием исследований в области усиления. Абсолютное большинство известных работ посвящено напряженному состоянию усиленных конструкций. Среди них можно отметить монографии [4, 5], Напряженное состояние в момент усиления, т. е. с позиции влияния сварки, комплексно не исследовалось. Известные исследования тепловых ослаблений, сварочных напряжений в области усиления чаще всего посвящались сварке ненапряженных элементов.

Отличительной особенностью работ, проводимых в Тольяттинском государственном университете (ТГУ), является исследование процесса усиления, в частности, влияния технологических параметров сварки на несущую способность усиливаемых ферм.

Все теоретические исследования базируются на математическом аппарате механики, теории

теплопроводности и теплообмена. Исследования тепловых ослаблений сечений проводились с использованием положений теории распространения тепла при сварке академика Н.Н. Рыкалина. В основу исследований сварочных напряжений, деформаций, развивающихся в сжатых усиленных стержнях, положен метод «фиктивных температур» профессора В.С. Игнатъевой. Для оценки экономической стороны вопроса принята методика оценки экономической целесообразности проведения усиления профессора Н.С. Стрельцкого.

Экспериментальные исследования и промышленная апробация теоретических положений работы осуществлялись на натурной конструкции стальной фермы и отдельных натуральных стержнях с применением стандартных и широко апробированных методик испытания и аппарата математической статистики.

Один из результатов исследований – разработка рациональных технологий сварки для случаев усиления стержней из парных уголков стальных ферм покрытий промышленных зданий [6].

В основе технологий был принят, впервые в области усиления, подход к сварочному процессу как регулируемому, варьированием параметров которого можно улучшить работу стержней ферм как в процессе усиления, так и усиленных. В частности, разработаны технологии, позволяющие производить усиление стержней стропильных уголковых ферм при полных расчетных нагрузках.

Технический результат заключается в повышении эффективности методов усиления стержней путем увеличения сечений: снижение массы наплавленного металла, уменьшение трудоемкости работ, выполняемых на высоте, возможность проведения усиления при любых эксплуатационных нагрузках, включая предельные расчетные.

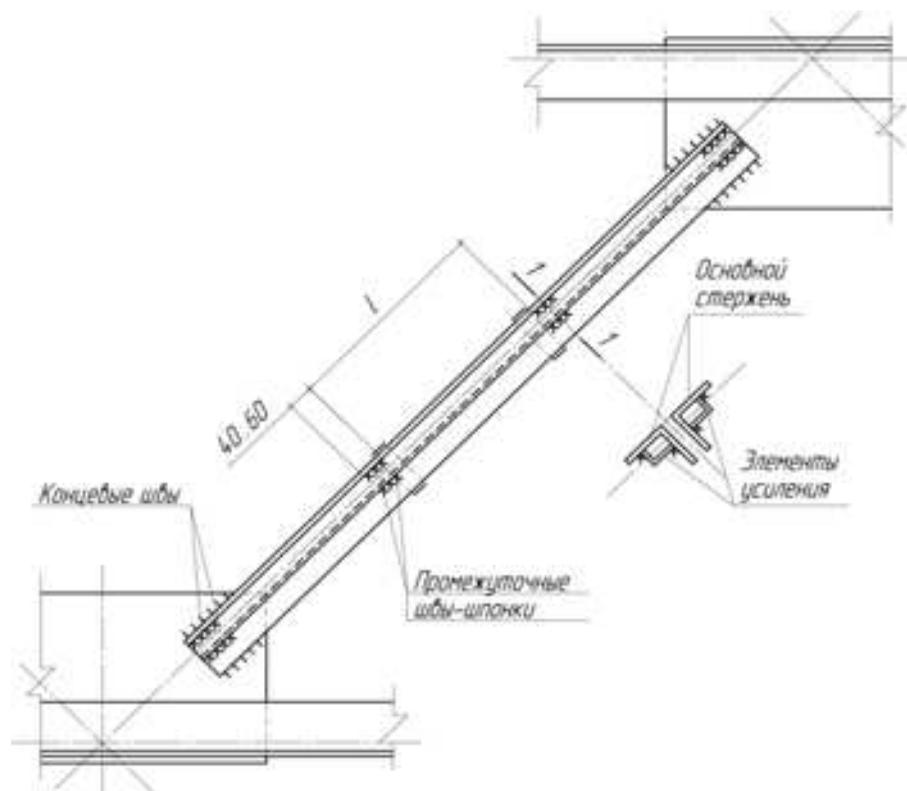


Рис. 1. К вопросу технологий усиления стержней

Этот результат достигается тем, что присоединение дополнительных стержней производят (после сборки на прихватках) швами-шпонками, наплавленными в нескольких сечениях (рис. 1): в двух по концам (концевые швы) и нескольких промежуточных (промежуточные). Первоначально – концевые швы в пределах фасонки с наплавкой от концов основных стержней к середине; затем наплавка про-

межуточных швов в перекрестном относительно центра тяжести сечения порядке.

Размеры концевых швов определяют из условия восприятия сдвигающего усилия, равного разности усилия после усиления (после увеличения нагрузки) и усилия в стержне в момент усиления.

Промежуточные швы определяют как минимальные связующие из условия обеспечения

совместности работы основных и усиливающих элементов после усиления. Длина каждого шва-шпонки (см. рис. 1) – 40 – 60 мм (свод правил СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*, п. 14.1.7, в); расстояние между швами  $l \leq 40i$  и  $l \leq 80i$  – соответственно для сжатых и растянутых стержней (свод правил СП 16.13330.2011, п. 7.2.6), где  $i$  – радиус инерции одного уголка усиления относительно оси, параллельной плоскости расположения прокладок.

Условие обеспечения несущей способности растянутого стержня при усилении будет определяться по сечению 1–1 (см. рис. 1) и иметь вид:

$$N \leq [N] + (A_y \sigma_m^y - A_y^{c6} \sigma_m^y - A_o^{c6} \sigma_m^o), \quad (1)$$

где  $N$  – усилие в момент усиления;  $[N]$  – несущая способность основного (растянутого) стержня;  $\sigma_m^o, \sigma_m^y$  – пределы текучести стали соответственно основного стержня и элемента усиления;  $A_y$  – площадь сечения элемента усиления;  $A_o^{c6}, A_y^{c6}$  – площадь теплового ослабления сечения соответственно основного и усиливающего элементов.

Можно заметить, что для проведения усиления при усилении в стержне, равном его несущей способности, необходимо выполнение условия

$$A_o^{c6} \sigma_m^o \leq (A_y - A_y^{c6}) \sigma_m^y, \quad (2)$$

т. е. ослабление сваркой основного стержня должно быть компенсировано по прочности частью сечения элемента усиления, не ослабленного сваркой.

Условие обеспечения несущей способности сжатого стержня при усилении будет определяться по сечению 1–1 (см. рис. 1) и иметь вид:

$$N \leq k [N_{ycm}^o] + \varphi_{min}^1 (A_y - A_y^{c6}) \sigma_m^y, \quad (3)$$

где коэффициент теплового ослабления  $k < 1$  определяется как

$$k = \varphi_{min}^1 / \varphi_{min}^o (1 - A_o^{c6} / A_o). \quad (4)$$

В формулах (3), (4) приняты следующие обозначения:  $N$  – усилие в стержне в момент усиления;  $[N_{ycm}^o]$  – несущая способность стержня до усиления;  $\varphi_{min}^o$  – минимальный коэффициент продольного изгиба основного стержня до усиления;  $\varphi_{min}^1$  – минимальный коэффициент продольного изгиба усиливаемого стержня в момент усиления.

Таким образом, как показывает неравенство (3), усиление сжатого стержня также возможно при усилении в нём, равном несущей способности. Для этого необходима компенсация по устойчивости потерь несущей способности усиливаемого стержня сечениями элементов усиления, не ослабленными сваркой.

Величина теплового ослабления стержней (усиливаемых и усиливающих) может быть определена площадью сечений, которая выключится в процессе

сварки из работы, т.е. потеряет способность сопротивляться развитию деформаций. Температура, при которой материал становится неспособным к сопротивлению, называется расчётной. Для низкоуглеродистой стали такой температурой считается  $T_p = 600$  °С.

Данные технологии усиления были подтверждены экспериментально: на 18 натуральных сжатых стержнях, 18 растянутых моделях, на стержнях в конструкции фермы. Некоторые результаты закреплены авторскими свидетельствами.

Цель данной статьи – показать на примере технологий усиления [6] существующую в данном случае взаимосвязь технических, экономических и экологических аспектов.

Какова же экономическая значимость предлагаемых технологий? Для ответа на этот вопрос в качестве базового можно принять методику оценки экономической целесообразности проведения усиления профессора Н.С. Стрелецкого. Приведём основные её положения, изложенные в [1, с. 10, 11].

Любое усиление связано с затратами металла  $\Delta G$ . Срок эксплуатации здания, сооружения возрастает на величину  $t_2 - t_1 = \Delta t$ , пока не будет достигнута его предельная продолжительность. Последняя определяется состоянием конструкции и экономическими требованиями в целом.

Количество и величину усилений можно получить из сравнения затрат:

$$C_y = \sum c_i \Delta G_i \psi_i, \quad (5)$$

где  $C_y$  – затраты на усиление;  $C_i$  – единичная стоимость работ и материалов при усилении;  $\Delta G_i$  – количество металла, необходимого для усиления;  $\psi_i$  – коэффициент возможной одновременности затрат (поскольку они производятся в разные сроки).

Если имеются убытки  $U_y$ , которые несёт предприятие от стесненных в результате производимого усиления условий, возможной остановки производства, то полные затраты на усиление составят:

$$C_y = \sum (c_i \Delta G_i + U_i) \psi_i. \quad (6)$$

Эти затраты погашаются стоимостью количества продукции  $P_y$  получаемой в результате продления срока эксплуатации. Баланс стоимости определяется по формуле

$$\sum (c_i \Delta G_i + U_i) \psi_i = \sum P_o C_n, \quad (7)$$

где  $C_n$  – единичная стоимость продукции предприятия.

Следовательно, предельная стоимость усиления  $C_y^{np}$  будет выражаться как

$$C_y^{np} = \sum c_i \Delta G_i \psi_i \leq \sum P_o C_n - \sum U_i \psi_i. \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что если второй член правой части неравенства  $\sum U_i \psi_i$  приближается к нулю, усиление в подавляющем большинстве случаев будет экономически выгодно, так как  $\sum c_i \Delta G_i \psi_i$  чаще всего меньше  $\sum P_0 C_n$ .

Отсюда в [1] делается вывод, что «из способов усиления более экономичными оказываются те, применение которых предусматривает наименьшие потери в стоимости продукции предприятия из-за нарушения технологии или остановки производства во время строительно-монтажных работ по усилению».

Переходя от общих позиций, изложенных в [1], к проблеме усиления ферм покрытий промышленных зданий, следует отметить, что эксплуатация стропильных ферм имеет одну существенную отличительную особенность: фермы работают в условиях значительных постоянных нагрузок, доходящих с учетом загрязненности покрытий до величин, близких к полным расчетным. Подтверждением этого являются неоднократные аварии, связанные с потерей несущей способности стропильных ферм в результате перегрузок в зимнее время.

Ряд рекомендаций требует до 40–60 % разгрузки усиливаемых ферм. Таким образом, для усиления становится необходимой разборка довольно значительной части покрытия.

В этой связи неравенство (7) в случае усиления стальных ферм покрытия может быть записано в виде:

$$\sum (c_i \Delta G_i + U_i + C_p + C_3) \psi_i \leq \sum P_0 C_n, \quad (9)$$

где  $C_p$  – стоимость работ, вызываемых возможной разгрузкой усиливаемых конструкций;  $C_3$  – стои-

мость работ по восстановлению экологически чистой среды обитания, нарушенной в результате разгрузки конструкций, требовавших усиления.

Таким образом, общая стоимость работ, связанных с усилением, выполняемым по традиционным технологиям, определяется как

$$\sum (c_i \Delta G_i + C_p + C_3) \psi_i \leq \sum P_0 C_n - \sum U_i \psi_i. \quad (10)$$

Проанализируем, как изменится это неравенство в случае применения при усилении сварочных технологий, разработанных в ТГУ.

Применение технологий даёт следующее:

- уменьшается расход металла на 10–15 %, и, таким образом, имеет место уменьшение величины  $\sum c_i \Delta G_i$ ;
- исключается разгрузка усиливаемых конструкций –  $C_p = 0$ ;
- – исключаются связанные с разгрузкой нарушения экологии –  $C_3 = 0$ ;
- – исключается вызываемая разгрузкой ферм стесненность производства, частичная или, тем более, полная его остановка, т. е.  $\sum U_i \psi_i = 0$ .

Неравенство (10) примет в этой связи следующий вид:

$$\sum c_i \Delta G_i \psi_i \ll \sum P_0 C_n, \quad (11)$$

иными словами, очевидна экономическая целесообразность применения разработанных сварочных технологий для случаев усиления стальных ферм покрытий промышленных зданий.

Проиллюстрируем изложенное на конкретном примере (рис. 2): требуется усиление стальных угловых ферм покрытия промышленного здания; раз-

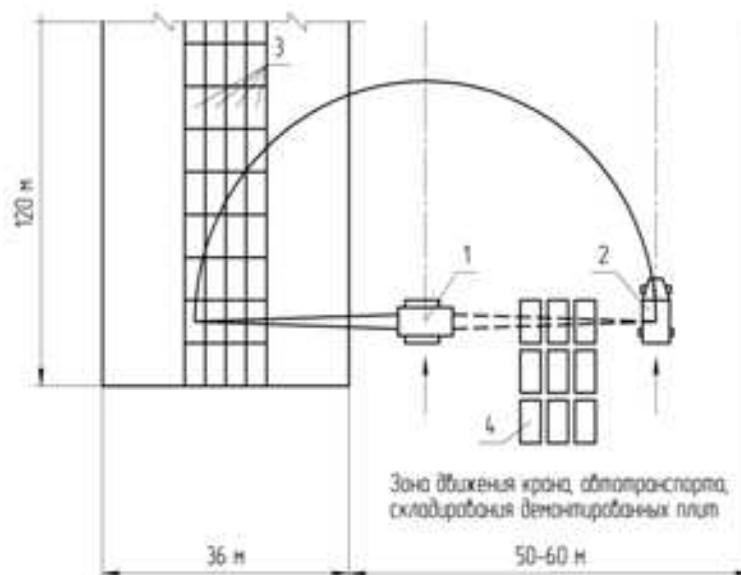


Рис. 2. К вопросу прямых экологических нарушений:

- 1 – гусеничный кран; 2 – грузовая автомашина;  
3 – плиты покрытия, подлежащие демонтажу; 4 – складированные плиты

меры здания в плане 120×36 м; несущие конструкции ограждения – ребристые плиты 3×6 м; теплоизоляция – керамзитобетон толщиной 180 мм; кровля – трёхслойный, армированный гравием гидроизоляционный рулонный ковёр.

Для проведения усиления по традиционным технологиям необходима разгрузка ферм: разборка покрытия на площади порядка 1080 м<sup>2</sup>. Таким образом, появляется необходимость выполнения следующих работ: разборка кровли и теплоизоляции, демонтаж плит покрытия, укладка плит, устройство пароизоляции, теплоизоляции, стяжки, кровли, погрузка, перевозка и разгрузка строительного мусора, восстановление зелёных насаждений, газонов, тротуаров и т. п.

В соответствии с локальным ресурсным сметным расчетом стоимость этих работ только по одному, сравнительно небольшому, объекту составит около 6,5 млн. рублей в ценах на январь 2017 г. В случае применения разработанных технологий усиления разгрузку ферм можно избежать. Таким образом, вышеприведённая сумма будет сэкономлена для государства.

Экономия, полученная в результате исключения разгрузки усиливаемых ферм, является лишь малой частью от суммарного экономического эффекта. С учётом экономии металла, обеспечения непрерывности производства, добавочно выпущенной промышленной продукции, исключения затрат на экологические потери экономический эффект возрастает в десятки раз.

На вышеприведённом примере рассмотрим и экологическую значимость применения разработанных технологий усиления. В случае усиления по традиционным технологическим схемам необходима была бы разгрузка ферм от части покрытия и, следовательно, отчуждение полосы земли вдоль здания шириной до 50–60 м (см. рис. 2). Полоса включает в себя зоны движения крана, складирования плит, движения грузового автотранспорта.

Фактически, это есть не что иное, как полоса прямых экологических нарушений: уничтожения биомассы, заражения почвенного слоя земли, грунтовых и подземных вод. С учётом временных дорог общая площадь прямых нарушений среды составит около 1,5 га.

Далее, только в зоне демонтажа в результате работы крана, бульдозера, грузового транспорта будет иметь место загрязнение окружающего воздуха выхлопными газами в объёме более 200 тыс. м<sup>3</sup>: окисью и двуокисью углерода, окисью азота, углеводородами, альдегидами, сернистым газом, сажей, канцерогенами типа бензпирен, свинцом и его соединениями, фотохимическим смогом. Для затребованных машин по самым скромным подсчётам потребуется сжигание более 9 млн. л кислорода.

Все эти экономические затраты и экологические нарушения будут предотвращены при применении

разработанных технологий усиления. И это только на одном небольшом объекте промышленности. Таких же объектов, требующих реконструкции, в Российской Федерации десятки тысяч. И количество их отнюдь не уменьшается с течением времени.

Нельзя обойти и ещё одну чрезвычайно важную сторону экологической и экономической значимости результатов проведённых исследований. Речь пойдёт об опасности глобальной экологической катастрофы, вполне реально нависшей над миром. Эта опасность ставит перед человечеством жизненно важную задачу поиска путей, средств, методов защиты и сохранения окружающей среды. Она заставляет взглянуть на все процессы жизнедеятельности с совершенно других, критических точек зрения, позволяет увидеть порой значительный негатив в том, что при обыденном рассмотрении казалось абсолютно положительным.

В частности, огромные объёмы нового строительства, вчера ещё казавшиеся прорывом в будущее, при внимательном рассмотрении с позиции экологии открывают качественно новую картину.

Неизбежные при новом строительстве земляные работы, временные дороги, отвалы грунта, склады конструкций, стоки нефтепродуктов, выхлопные газы, токсичные вещества являются в действительности нарушением природного ландшафта, отравлением атмосферы, земли, грунтовых и подземных вод, уничтожением биомассы, т. е. оказываются ничем иным, как самым настоящим разрушением среды обитания человека.

Очевидная с позиции экологии необходимость сокращения нового строительства сталкивается, однако, с не менее очевидной необходимостью увеличения промышленного производства.

Выход из этого положения видится в более интенсивном использовании огромного парка существующих промышленных зданий и сооружений. Но здесь есть серьёзное препятствие: значительное число эксплуатируемых промышленных корпусов претерпело к настоящему времени моральный или, что более серьёзно, физический износ.

Таким образом, попыткам технического перевооружения промышленных зданий, связанного зачастую с увеличением нагрузок на каркасы, препятствует недостаточная несущая способность, а порой и откровенно аварийное состояние строительных конструкций. Следует особо отметить, что физический износ носит прогрессирующий характер, отсюда прогрессирующая вероятность аварий, каждая из которых может привести к серьёзным и экологическим, и экономическим последствиям.

**Вывод.** Всё вышесказанное подтверждает важность самого серьёзного внимания, которое следует уделять вопросам реконструкции, включая разработку методик расчёта, способов и технологий работ по усилению элементов и частей промышленных зданий и сооружений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бельский М.Р., Лебедев А.И. Усиление металлических конструкций под нагрузкой. Киев: Будівельник, 1975. 120 с.

2. Металлические конструкции: в 3 т. Т. 2. Конструкции зданий / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов, Г.И. Белый и др.; под ред. В.В. Горева. 2-е изд. испр. М.: Высш. шк., 2002. 443 с.

3. Металлические конструкции / Ю. И. Кудишин [и др.] ; под ред. Ю. И. Кудишина. 11-е изд., стер. М.: Академия, 2008. 681 с.: ил.

4. Демидов Н.Н. Усиление стальных конструкций [Электронный ресурс]. М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ, 2016. 85 с. (дата обращения: 22.02.2018).

5. Яковлева М.В. Строительные конструкции. Подготовка, усиление, защита от коррозии. М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 200 с.

6. Родионов И.К. Сварочные технологии регулирования напряженного состояния усиливаемых сжатых стержней стальных ферм покрытий: монография. Самара, 2006.

Об авторах:

### **РОДИОНОВ Игорь Константинович**

кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства и городского хозяйства  
Тольяттинский государственный университет  
Архитектурно-строительный институт  
445020, Россия, г. Тольятти, ул. Ушакова, 59,  
тел. (917) 129-71-55  
E-mail: rikilt@mail.ru

### **RODIONOV Igor K.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Industrial and Civil Engineering and Urban Management Chair  
Togliatti State University  
Institute of Architecture and Civil Engineering  
tel. (917) 129-71-55  
E-mail: rikilt@mail.ru

### **РОДИОНОВ Игорь Игоревич**

менеджер отдела закупок ООО «ТСК».  
443011, Россия, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 160,  
тел. (927) 011-61-63  
E-mail: Inmylave@mail.ru

### **RODIONOV IGOR I.**

Manager of the purchasing department,  
LLC «TSK»  
tel. (927) 011-61-63  
E-mail: Inmylave@mail.ru

Для цитирования: Родионов И.К., Родионов И.И. Технологические параметры сварки при усилении стальных ферм покрытия промышленных зданий // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С. 10-15. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.2.  
For citation: Rodionov I.K., Rodionov I.I. Technological parameters of welding during the reinforcement of steel trusses covering industrial buildings // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 10-15. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.2.

Г.Н. РЯЗАНОВА  
Д.М. ПОПОВА

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ВОЗВЕДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ МОНОЛИТНОГО БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

### ANALYSIS OF EXISTING METHODS OF CONSTRUCTION FROM MONOLITHIC CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE IN WINTER CONDITIONS

Рассмотрены преимущества монолитного бетона и железобетона по сравнению с традиционными технологиями. Дана оценка структуры строительных технологий. Приведен анализ основных методов зимнего бетонирования с разработкой структуры обогревного и безобогревного методов. Описаны основные методы выдерживания бетона и железобетона при отрицательных температурах окружающей среды. Разработан алгоритм оценки методов зимнего бетонирования по технико-экономическим показателям: затратам труда и расходу электроэнергии. Намечены перспективы разработки с учетом технико-экономической эффективности варианта комбинирования безобогревного и обогревного методов для дальнейшего исследования.

**Ключевые слова:** зимнее бетонирование, методы прогрева бетона, монолитный бетон, железобетон, метод «термоса», противоморозные добавки в бетон, прогрев в тепляках, инфракрасный обогрев, электродный прогрев

Возведение зданий и сооружений из монолитного бетона и железобетона прочно вошло в практику современного строительства, имея неоспоримые преимущества перед другими технологиями [1–6]:

- независимость возведения монолитных конструкций от стандартных шагов, что позволяет архитекторам и проектировщикам не привязываться к стандартным типоразмерам конструкций и быть свободными в принятии проектных решений;

- применение монолитных конструкций позволяет существенно уменьшить толщину стен и перекрытий и, как следствие этого, уменьшается нагрузка на фундаменты, что снижает стоимость их устройства. Учитывая, что их стоимость составляет более трети стоимости возведения объекта, – это немаловажный фактор;

- производство работ организовывается непосредственно на строительной площадке, что существенно облегчает логистику доставки материалов. При четко отработанной схеме доставки возведение конструкций выполняется в более короткие сроки по сравнению со сборным строительством;

- монолитное строительство позволяет устраивать практически бесшовную конструкцию, что ска-

*The advantages of monolithic concrete and reinforced concrete in comparison with traditional technologies are considered. The evaluation of the structure of construction technology is given. The analysis of the main methods of winter concreting with the development of the structure of heating and non-heating methods is given. The main methods of maintaining concrete and reinforced concrete at negative ambient temperatures are described. An algorithm for estimating the methods of winter concreting for technical and economic indicators is developed: labor costs and electricity consumption. Prospects for the development taking into account the technical and economic effectiveness of the option of combining non-heating and heating methods for further investigation are outlined.*

**Keywords:** winter concreting, concrete heating methods, monolithic concrete, reinforced concrete, thermos method, antifreeze additives to concrete, heating in hothouses, infrared heating, electrode heating

зывается на повышении показателей тепло- и звукопроницаемости, а также долговечности;

- расход цемента и арматуры в несущих конструкциях снижается в среднем на 20 %;

- энергоемкость производства работ снижается на 30 %;

- капитальные вложения в производственную базу уменьшаются на 50–60 % по сравнению со сборной и кирпичной технологиями;

- практика строительства показывает, что при применении монолитных конструкций по сравнению со сборными конструкциями из других материалов можно более широко использовать возможности объемно-планировочных решений, а также более эффективно организовать поточную систему работ с применением механизации строительных процессов, что в конечном итоге ведет к снижению стоимости строительства.

Строительные технологии возведения зданий и сооружений в России в настоящее время можно условно изобразить в виде диаграммы (рис. 1), которая отражает приоритет некоторых технологий. В частности, рост монолитного строительства занимает третью часть в структуре применяемых технологий.

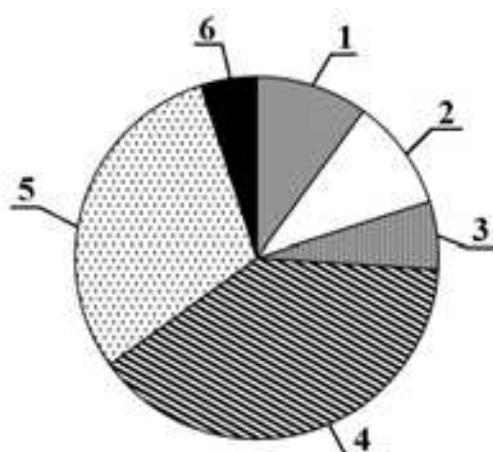


Рис. 1. Структура строительных технологий с применением различных материалов при возведении зданий в России:

- 1 – сборный железобетон 10 %;
- 2 – металлические конструкции 10 %;
- 3 – дерево и древесно-цементные композиционные материалы 6 %;
- 4 – монолитные бетон и железобетон 39 %;
- 5 – кирпич и теплоэффективные блоки 30 %;
- 6 – другое, в т.ч. пенополистирол 5 %

Климат на большей территории России характерен холодными и продолжительными зимами со среднегодовой температурой минус 5 °С, при этом

показатели ГОСП (градусо-сутки отопительного периода) в средней полосе России – 5000, тогда как в Германии – 3200, США – 2700, Швеции – 4000. Период с отрицательными температурами окружающей среды в отдельных регионах России составляет 6 и более месяцев, а температура достигает минус 40...минус 50 °С. При этом объемы строительства, реализуемые в стране, требуют непрерывного и всесезонного производства работ. Зная, что зимними условиями для возведения монолитных конструкций считаются периоды со среднесуточной температурой 0 °С и минимальной суточной минус 5 °С, необходимо использовать методы зимнего бетонирования. Использование таких методов позволяет круглогодичную организацию работ при возведении монолитных конструкций, поскольку нивелирует сложности, возникающие с отрицательным влиянием замораживания бетона на ранней стадии твердения. На сегодняшний день разработано и применяется достаточное количество способов зимнего бетонирования. Таким образом, мы имеем возможность подобрать для каждой конструкции в зависимости от ее габаритов и конфигурации, а также параметров окружающей среды наиболее подходящий вариант.

В настоящее время выделяют два основных метода зимнего бетонирования – безобогревный и обогревный, что представлено в структуре методов зимнего бетонирования на рис. 2.



Рис. 2. Структура методов зимнего бетонирования

Безобогревный метод не предусматривает дополнительного внесения тепла в процесс выдерживания бетона, к нему относят метод «термоса» и технологию применения бетонов с противоморозными добавками. Обогревный метод основан на дополнительном подводе тепла к бетону в процессе его выдерживания до требуемой прочности.

**Метод «термоса»** относится к безобогревному методу зимнего бетонирования. Суть его заключается в создании для бетона благоприятных температурных условий, обеспечивающих достижение к моменту остывания поверхностных слоев конструкции до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  как минимум «критической прочности». Достичь цели помогает тепло, внесенное в бетонную смесь, которая должна иметь температуру плюс  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$  на выходе при ее изготовлении, тепло, выделенное в бетоне вследствие гидратации цемента за период остывания, а также утепленная опалубка.

К достоинствам метода «термоса» можно отнести: простоту, отсутствие необходимости применения специального оборудования и экономичность. Среди недостатков можно отметить: существенные потери при транспортировании; длительный промежуток времени набора требуемой прочности; ограниченность применения для тонкостенных конструкций.

Дополнительные мероприятия, необходимые для возведения опалубки, показаны на рис. 3.

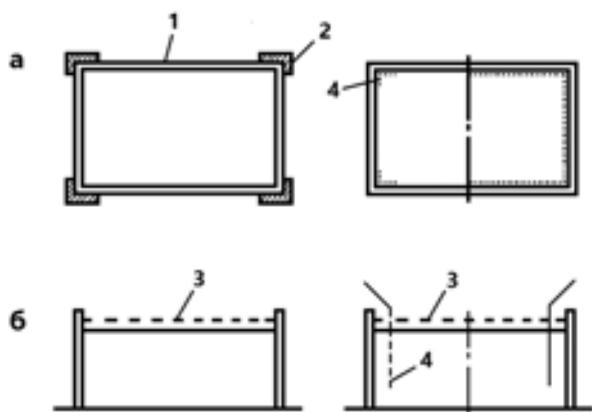


Рис. 3. Дополнительные мероприятия по утеплению блоков опалубки в методе «термоса»:

- а – планы; б – разрезы; 1 – утепленная опалубка;  
2 – утепление углов; 3 – укрытие;  
4 – электрообогрев углов [7]

Метод с использованием **противоморозных добавок** относится к безобогревному типу бетонирования и заключается во введении в бетонную смесь водных растворов противоморозных добавок. Этот метод был разработан в СССР в 1940-е гг. и применяется до сих пор. На данный момент в строительстве используются несколько сотен различных видов противоморозных добавок.

Известно много веществ, водные растворы которых не замерзают при  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , как это происходит с водой. Например, концентрированные растворы этилового спирта ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) замерзают при температуре минус  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хлористого кальция ( $\text{CaCl}_2$ ) – при минус  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ , углекислого калия ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) – при минус  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ , хлористого натрия ( $\text{NaCl}$ ) – при минус  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ , нитрита натрия ( $\text{NaNO}_2$ ) – при минус  $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Если бетонную смесь затворить водой с добавлением водного раствора такого вещества (их также называют антифризами), то бетон будет твердеть при отрицательных температурах окружающей среды. К антифризам предъявляются жесткие требования, они должны быть не ядовиты; не оказывать отрицательного влияния на структуру и свойства бетона, его долговечность; не вызывать коррозии арматуры; не являться дефицитными и дорогостоящими; должны обеспечивать твердение бетона при отрицательных температурах.

В настоящее время в нашей стране исследованы, проверены в производственных условиях и одобрены к применению для бетона следующие добавки: хлористый кальций, хлористый натрий, поташ, нитрит натрия, формиат натрия, Асол-К. Все перечисленные антифризы (кроме хлористых солей) могут применяться и в железобетонных конструкциях. Растворы хлористых солей не используются в качестве добавок, так как могут вызвать коррозию стальной арматуры.

Одним из основных недостатков метода применения бетонов с противоморозными добавками является длительный период отверждения бетона в опалубке (от 1 до 3 месяцев). Однако это не мешает с успехом применять его в наши дни для предохранения бетона от замерзания при транспортировке и укладке.

Суть **обогревных методов** заключается в повышении температуры уложенного бетона до максимальных показателей и последующем поддержании заданной температуры в течение времени, необходимого для набора требуемой прочности. Достигается это путем использования электрической энергии от определенного источника, с последующим преобразованием ее в тепловую, что дает возможность бетону, твердеющему при низких температурах, получить физико-механические свойства, не отличающиеся его от бетона, твердеющего в нормальных условиях. В состав обогревных методов входят: 1 – обогрев в тепляках; 2 – электродный прогрев; 3 – обогрев греющими проводами; 4 – индукционный прогрев; 5 – инфракрасный прогрев; 6 – кондуктивный нагрев.

**Обогрев в тепляках** заключается в создании вокруг возводимой конструкции термоизолированного пространства (шатра) (рис. 4). При помощи обогревателей или тепловых пушек внутри шатра удерживается необходимая для набора бетоном прочности температура. Шатер можно сделать из брезента или других воздухонепроницаемых материалов.

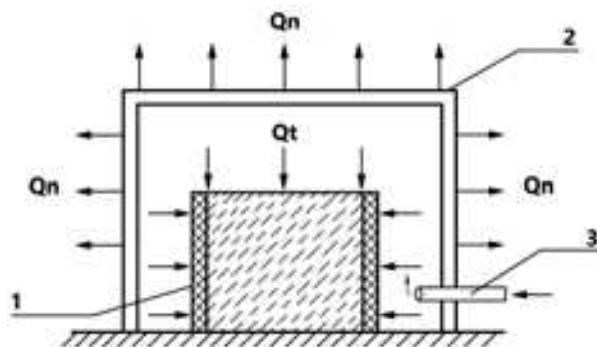


Рис. 4. Схема выдерживания бетона в тепляке:  
1 – опалубка с бетоном; 2 – тепляк (шатер);  
3 – прогретый воздух

Тепляком, как правило, укрывают лишь отдельную часть всей конструкции, которая устраивается в настоящий момент. Потом шатер перемещают к следующей части. При бетонировании с использованием скользящей опалубки тепляк перемещают вместе с опалубкой.

К преимуществам данного метода можно отнести: простоту технологического процесса, доступность материалов и техники, небольшую стоимость оборудования.

К недостаткам относятся: низкий КПД и трудность контроля режима прогрева.

Метод *электродного прогрева* заключается в размещении в теле бетонизируемой конструкции или на её поверхности стержневых, полосовых, струнных или пластинчатых электродов, которые впослед-

ствии подключаются к трансформатору. Образовавшееся электрическое поле и возникающая электрохимическая реакция с выделением тепла согревают бетон. Грамотный подбор и регулировка выходных параметров трансформатора помогают добиться необходимой температуры прогрева бетона. К преимуществам метода электродного прогрева можно отнести надежность и простоту монтажа, прогрева конструкций любой толщины и формы и его высокую тепловую эффективность. Ориентировочно схемы размещения электродов при различных способах прогрева могут быть организованы в соответствии со схемами размещения электродов (рис. 5). Однако данный метод обладает рядом недостатков. Он требует значительного времени для подготовки, проведения дополнительных электрохимических расчетов, использования дополнительного оборудования в виде трансформаторов и высоких энергозатрат (от 1000 кВт для 3–5 бетонной смеси).

Метод *обогрева греющими проводами* заключен в его названии. Внутри бетонизируемой конструкции размещается источник тепла (провод). После заливки бетона по проводу пускается электрический ток, который прогревает смесь изнутри. После набора бетоном необходимой прочности прогрев прекращается, но кабель не демонтируется, а остается внутри конструкции. Данный метод широко используется при возведении монолитных многоэтажных жилых зданий, с прогревом стен, перекрытий, колонн и фундамента. Нагревательный провод, являющийся источником тепла, должен соответствовать определенным нормам и иметь диаметр жилы от 1,2 до 3 мм («жила» – стальная проволока в пластиковой

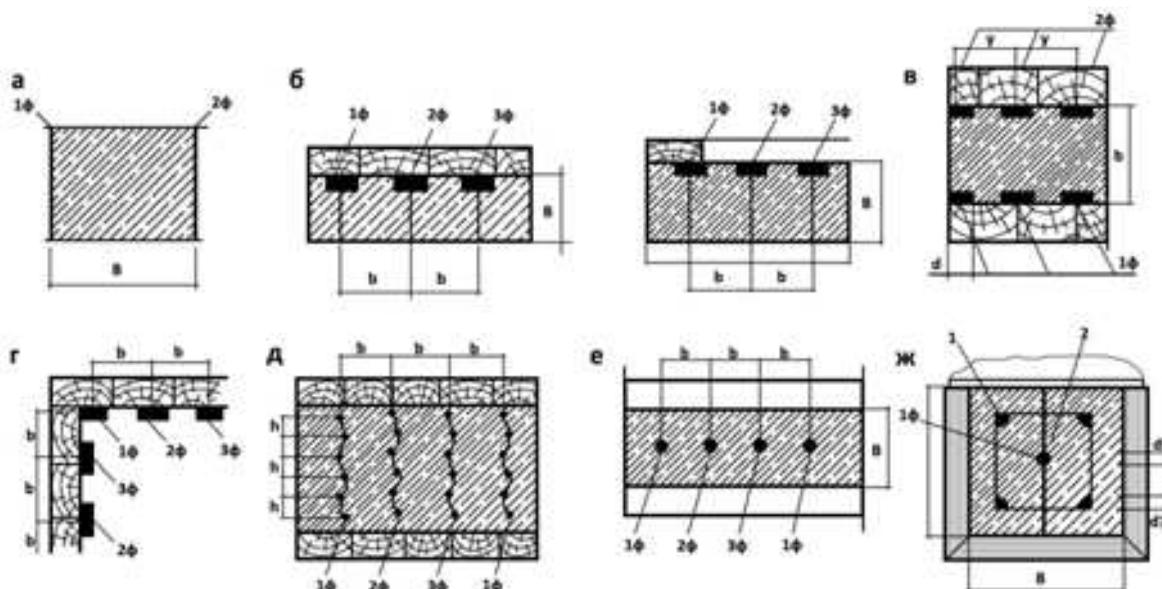


Рис. 5. Схемы размещения электродов: а – пластинчатых; б – при периферийном прогреве; в – при двухстороннем сквозном прогреве; г – при периферийном прогреве массивных конструкций полосовыми электродами; д – при прогреве при помощи плоских групп стержневых электродов; е – при прогреве стержневыми электродами; ж – при прогреве струнными электродами. 1ф, 2ф, 3ф – фазы понижающего трансформатора; 1 – арматура; 2 – струны [7]

изоляции) Примерная схема установки греющего провода в конструкции показана на рис. 6. Допустимо использование как металлических, так и неметаллических полимерных проводов.

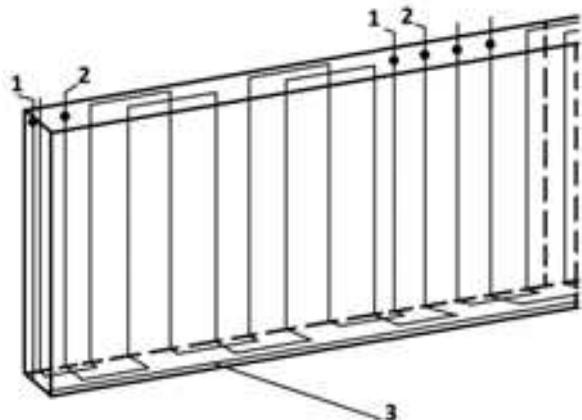


Рис. 6. Схема установки греющего провода в конструкции  
1, 2 – греющие провода; 3 – запасной провод [7]

Универсальность данного метода заключается в возможности применения его на любых бетонных конструкциях независимо от характера их армирования и конфигурации, так как провод или нарезают на отрезки определенной длины и подключают через понижающий трансформатор, или используют провода расчетной длины, работающие от сети 220 В.

К преимуществам метода обогрева проводами относятся низкая стоимость и высокая тепловая эффективность. К недостаткам – трудоемкость укладки, необходимость использования дополнительного оборудования (понижающий трансформатор, средства тепловой защиты, магистральные кабели и т.д.) и невозможность повторного применения провода.

В основу *индукционного метода* (нагрева в электромагнитном поле) положен принцип магнитной индукции. Применение его возможно лишь для густоармированных конструкций, имеющих сердечник (металлические элементы). Вокруг залитого бетонного элемента (колонна, труба, ЛЭП, свая и т.д.) петлями размещается изолированный кабель, выполняющий роль катушки-индуктора, включенного в цепь переменного электрического тока. В результате в конструкции возникает электромагнитное поле, тепловая энергия которого нагревает внутренние армирующие элементы, а тепло распространяется по всему бетону.

Данный метод требует проведения множества сложных расчетов для каждой конструкции, что является одним из его основных недостатков. Следует определить количество витков индуктора, требуемое для создания расчетного напряжения магнитного поля, обеспечивающего мощность, необходимую для прогрева бетона конструкций по заданному режиму. К недостаткам также можно отнести воз-

можность применения индукционного прогрева на ограниченном типе конструкций. Положительными качествами данного метода является то, что он не требует дополнительного оборудования, позволяет обеспечить равномерность прогрева бетона и имеет низкую стоимость.

Метод инфракрасного обогрева заключается в размещении в непосредственной близости к конструкции источников энергии (промышленных инфракрасных обогревателей). При этом тепло от обогревателя к возводимой конструкции передается мгновенно. Прогрев массива бетона при этом осуществляется за счет собственной теплопроводности. Для того чтобы добиться необходимой температуры бетона, важна правильная регулировка мощности обогревателей. В этом случае вода в составе бетона не будет кристаллизоваться. В случае неправильной регулировки инфракрасного обогревателя возможно разрушение всей конструкции. Организация схем инфракрасного обогрева показана на рис. 7.

К преимуществам данного метода относятся минимальные энергозатраты (инфракрасные обогреватели работают от сетей с небольшим напряжением), отсутствие необходимости применения дополнительного оборудования, высокая тепловая эффективность. К недостаткам относятся небольшая рабочая площадь и глубина прогрева одного инфракрасного обогревателя (данный метод не подходит для конструкций с толщиной бетона больше 50-70 см). При использовании данного метода необходимо дополнительное пространство для размещения инфракрасных установок.

При методе **кондуктивного** (контактного) **нагрева** используется тепло, выделяемое в проводнике при прохождении по нему электрического тока. Тепло от проводника контактным путем передается поверхностям конструкции. Передача тепла в бетоне происходит за счет собственной теплопроводности. Для кондуктивного нагрева применяются термоактивные (греющие) опалубки и термоактивные гибкие покрытия (термоэлектроматы).

Конструкция **греющей опалубки** (рис. 8) представляет собой щиты из влагостойкой фанеры, между которыми расположены электрические нагревательные элементы. В качестве нагревателей могут использоваться греющие провода и кабели, сетчатые или ленточные нагреватели. Для обеспечения равномерного теплового потока греющие элементы размещают на расстоянии 10–15 см. Внешняя часть конструкции имеет влагостойкое защитное покрытие. С тыльной стороны она покрыта теплоизоляцией.

К преимуществам греющей опалубки можно отнести равномерный прогрев, простоту монтажа, эффективность при температурах окружающей среды до минус 30 °С а также возможность многократного использования. К недостаткам относятся средний КПД, высокая стоимость и применимость лишь к типовым элементам.

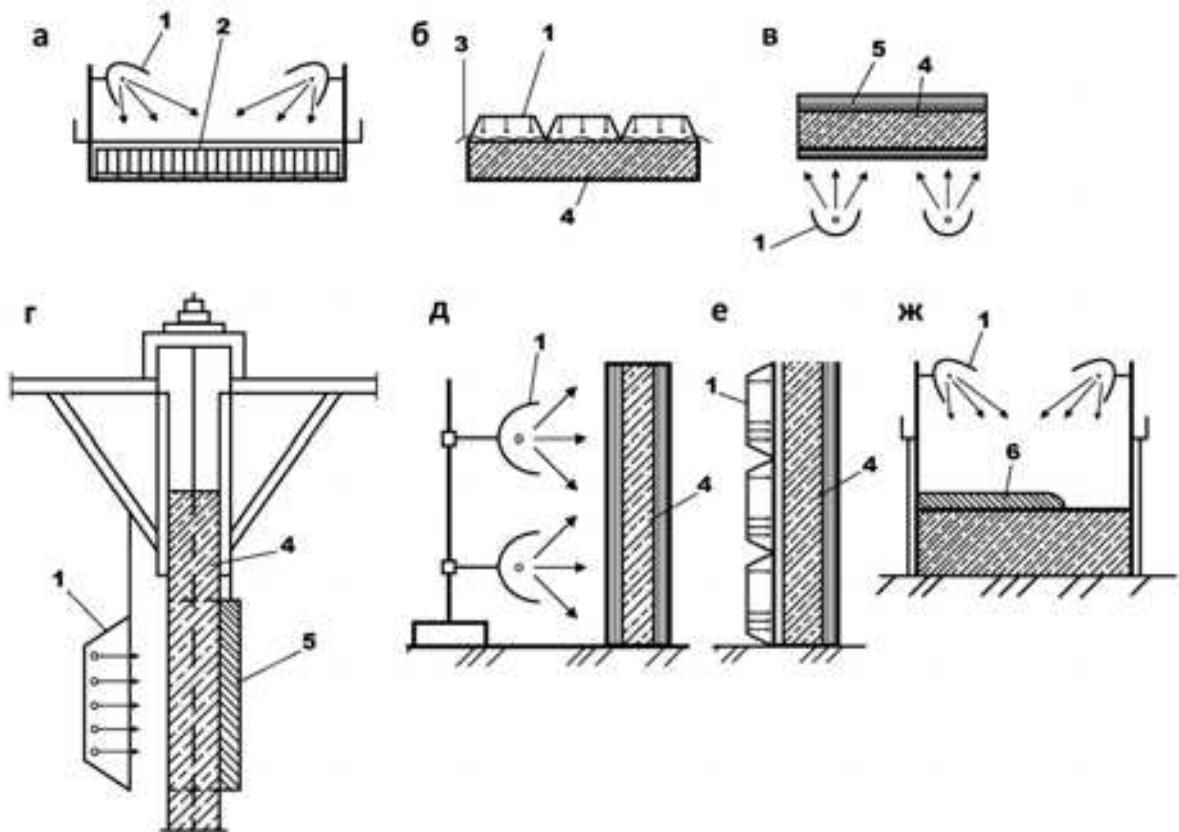


Рис. 7. Схемы инфракрасного обогрева:

а – обогрев арматуры плиты; б, в – термообработка бетона плиты (сверху и снизу); г – локальная термообработка бетона при возведении высотных сооружений в скользящей опалубке; д, е – термообработка бетона стен; ж – тепловая защита укладываемой бетонной смеси; 1 – инфракрасная установка; 2 – арматура плиты; 3 – синтетическая пленка; 4 – термообрабатываемый бетон; 5 – теплоизолирующий мат; 6 – укладываемая бетонная смесь [7]

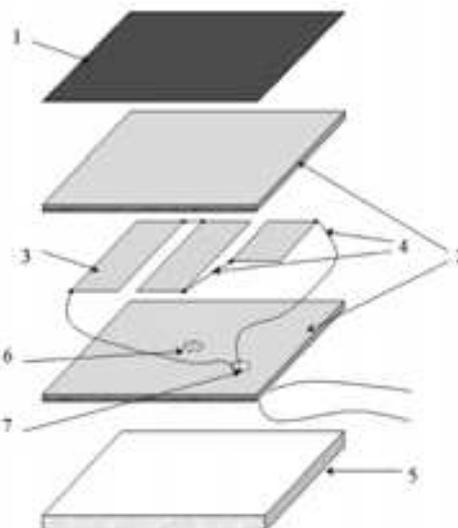


Рис. 8. Конструкция греющей опалубки: 1 – защитное, износостойкое, влагостойкое покрытие; 2 – влагостойкая фанера 9 мм; 3 – ленточный нагреватель; 4 – соединительные провода; 5 – теплоизолятор; 6 – выборка под установку термодатчика; 7 – выводное отверстие



Рис. 9. Термоэлектроматы

**Термоэлектромат (ТЭМ)** представляет собой легкое, гибкое устройство со встроенными греющими проводами или ленточными нагревателями (рис. 9). Основой конструкции является стеклохолст. В качестве теплоизолятора применяют воздушнонаполненный полимер с экранированием (слоем алюминиевой фольги). Для гидроизоляции используют ПВХ-оболочку.

К преимуществам прогрева термоэлектроматами можно отнести: равномерность прогрева, небольшие энергозатраты (потребление на 20-25 % меньше, чем при прогреве проводами), многократно

использования, защита от перегрева, а также автоматическое поддержание нужной температуры и отсутствие необходимости применения дополнительного оборудования. К недостаткам относятся: низкий КПД, максимальная температура всего 70 °С, небольшая глубина прогрева и низкая применимость для вертикальных и сложных конструкций.

Сравнение методов зимнего бетонирования по трудозатратам (чел.-ч) и расходу электроэнергии (кВт-ч), определяющим энергоемкость метода, показано в таблице.

Технико-экономические показатели методов зимнего бетонирования

Название метода	Затраты труда, чел.-ч	Расход электроэнергии, кВт-ч
Метод «термоса»	0,9	-
Метод с использованием противоморозных добавок	0,13	-
Обогрев в тепляках	0,78	- (220)
Электродный прогрев	3,03	76,5 (80-120)
Обогрев греющими проводами	4,07	76 (80-110)
Индукционный метод	22,5	263 (120-180)
Инфракрасный обогрев	5,25	228,2 (120-200)

*Примечание.* Значения технико-экономических параметров на 1 бетона приняты согласно комплекту технологических карт на производство монолитных бетонных работ при отрицательных температурах воздуха [7–13]. Значения в скобках приведены согласно более современным источникам [1,6].

Анализ таблицы показывает, что самым эффективным является метод применения противоморозных добавок. Практическое применение этого метода показывает высокую технологичность, но область его использования ограничена в силу нестабильности конечных результатов. Следующим по эффективности и достаточно широко применяемым является метод «термоса», однако область его применения ограничена массивностью конструк-

ции. Методы электропрогрева и электрообогрева в силу высокого расхода электроэнергии являются дорогими, за счет чего снижается эффективность их применения.

Очевидно, что самым рациональным и технически обоснованным был бы вариант комбинирования безобогревного метода с обогревным. Например: метод «термоса» и обогревный метод; противоморозные добавки и обогревный метод.

В результате проведенного анализа можно сделать следующие **выводы**:

1. В настоящее время существует ряд эффективных методов «зимнего бетонирования» в условиях низких температур (до минус 35 °С).

2. Представлена классификация основных методов зимнего бетонирования с указанием преимуществ и недостатков каждого.

3. По результатам сравнения технико-экономических показателей ввиду отсутствия энергозатрат самым эффективным является метод применения противоморозных добавок. Однако область применения данного метода ограничена нестабильностью конечных результатов.

4. Метод «термоса» эффективен ввиду низких трудозатрат и отсутствия энергозатрат, однако массивность конструкции ограничивает область его применения.

5. Электропрогрев и электрообогрев бетона при отрицательных температурах требует высокого расхода электроэнергии, за счет чего снижается эффективность применения данных методов.

6. Комбинированное использование безобогревных и обогревных методов зимнего бетонирования в данном случае является самым рациональным и технико-экономически обоснованным.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рязанова Г.Н., Камбур В.Г. Совершенствование технологии возведения ограждающих конструкций в несъемной опалубке: монография. Пенза: ПГУАС, 2010. 168 с.
2. Попов В.П. Неразрушающий оперативный метод контроля морозостойкости бетона гидротехнических сооружений // Вестник МГСУ. 2012. №8. С. 93–94.
3. Красовский П.С. Технология конструкционных материалов. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2012. 220 с.
4. Еришов М.Н., Липидус А.А., Теличенко В.И. Технологические процессы в строительстве. Кн. 5. Технологии монолитного бетона и железобетона. М.: Изд-во АСВ, 2016. 128 с.
5. Копылов В.Д. Устройство монолитных бетонных конструкций при отрицательных температурах среды М.: АСВ, 2014. 184 с.
6. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: АСВ, 2002. 500 с.
7. Технологическая карта на индукционный прогрев монолитных конструкций. М.: ОАО ПКТИПромстрой, 1998. URL: <https://www.normacs.ru/Doclist/doc/17F1.html>
8. Технологическая карта на бетонирование монолитных конструкций с использованием противоморозных добавок. М.: ОАО ПКТИПромстрой, 1998. URL: <http://meganorm.ru/Index2/1/4293832/4293832765.html>
9. Технологическая карта на выдерживание бетона методом «термоса» и использование разогретых бетонных смесей. М.: ОАО ПКТИПромстрой, 1998. URL: <http://meganorm.ru/Index2/1/4293832/4293832764.html>
10. Технологическая карта на электродный прогрев конструкций из монолитного бетона. М.: ОАО ПКТИПромстрой, 1998. URL: <http://meganorm.ru/Index2/1/4294815/4294815166.html>
11. Технологическая карта по инфракрасному обогреву монолитных конструкций. М.: ОАО ПКТИПромстрой, 1998. URL: <http://meganorm.ru/Index2/1/4294815/4294815231.html>
12. Технологическая карта на электрообогрев нагревательными проводами монолитных конструкций. М.: ОАО ПКТИПромстрой, 2003. URL: <http://meganorm.ru/Index2/1/4293842/4293842353.htm>
13. Технологическая карта на бетонирование и выдерживание бетона в тепляках. М.: ОАО ПКТИПромстрой, 2008. URL: <http://betonprogreiv.ru/technology/progreiv-v-teplyakah.html>

Об авторах:

#### РЯЗАНОВА Галина Николаевна

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: ryzanovagn55@mail.ru

#### ПОПОВА Дарья Максимовна

магистрант факультета промышленного и гражданского строительства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: dara.po@inbox.ru

#### RYAZANOVA Galina N.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Technology and Construction Organization Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: ryzanovagn55@mail.ru

#### POPOVA Daria M.

Master's Degree Student of the Faculty of Industrial and Civil Engineering Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: dara.po@inbox.ru

Для цитирования: Рязанова Г.Н., Попова Д.М. Анализ существующих методов возведения конструкций из монолитного бетона и железобетона в зимних условиях // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, № 1. С. 16–23. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.3.

For citation: Ryzanov G.N., Popova D.M. Analysis of existing methods of construction from monolithic concrete and reinforced concrete in winter conditions // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 16–23. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.3.

**В.С. ШИРОКОВ**  
**А.В. СОЛОВЬЁВ**

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ СЕРИЙНЫХ МОДУЛЬНЫХ ЗДАНИЙ**

### **ANALYSIS OF CONSTRUCTIVE PERFORMANCE OF STANDARD MODULAR BUILDINGS**

*Рассмотрено конструктивное исполнение модульных зданий трансформаторных подстанций. На основе расчета основных несущих элементов проанализировано конструктивное решение блок-модулей. Основной проблемой является применение модулей одинаковой конструкции в зданиях с различной компоновочной схемой и нагрузками от оборудования. Целью работы является выявление наиболее значимых с инженерно-строительной точки зрения общих закономерностей модульных зданий. Определено, что для различных конструктивных элементов ведущими являются проверки от разных сочетаний нагрузок и компоновочных схем. Рассмотрен вопрос горизонтальной жесткости блок-модулей. Обращено отдельное внимание на проектирование узловых соединений стоек с горизонтальными элементами как наиболее ответственных.*

**Ключевые слова:** модульные здания, блок-модуль, нагрузки, несущая способность, перемещения, узловые соединения

В последнее время все чаще применяются блочно-модульные здания. Одним из активно развивающихся направлений является использование их в качестве трансформаторных подстанций при обустройстве месторождений [1–6]. За счет максимальной заводской готовности блок-модулей с предустановленным оборудованием резко сокращаются трудозатраты и сроки строительства объекта, что является основными критериями при возведении объектов в труднодоступных регионах. Однако наличие тяжелого оборудования в виде трансформаторов и необходимости учета монтажных нагрузок заставляет уделять особое внимание проектированию несущего каркаса данных зданий [7–10].

В настоящей работе рассмотрены серийно выпускаемые модульные здания трансформаторных подстанций производства ООО «Строй-Инжиниринг». С целью унификации блок-модули имеют одинаковые сечения основных элементов несущего каркаса, однако отличаются своими габаритами и вариантами компоновки в здании. Далее приводится краткое описание рассматриваемых зданий.

*Тип 1:* модульное здание габаритными размерами 3,0×12,0×3,2(н) м скомпоновано из двух блок-мо-

*The design of modular buildings of transforming sub-stations is considered. On the base of the calculation of the main load-bearing elements the structural solution of the block modules is analyzed. The main problem is the use of modules of the same design in buildings with different layout schemes and equipment loads. The purpose of the work is to identify the most important general patterns of modular buildings from the engineering and construction point of view. It is determined that for various structural elements the tests from different combinations of loads and layout schemes are leading. The problem of horizontal rigidity of block-modules is considered. Special attention has been paid to the design of the node joints of columns with horizontal elements as the most important.*

**Keywords:** modular buildings, block-module, loads, bearing capacity, displacements, nodal connections

дулей 3,0×6,0×3,2(н) м, состыкованных по короткой стороне. Крыша двускатная. Опирается на фундамент под стойками К1 и в серединах балок Б2 (рис. 1, а).

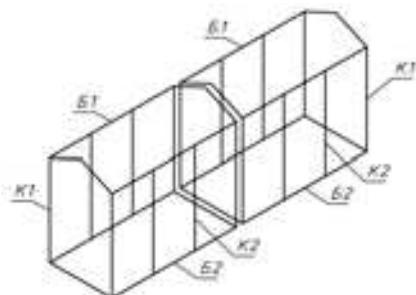
*Тип 2:* модульное здание из одиночного блок-модуля размерами 3,0×6,0×3,2(н) м. Крыша двускатная. Опирается на фундамент под стойками К1 и в серединах балок Б2 (рис. 1, б).

*Тип 3:* модульное здание габаритными размерами 4,8×6,75×2,6(н) м скомпоновано из двух блок-модулей 2,4×6,75×2,6(н) м, состыкованных по длинной стороне. Крыша плоская. Опирается на фундамент под стойками К1 и в серединах балок Б2 (рис. 1, в).

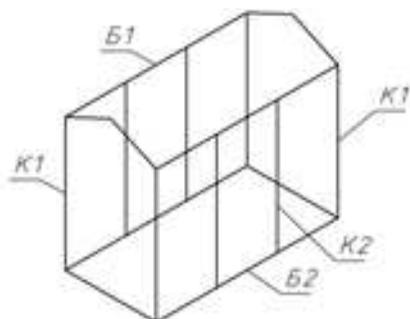
*Тип 4:* модульное здание габаритными размерами 4,8×6,0×5,0(н) м скомпоновано из четырех блок-модулей 2,4×6×2,5(н) м, состыкованных по длинной стороне. Крыша плоская. Опирается на фундамент под стойками К1 и К2 (рис. 1, г).

Соединение стоек К1 и балок Б1 и Б2 принято жестким. Крепление балок настила БН1, а также балок покрытия Б5 к балкам Б1 принято шарнирным. Для учета жесткости перекрытия в расчетную схему введены гибкие связи с шарнирным креплением к несущим элементам в уровне перекрытия и покрытия. Учет совместной работы блок-модулей

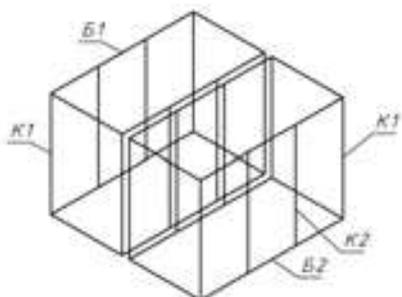
а



б



в



г

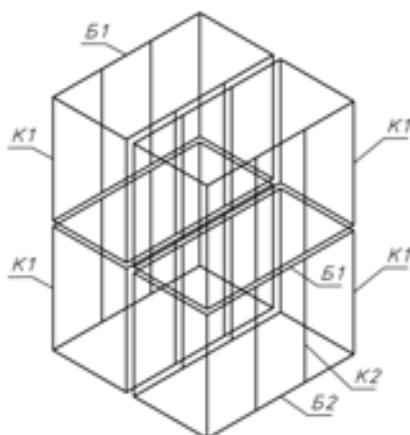


Рис. 1. Геометрические схемы модульных зданий

друг с другом смоделирован путем объединения линейных перемещений угловых точек стоек K1. Все несущие элементы модулей выполнены из гнутых профилей толщиной 6 мм.

При расчете зданий учитывались следующие виды нагрузок:

- собственный вес модулей;
- снеговые нагрузки, соответствующие V снеговому району;
- ветровые нагрузки, соответствующие V ветровому району;
- нагрузка от оборудования, согласно техническому заданию;
- сейсмическое воздействие, соответствующее проектному землетрясению 9 баллов.

Помимо расчета зданий в проектном положении, выполнен расчет модулей на момент монтажа. Для этого были составлены отдельные расчетные схемы, отличающиеся закреплением блок-модулей (рис. 2). Учитывались только нагрузки от собственного веса и оборудования, умноженные на коэффициент динамичности  $k_d=2$  как для внезапно приложенной нагрузки.

В результате проведенных расчетов получены коэффициенты использования сечений элементов. Значения коэффициентов для рассматриваемых типов зданий приведены в табл. 1.

Анализируя представленные результаты, видно, что для разных элементов ведущими проверками являются разные сочетания: для стоек K1 – монтажные нагрузки блока типа 1; для ригелей B1 – монтажные нагрузки блока типа 3; для ригелей B2 – проектное положение блока типа 1.

Помимо проверки по первому предельному состоянию элементов каркаса, определены горизонтальные перемещения стоек блок-модулей (табл. 2). Максимальные перемещения всех стоек – в направлении длинного ригеля, т.е. в направлении минималь-

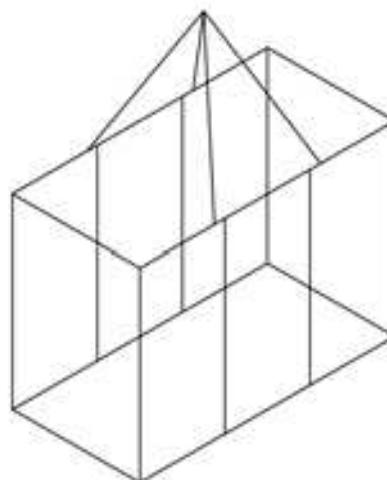


Рис. 2. Расчетная схема блок-модуля при монтаже

Таблица 1

Коэффициенты использования несущей способности сечений основных элементов блок-модулей

Элемент	Проектное положение				Монтаж			
	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4
Стойки К1	0,75	0,77	0,78	0,54	0,97	0,54	0,59	0,54
Верхний ригель Б1	0,63	0,63	0,47	0,63	0,89	0,87	0,98	0,83
Нижний ригель Б2	0,93	0,79	0,85	0,44	0,73	0,73	0,55	0,83

Таблица 2

Горизонтальные перемещения стоек в пределах одного этажа

Модульное здание	Перемещение, мм	Предельное перемещение, мм
Тип 1	12,2	21,3
Тип 2	18,4	21,3
Тип 3	17,4	17,7
Тип 4	12,7	16,3

ной жесткости блок-модуля. При этом при одной и той же конструкции блока можно уменьшить перемещения стоек за счет совместной компоновки модулей друг с другом, это хорошо видно на примере модульных зданий типов 1 и 2. Также при наличии промежуточных вертикальных элементов можно повысить горизонтальную жесткость путем включения этих элементов в работу, например, устроив жесткий узел сопряжения стоек К5 и горизонтальных ригелей.

Еще одним крайне важным моментом является проектирование узлов соединений элементов несущего каркаса. Наиболее ответственными являются узлы сопряжения стоек с горизонтальными ригелями, так как они должны являться жесткими

для обеспечения геометрической неизменяемости конструкции. Также из-за пространственной работы блок-модуля эти узлы находятся в сложном напряженно-деформированном состоянии, так как в общем случае воспринимают изгибающие моменты в двух направлениях. При этом необходимо стремиться к компактности узлового соединения. Одними из способов конструктивного решения указанных особенностей являются: увеличение длины шва (рис. 3, а) и введение дополнительных элементов жесткости (рис. 3, б). Возможны и другие способы решения именно самой конструкции узла, например, в виде коннектора, который будет удовлетворять вышеуказанным требованиям.

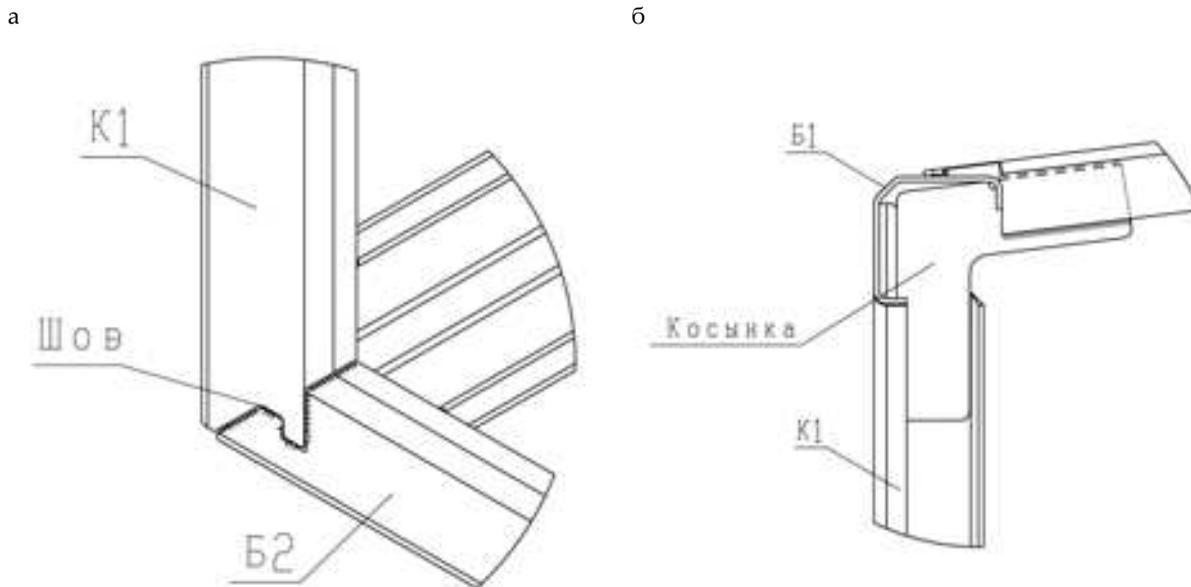


Рис. 3. Узловые соединения стойки с горизонтальными элементами

**Выводы.** 1. При проектировании модульных зданий необходимо рассматривать максимально возможное количество сочетаний типов блок-модулей и действующих на них нагрузок, так как при одном и том же конструктивном исполнении модуля не всегда очевидно наиболее неблагоприятное сочетание нагрузок и компоновочное расположения.

2. Горизонтальные перемещения вертикальных элементов блок-модулей близки к предельным. Горизонтальную жесткость модульных зданий можно повысить за счет совместной компоновки блоков друг с другом, а также включением в работу промежуточных или дополнительных вертикальных элементов.

3. Следует уделять особое внимание проектированию узловых соединений стоек и горизонтальных ригелей, так как они должны обеспечивать геометрическую неизменяемость каркаса, воспринимать усилия в двух направлениях и быть компактными.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Холопов И.С., Широков В.С., Соловьёв А.В., Макаров Ю.Д. Анализ напряженно-деформированного состояния быстровозводимого модульного здания // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 6. С. 15-19.

2. Холопов И.С., Широков В.С., Соловьёв А.В. Усиление несущих конструкций и узловых соединений быстровозводимого модульного здания с целью обеспечения его безопасной эксплуатации // Вестник Липецкого государственного технического университета. 2015. №4. С. 56–62.

3. Дьяченко Л.Ю., Дьяченко О.С., Малашенко А.С. Особливості зведення швидкостпурджуваних малоповерхових будівель із блок-модулів в Україні // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2016. №2. С. 69–74.

4. Асаул А.Н., Казаков Ю.Н., Быков В.Л., Князь И.П., Ерофеев П.Ю. Теория и практика использования быстровозводимых зданий в обычных условиях и чрезвычайных ситуациях в России и за рубежом / под ред. д.т.н. Ю.Н. Казакова. СПб.: Гуманистика, 2004. 472 с.

5. Мушинский А.Н., Зимин С.С. Строительство быстровозводимых зданий и сооружений // Строительство уникальных зданий и сооружений. СПб., 2015. №4. С. 182–193.

6. Заважнов С.И., Рачков Д.С., Новиков М.А., Юдин С.В. Технологии производства в строительстве: модульные системы // Вестник МГСУ. 2010. №3. С. 185–190.

7. Гордеева Т.Е. О методике оценки надежности строительной системы по критерию прочность // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2013. №1. С. 104–107.

8. Гордеева Т.Е., Усольцева К.А. Моделирование конструктивной схемы жилого здания для оценки его начальной надежности // Градостроительство и архитектура. 2013. №3. С. 6–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2013.03.1.

9. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / под общ. ред. А.В. Перельмутера. М.: АСВ, 2007. 482 с.

10. Алтатов В.Ю., Лукин А.О., Сахаров А.А. Исследования жесткости узла базы стальной колонны, состоящей из одной опорной плиты // Промышленное и гражданское строительство. 2015. №9. С. 9–14.

Об авторах:

#### ШИРОКОВ Вячеслав Сергеевич

заведующий лабораторией кафедры металлических и деревянных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: ShirokovViacheslav@gmail.com

#### SHIROKOV Viacheslav S.

Head of the Laboratory of the Metal and Wooden Structures Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: ShirokovViacheslav@gmail.com

#### СОЛОВЬЁВ Алексей Витальевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой металлических и деревянных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: savsmr@rambler.ru

#### SOLOVIEV Aleksey V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Metal and Wooden Structures Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: savsmr@rambler.ru

Для цитирования: Широков В.С., Соловьёв А.В. Анализ конструктивного исполнения серийных модульных зданий // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, №1. С. 24-27. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.4.

For citation: Shirokov V.S., Soloviyov A.V. Analysis of constructive performance of standard modular buildings // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 24-27. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.4.

Т.В. ШЕИНА  
Е.А. АВДЕЕВА

## ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ АВТОДОРОГ ОТ КАМНЕПАДОВ

### TECHNOLOGIES OF PROTECTION OF HIGHWAYS FROM ROCKFALLS

Рассматривается технология устройства определенных противообвальных сооружений для участков горных автодорог, подверженных обвалам. Выявлен и обоснован комплексный анализ факторов риска камнепадов с целью выбора наиболее эффективной системы защиты. Проанализированы мероприятия по пассивной защите (улавливающие сооружения и устройства, противообвальные галереи, системы простой драпировки) и по активной защите (удерживающие сооружения и системы драпировки с дополнительным армированием). Представлены материалы, используемые в передовых противообвальных системах, отличающиеся повышенной прочностью, усиленной защитой от коррозии, относительно малым весом, что позволяет использовать легкую технику.

**Ключевые слова:** горные автодороги, технологии защиты от обвалов, камнепадов, габионы, траншеи, противообвальные галереи, драпировка, камнеулавливающие барьеры и насыпи, контрфорсы

Обвалы образуются в результате быстрого внезапного обрушения и перемещения крупных массивов горных пород из-за отрыва от коренного массива с образованием у подножия нагромождения этих обломков. К обвалам относят камнепады, оползни грунта, скальные осыпи, а также обрушение ледников и снежных лавин. Образованию обвалов способствует размыв поверхностными и подземными водами, техногенные воздействия, быстрая смена температур, сейсмические процессы, антропогенное воздействие и изменчивый климат. В целом для обвалов характерна сплоченность обрушающегося материала и, как следствие, характер его движения.

The technology of the device of certain anti-dump structures for the sections of mountain roads subject to collapses is considered. A comprehensive analysis of rockfall risk factors has been identified and justified in order to select the most effective protection system. The measures on passive protection (catching structures and devices, anti-galleries galleries, simple drapery systems) and active protection (restraining structures and drapery systems with additional reinforcement) have been analyzed. The materials used in advanced anti-dump systems are distinguished, they are characterized by increased strength, enhanced corrosion protection, relatively low weight, which makes it possible to use light technology.

**Keywords:** mountain roads, technologies for protection against landslides, stone pads, gabions, trenches, anti-galleries, drapery, stone-breaking barriers and embankments, buttresses

При камнепадах движение крупных каменных глыб, отдельных камней, обломков пород и щебня сопровождается неоднократными «прыжками» со скоростью 40–60 м/с (150–200 км/ч).

Энергия воздействия камня и траектория его падения на горную автодорогу – это основные параметры изучения камнепадных процессов, позволяющих проектировать системы защитных сооружений (СП 116.13330.2012. Свод правил. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003) (рис. 1).



Рис. 1. Траектория падения каменных обломков

Для безопасной эксплуатации горных автодорог необходим комплексный анализ факторов риска камнепадов с целью выбора наиболее эффективной системы защиты [1–3].

Неустойчивость каменных массивов оказывает влияние на поверхность склонов и общую устойчивость скальных образований. Системы защиты

от камнепадов позволяют обеспечить безопасность от поверхностных обрушений склона и с целью защиты от разрушений коренной части массива. До принятия технического решения по устройству защитной конструкции от камнепадов должно быть четко определено различие между пассивными и активными защитными системами (рис. 2).



Рис. 2. Последствия камнепада на автодорогах

С целью улавливания и остановки падающих скальных обломков на объекты инфраструктуры используют систему пассивной защиты – стальной геоконкомпозит из комбинации двойного кручения сетки и вплетенных в нее тросов.

Стабилизацию разрушаемой поверхности скального массива проводят активной защитой – глубинным армированием отдельных его частей, с применением стальных канатных панелей и дополнительных металлических анкеров.

Пассивная противообвальная защита необходима, если полностью не исключается возможность ликвидации скально-обвальных явлений.

У подошвы откоса или склона высотой до 60 м и крутизной более 35° используют системы пассивной защиты в виде улавливающих полок и траншей с бордюром, а при крутизне 25–35° применяют улавливающие стены. Их можно располагать на пологих участках склонов на высоте в пределах 30–50 м над автодорогой.

У подошвы крутых (более 40–45°) и сравнительно невысоких откосов или склонов в пределах 25–30 м устанавливают оградительные стены для предотвращения осыпания скального грунта в случае их выветривания. Стабильность такой системы определяется расчетом на прочность и устойчивость при полном завале скальными грунтами улавливающей паузы (застенного пространства).

Улавливающие валы устраивают у подошвы не менее опасных источников обвалов – затяжных склонов высотой более 60 м или над автодорогой на высоте в пределах 30–50 м у склонов крутизной до 25° [1].

Местные условия диктуют применение улавливающих траншей и полок с бордюром заглубленного типа или устройство оградительных конструкций на уровне автодороги. У подошвы откоса или склона

возводят сборные железобетонные стены высотой 6–8 м, уголкового профиля таких стен конструируют с меньшей высотой. Их омоноличивают и усиливают арматурой диаметром более 20 мм.

В труднодоступных местах используют бутобетонные и габионные стены, которые возводят из местного камня (СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85\* Введ. 01-07-2013; СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. Введ. 01-07-2013).

Противообвальные галереи из штучных материалов, сборного и монолитного железобетона устраивают на трассах с крутыми косогорами в тех случаях, когда другие, более простые сооружения нецелесообразны по экономическим и практическим соображениям. Топографические и геологические условия, а также нагрузки и технологические процессы определяют выбор галерей следующих видов конструкций: арочные, балочные, рамные, полурамные, консольные и гибкие подвесные (рис. 3) [3, 6].

Система простой драпировки – эффективный и экономически приемлемый вариант, позволяющий собрать упавшие осыпи фракцией не более 0,6 м<sup>3</sup> у основания склона и снизить обрушение скальных массивов, вызванных водной и ветровой эрозией, колебаниями температур, гидростатическим давлением и сейсмической активностью.

Укрепление скальных массивов направлено на консолидацию их поверхности, которая потенциально может быть подвержена обрушению.

Укрепление скальных массивов позволяет не только предотвратить возможность отрыва обломков и увеличить несущую способность поверхности склона, но и укрепить пологую поверхность склона.



Рис. 3. Противообвальные галереи

Компания Маккаферри предлагает различные решения для укрепления склонов с целью противокаменной защиты. Одним из них является простая драпировка, представляющая собой сетчатое полотно, закрепленное анкерами по верхней и по нижней кромкам. Такое решение представляет собой один из самых экономически выгодных вариантов драпировки. Упавшие обломки тормозятся сетчатым заслоном и собираются у подножия склона, образуя «карманы», которые периодически можно вычищать.

Система Стилгрид HR (Highly Resistant, от англ. «высокопрочный») – еще одна разновидность устройства простой драпировки, которую используют для укрепления и защиты от обрушений скальных откосов. Такая система перераспределяет и передает нагрузки на сетку двойного кручения благодаря вплетению в продольном направлении стальных тросов, прижимающихся анкерами с пластиной к склону. Синергетический эффект от совместной работы сетки и троса повышает не только прочность конструкции, но и поверхностную устойчивость склона, а также способствуют эффективному применению системы анкеров. Удерживать скальные породы на склоне любой крутизны позволяют несколько рулонов сетки, соединенных продольно с помощью HR-скрепок и HR-зажимов.

Модельный ряд системы Стилгрид® HR представлен Стилгрид HR150, в котором тросы диаметром 8,2 мм с шагом 150 см, а также Стилгрид® MO – менее прочным вариантом с шагом тросов 30, 50 и 100 см.

Камнеулавливающие гибкие барьеры защищают автомобильные дороги, перехватывая маленькие обломки и большие камни искусственных и естественных откосов, а также склонов с крутыми откосами.

Камнеулавливающие гибкие барьеры RMC различных конфигураций по своей конструкции аналогичны системе Стилгрид HR, в которой комбинации сетки, стальных кабелей и анкеров с высокой степенью сопротивления деформациям выдерживают энергию в пределах от 500 до 5000 кДж. Эти системы

камнеулавливающих барьеров компании Маккаферри были разработаны на основе проектирования и проведения испытаний в соответствии с передовыми европейскими нормами.

Расчеты по специализированной программе Rockfall позволяют установить все возможные траектории падения обломков и с учетом распределения эпюры скоростей и кинетической энергии выбрать оптимальное место расположения и модель барьера. Барьеры устанавливаются у основания склона в тех случаях, когда, с одной стороны, невозможно точно установить место отрыва и падения обломков, а с другой – покрыть его драпировкой.

Нагрузка, действующая от каменных блоков на барьер, распределяется между стойками равномерно, а система поглощения энергии работает за счет деформации сменных энергогасителей, обеспечивая длительный срок службы. Подобная конструкция барьера может устанавливаться практически на любом уклоне склона и подстилающей поверхности. Все модели барьеров соответствуют международному стандарту качества UNI EN ISO 9001, а также ETA 11/0370.

Каждая модель барьера имеет свои конструкционные особенности. Барьеры различаются по высоте (2–8 м), типу стоек (профиль круглого сечения Ø114,3x4 или многоугольные типа HEA-200) и типу перехватывающей панели: сетка DT с канатами, сетка DT с кольчужной сетью (кольчужная сеть типа 3-4-350/200-500), сетка двойного кручения, а также по количеству гасителей энергии (запатентованное устройство Маккаферри) и диаметру удерживающих тросов 16–22 мм.

Все элементы барьеров имеют плотное антикоррозионное цинковое покрытие. Стандартное расстояние между стойками – 10 м (в зависимости от проекта может быть изменено до 8–12 м). Рекомендуемая длина барьера от 30 до 100 м. Барьеры поставляются в разобранном виде и собираются на объекте. К барьеру обязательно прикладывается подробная инструкция по установке для выбранной модели. Инженеры компании «Маккаферри» готовы оказывать шеф-монтаж (рис. 4) [5, 8–10].



Рис. 4. Камнеулавливающие гибкие барьеры

Камнеулавливающие гибридные барьеры – это вид барьеров, плавно переходящих в драпировку. Гибридные барьеры предназначены для гашения кинетической энергии падающего обломка. Данный вид барьеров сочетает в себе камнеулавливающие барьеры с возможностью снижения обслуживания сетчатой панели. Вместо традиционного крепления к нижней опоре, защитная сетка простирается вниз по склону.

В данном случае падающие камни и обломки не будут остановлены так же, как с помощью камнеулавливающих барьеров, но после взаимодействия с барьером обломок продолжает свое движение под

драпировкой, замедляя его вплоть до полной остановки у подножия склона. Данный вид барьеров применяется на склонах, где есть доступное пространство для установки вдоль склона, где обломки могут быть остановлены или безопасно собраны. Высота, местоположение, энергопоглощающая мощность барьера определяются с помощью специально разработанной программы – Rockfall. Для оптимизации защиты может быть установлена комбинация из защитных барьеров (в виде каскада), обеспечивая экономическую эффективность и безопасность инфраструктуры (рис. 5) [1].



Рис. 5. Гибридные барьеры

Пассивные системы – камнеулавливающие насыпи используют в тех случаях защиты, когда улавливание падающих скальных обломков или предотвращение их отрыва от массива невозможно из-за того, что склон имеет большой уклон и структура поверхности отвесного типа.

Камнеулавливающие насыпи позволяют выдерживать экстремальные удары обломков практически неограниченных размеров, предельной скорости и энергии. В отличие от камнеулавливающих барьеров, камнеулавливающие насыпи могут выдерживать систематические камнепадные события без ремонта. Специальный анализ, проведенный компанией Маккаферри, доказал, что армирование грунта с помощью камнеулавливающих насыпей выдерживает нагрузку более

20 000 кДж. При наличии достаточного пространства могут быть возведены насыпи, имеющие практически неограниченное поглощение энергии [9,10].

Маккаферри предлагает следующие системы армирования грунта для возведения насыпей: Террамеш®, Зеленый Террамеш®, Парагрид® & Парадрейн®, МакГрид® WG и габионные сооружения (рис. 6).

К активной защите относят: удерживающие сооружения (облицовочные стены, анкерные крепления, контрфорсы, опояски, поддерживающие стены, подпорные стены и заанкерные подпорные стены), системы драпировки с дополнительным армированием (Стилгрид БО и HR, HEA-панели), системы Rope Net и Mighty Net.



Рис. 6. Камнеулавливающие насыпи

Активная противообвальная защита целесообразна для стабилизации неустойчивых откосов и склонов, угрожающих массовым обрушением или их выветриванием.

Снизить объем работ позволяют поддерживающие стены, используемые для нависающих карнизов и пластов. Замедлить процессы выветривания пород позволяют пломбы, которыми заполняют углубления в откосах и склонах.

Подпорные стены позволяют удержать застенные призмы грунта в случае сложности их уборки при выемке откоса. Заанкеровка подпорных стен эффективна при большой высоте откоса. Для подпирания отдельных неустойчивых скальных массивов используют контрфорсы, а в случае их неоднородного залегания – комбинация контрфорсов с подпорными и облицовочными стенами [3].

Система MAC.RO.TM (компания Маккафери и ведущие исследовательские институты) предназначена защитить от четырех различных типов камнепадов. Основа системы – сетка двойного кручения с антикоррозионным покрытием, в сочетании с другими различными материалами [10,11].

Системы драпировки и камнеулавливающие барьеры относятся к постоянным сооружениям, их срок службы более 25 лет, а камнеулавливающих насыпей – более 50 лет.

Точное определение необходимости устройства анкерной системы драпировки (активная защита), а также определение площади, подлежащей такому типу защиты, выполняется на основании оценки реальных условий на стройплощадке и должно отвечать основным руководящим принципам проектирования.

Основными факторами при проектировании являются:

1. Оценка касательных напряжений от постоянной нагрузки: вес всей сетки при рекомендуемом факторе безопасности 1,35.

2. Оценка касательных напряжений от временных нагрузок: вес обломков пород, находящихся у подножия откоса, и вес снега (для склонов менее  $60^\circ$ ) с рекомендуемым фактором безопасности 4.

Динамические нагрузки, возникающие с обрушением скальных пород на систему драпировки, учитываются только в тех случаях, если отсутствует должная надежность этой системы. Основная нагрузка на анкерные панели в остальных случаях проявляется в процессе аккумуляции у подошвы склона скальных обломков.

Объем каменных обломков рассчитывается, чтобы спроектировать систему драпировки, а также определить тип и параметры системы защиты от камнепадов. Необходимо иметь обоснованное представление допустимой высоты и геометрических размеров «камнеудерживающего мешка» и предусмотреть последствия от возможных обрушений частей массива, принимая во внимание физико-механические параметры системы по абсорбированию кинетической энергии падающих обломков. Принято считать, что соотношение ширины к высоте «камнеудерживающего мешка» должно быть 1:3, т.е. на 1 п. м по основанию 3 м по высоте.

Сила, действующая на защитную систему драпировки, зависит от угла ее наклона и должна быть оценена с использованием существующих условий на объекте [11–14].

HEA-панели (High Energy Absorption) сплетены из канатов и способны значительно поглощать энергию. Целесообразно их использовать с дополнительными анкерами как драпировку на скально-обвальных участках автодороги. В случае меньшей агрессивности среды рекомендуется использовать канаты диаметром 10 мм с цинковым или ПВХ покрытием, а также покрытием «Гальмак®». Узлы стыковых соединений панелей передают равномерно нагрузку на всё полотно и, таким образом, гасят энергию. Панели способны выдерживать длительные статические



Рис. 7. НЕА-панели

нагрузки. Они не утяжеляют склон, являясь альтернативой кольчужной сетке [15].

Канатные панели обладают высокой степенью защиты, их применяют для закрепления курумных склонов и оползневых участков, а также для укрепления крутых откосов, сложенных из пород с высокой трещиноватостью (рис. 7).

Жесткие плетеные НЕА-панели из стальных канатов эффективнее сетки двойного кручения, хотя последняя надежнее сетки рабицы. Двухосный Стилгрид ВО (компания Маккаферри) – это синергетика механических свойств сетки двойного кручения и НЕА-панелей из стальных канатов с шагом продольных канатов 150 см, поперечных – 150, 200 или 300 см [11].

Если проблеме обрушения невозможно решить с помощью пассивной защитной системы, рассматривается вариант устройства активной системы (т.е. дополнительное армирование поверхности анкерами, канатными панелями и пр.). В итоге завершенная защитная система представляет собой комбинацию стальных анкеров, НЕА-панелей и сетки двойного кручения. Для определения технически правильного выбора защитной системы необходимо оценить неподвижность или жесткость системы драпировки и усилия, передаваемые на анкерные тоннели.

В этом случае система драпировки обеспечивает высокое сопротивление с минимальными деформациями и предотвращает отрыв и движение скальных обломков.

Драпировка с дополнительным армированием крепится анкерами не только по верхней и нижней кромкам, но и по всему склону с определенным шагом. Такой тип защиты закрепляет неустойчивые блоки, препятствуя отрыву обломков от массива. Преимущество системы Стилгрид® ВО заключается во введении в структуру сетки дополнительных поперечных канатов, что повышает эффект от анкерки.

Для изготовления сетки используется проволока со следующими характеристиками: временное сопротивление на разрыв 35 - 50 кг/мм<sup>2</sup>, удлинение должно составлять не менее 9 %, чтобы увеличить сопротивление на разрыв у конечного материала. Проволока может иметь дополнительное покрытие

ПВХ. Дополнительными аксессуарами, удерживающими тросы, являются анкера с гайками и пластинами, а также зажимы HR-grip и HR-link, скрепки и вязальная проволока [16–18].

Система Mighty Net направлена на воссоздание природного ландшафта и предотвращение камнепадных процессов. Основой Mighty Net служит гибкая высокопрочная стальная сетка, повторяющая рельеф поверхности, с плотным прилеганием к ней. Такая конструкция системы позволяет укрепить как отдельно лежащие на поверхности неустойчивые массивы и камни, так и рыхлые породы. Небольшой размер ячейки сетки даёт возможность удерживать мелкие камни, землю и песок. Особенно эффективно использовать данную систему в местах с сильным выветриванием.

Канатно-анкерная система Rope Net состоит из отдельных канатов, закрепляемых на склоне анкерами. Она фиксирует крупные подвижные камни на склоне, обеспечивая его укрепление. Применение вместе с Rope Net стальной сетки позволит удерживать не только большие рыхлые породы, но и небольшие камни [19].

**Вывод.** Описанные технические решения, позволяющие обеспечить защиту территорий от опасных природных воздействий, в частности от камнепадных процессов, требуют дальнейшего изучения в связи с возрастающими технологическими возможностями для реализации таких конструкций. Замена использовавшихся ранее массивных железобетонных конструкций на более рациональные аналоги позволит существенно снизить затраты на инженерную защиту, сократить сроки строительства и свести к минимуму воздействие на окружающую среду. Возросший в последнее время интерес застройщиков к освоению горных участков, необходимость прокладки новых автомобильных и железных дорог на местности с переменным рельефом определяют необходимость выполнения более эффективных и экономичных мероприятий. Ввиду слабой изученности камнепадных явлений необходимо более детально исследовать траектории камнепадного процесса, а также разрабатывать и уточнять расчетные методики по оценке энергии воздействия обломка на защитное сооружение и фундаменты защитного сооружения. Особую важность имеет процесс геотех-

нического мониторинга территории, подверженной риску камнепадных воздействий. Периодические наблюдения позволяют уточнить расчетные параметры, опираясь на фактические данные. Взаимовязка перечисленных выше этапов в рамках единой системы позволяет при минимализированных затратах обеспечить максимальную безопасность площадных и линейных объектов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мариничев М.Б., Макушева А.В.* Защита территорий от камнепадных процессов. М., 2017. 97 с.
2. Обвалы и осыпи [Электронный ресурс]. – URL: [http://studopedia.su/2\\_6065\\_obvali-i-osipi.html](http://studopedia.su/2_6065_obvali-i-osipi.html) (дата обращения: 15.10.2016).
3. *Королёв В.А.* Инженерная защита территорий и сооружений. М.: ИД КДУ, 2013. 470 с.
4. Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации (Росавтодор). Автомобильные дороги. Борьба с оползнями, лавинами, селями на автомобильных дорогах. Ретроспективный указатель // Изобретения стран мира. Вып. 57. М., 2000 (дата обращения: 10.10.2016).
5. ООО «Габियोны Маккаферри СНГ». Защита от опасных природных процессов [Электронный ресурс]. М., 2014. 23 с. URL: <https://www.maccafferri.com/ru/> (дата обращения: 17.10.2016).
6. ООО «Габियोны Маккаферри СНГ». Системы защиты от камнепадов. Проблемы и решения [Электронный ресурс]. М., 2010. 17 с. URL: <https://www.maccafferri.com/ru/> (дата обращения: 17.10.2016).
7. ООО «Габियोны Маккаферри СНГ». Система MAC.RO. Стилгид. Технические характеристики [Электронный ресурс]. М., 2006. 2 с. URL: <https://www.maccafferri.com/ru/> (дата обращения: 25.10.2016).
8. Рекомендации по проектированию земляного полотна дорог в сложных инженерно-геологических условиях [Электронный ресурс]. М., 1974. URL: [https://znaytovar.ru/gost/2/RekomendaciiRekomendacii\\_po\\_pr74.html](https://znaytovar.ru/gost/2/RekomendaciiRekomendacii_po_pr74.html) (дата обращения: 20.11.2016).
9. *Савин В.К., Краснов М.И., Шубин И.Л., Волкова Н.Г., Козина Д.А., Колесников В. П.* Строительная климатология. М.: Стройиздат, 1990. 86 с. (дата обращения: 25.10.2016).
10. Физико-механические показатели сетки двойного кручения. [Электронный ресурс]. 1994. URL: [http://pskgeodor.ru/produkcija/setka\\_dvoynogo\\_krucheniya/specifications](http://pskgeodor.ru/produkcija/setka_dvoynogo_krucheniya/specifications) (дата обращения: 06.11.2016).
11. *Коловалов Е., Себро С.* Борьба с камнепадами в Приморском крае средствами инженерной защиты // Инженерная защита. Вып. 1. СПб., 2014. URL: <http://territoryengineering.ru/bez-rubriki/borba-s-kamnepadami-v-primorskom-krae/> (дата обращения: 01.04.2017).

Об авторах:

#### **ШЕИНА Татьяна Викторовна**

кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 242-37-02  
E-mail: [tatyana.sheina@inbox.ru](mailto:tatyana.sheina@inbox.ru)

#### **АВДЕЕВА Елена Андреевна**

студентка строительного факультета Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 242-37-02  
E-mail: [avdeee.elena@yandex.ru](mailto:avdeee.elena@yandex.ru)

#### **SHEINA Tatyana V.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Production of Building Materials and Units Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-37-02  
E-mail: [tatyana.sheina@inbox.ru](mailto:tatyana.sheina@inbox.ru)

#### **AVDEEVA Elena A.**

Student of the Faculty of Technology of Building Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-37-02  
E-mail: [avdeee.elena@yandex.ru](mailto:avdeee.elena@yandex.ru)

Для цитирования: *Шейна Т.В., Авдеева Е.А.* Технологии защиты автодорог от камнепадов // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.28-34. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.5.  
For citation: *Sheina T.V., Avdeeva E.A.* Technologies of protection of highways from rockfalls // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 28-34. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.5.

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ



УДК 621.643.2:536.24

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.6

А.Л. ЛУКС  
А.Г. МАТВЕЕВ  
Д.В. ЗЕЛЕНЦОВ

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ ТРУБ, ОТВОДЯЩИХ ТЕПЛО ОТ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

METHOD FOR CALCULATING HEAT PIPES THAT DIVERT HEAT  
FROM THE HEAT-EMITTING SURFACE

*Приводятся результаты комплексных исследований параметров отводящих тепло коллекторов, разработка методики их расчёта. Основную трудность при этом представляет расчет конструкции и параметров в области зоны контакта между тепловой трубой и тепло-выделяющей поверхностью. Показано, что методики расчёта, используемые для конвективных коллекторов, не могут быть применены для коллекторов с тепловыми трубами, в которых элементы не зависят друг от друга. Установлено, что полуэмпирические модели дают возможность глубже изучить специфику процессов, протекающих в коллекторе, степень их влияния на его эффективность. Предлагаемая в статье упрощенная методика расчёта позволяет на инженерном уровне производить требуемые оценки и расчеты.*

*The results of complex studies of the parameters of the heat-conducting collectors, development of the methods for their calculation are presented. The main difficulty in this case is the calculation of the design and parameters in the region of the contact zone between the heat pipe and the heat-generating surface. It is shown that the calculation methods used for convective collectors can not be applied to collectors with heat pipes in which the elements do not depend on each other. It is established that semiempirical models provide an opportunity to study the specifics of the processes taking place in the reservoir, the degree of their influence on its efficiency. The simplified calculation technique proposed in this article allows us to make the required estimates and calculations at the engineering level.*

**Ключевые слова:** тепловая труба, радиатор, испарение, конденсация, излучение

**Keywords:** heat pipe, radiator, evaporation, condensation, radiation

Тепловые трубы (ТТ) находят широкое применение в радиотехнике, электронике, оптико-технической промышленности и точном приборостроении для охлаждения, термостатирования и терморегулирования аппаратуры; в утилизации сбросной теплоты, для эффективной передачи теплоты в возобновляемых источниках энергии; в химической, лёгкой и пищевой промышленности соответствующих технологических процессов; в промышленности строительных материалов, для отопительных систем и систем кондиционирования воздуха жилых, общественных и промышленных зданий; в медицинской технике для нагрева и охлаждения крови, участков ткани, в криотерапии и т. д. [1–3].

Проектный метод при выборе принципиальных схем систем нагрева и охлаждения и обоснование параметров – важнейший этап проектирования таких систем. Это трудная задача, которая связана с нахождением наиболее рациональных и оптимальных решений [4–7].

Применение ТТ в различных областях техники позволяет улучшить теплотехнические характеристики оборудования, снизить массу и габариты, повысить качество и надёжность его работы, а в конечном счёте улучшить технико-экономические показатели выпускаемой научно-технической продукции [8, 9]. Последнее представляется важным в условиях модернизации технологических процессов совре-

менного производства и импортозамещения при освоении новых ресурсосберегающих технологий, снижения приведенных энергозатрат при их внедрении [10].

Основную трудность при этом представляет расчет конструкции и параметров в области зоны контакта между тепловой трубой и теплообменивающей поверхностью. Ограниченные размеры зазоров в зоне контакта поверхностей препятствуют возникновению сильных конвективных токов. Если  $(Gr \cdot Pr) < 10^3$ , то конвективным теплообменом также можно пренебречь. Соответственно термическое сопротивление контакта определяется двумя величинами – термическим сопротивлением непосредственного контакта  $R_m$  и термическим сопротивлением среды  $R_c$ . Если предположить, что влияние последних друг на друга незначительно, то общее термическое сопротивление контакта в первом приближении можно выразить уравнением для параллельно «включенных» проводимостей

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_m} + \frac{1}{R_c}, \quad (1)$$

где  $R_m$  – термическое сопротивление материала,  $(K \cdot m^2)/Вт$ ;  $R_c$  – термическое сопротивление среды,  $(K \cdot m^2)/Вт$ .

Определение полного контактного сопротивления, как правило, основывается на результатах опытного исследования контакта шероховатых поверхностей. Так как тепло через прослойку передается только теплопроводностью, то термическое сопротивление среды выражается формулой

$$R_c = \frac{\delta_c}{\lambda_c}, \quad (2)$$

где  $\delta_c$  – толщина слоя среды, м;  $\lambda_c$  – коэффициент теплопроводности среды,  $Вт/(K \cdot м)$ .

Вследствие сужения проводящего пути при течи тепла к выступам шероховатости, а затем по выступам до мест фактического контакта соприкасающихся поверхностей возникает дополнительный перепад температур по сравнению с переносом тепла по сплошному металлу. Это равносильно введению дополнительного термического сопротивления фактического (металлического) контакта  $R_m$ .

Как показывают эксперименты с плотной посадкой алюминиевых термоплат испарителя (И) и конденсатора (К) на цилиндрическую тепловую трубку [2, 8], при подводе теплового потока к термоплате испарителя  $Q_{исп}$  наблюдается разогрев корпуса ТТ. От термоплат испарителя до термоплат конденсатора выбирается зазор, а сама термоплата увеличивается, при этом фиксируется перепад температур до полной стабилизации величины в течение 10-15 мин. Это означает, что термическое сопротивление тоже является переменной величиной. Нестационарный режим переходит в стационарный. Запуск ТТ заканчивается.

Если сжимающая нагрузка приложена к двум сопряженным плоским поверхностям, наличие технической или другой шероховатости поверхности приводит к несовершенству контакта по границе их раздела. Как показывает анализ, такой несовершенный контакт характеризуется большим числом «контактных» пятен. Они разбросаны по всей поверхности контактирования. Степень несовершенства контакта измеряется как распределением размеров этих контактных пятен, так и долей фактической площади контакта от кажущейся или номинальной площади, от используемых материалов и т. п.

Расчет степени несовершенства контакта имеет особое значение для ряда технических задач. К ним относится определение теплового и электрического сопротивлений контакта, а также уплотняющей способности, трения, износа и смазки. При тепловом контакте поверхностей несовершенству контактирования приводит к резкому повышению температуры на границе раздела. Другими словами, температуры поверхностей при контакте все более различаются друг от друга. При этом их равенство характерно лишь для идеального контакта. Такой температурный перепад играет важную роль в тепловых свойствах композиционных материалов, а также в биомедицинском и аэрокосмическом приборостроении [2, 3, 9].

В микроэлектронике несколько слоев материалов используются для компоновки электронных устройств. Несовершенство контакта между слоями существенно влияет на их электрические и тепловые характеристики, регулируя их.

В [11] показано, что меньшие пятна контакта, скорее всего, находятся в состоянии пластической деформации, а большие пятна, доминирующие в теплопроводности, испытывают упругую деформацию. Более того, повторные нагружение и нагрузка делают поверхность тверже и тем самым способствуют упругой деформации (закон Гука).

Рассмотрим модель цепи тепловых сопротивлений. Контакт между двумя шероховатыми поверхностями можно моделировать некоторой эффективной поверхностью, находящейся в контакте с гладкой поверхностью. Такой воображаемый контактный процесс воспроизводит большое число контактных пятен.

Каждое контактное пятно характеризуется некоторым сопротивлением тепловому потоку через поверхность. Поскольку крупные неровности содержат более мелкие [11], это сопротивление складывается из целого ряда сопротивлений. На плоскости контакта одновременно присутствуют все пятна. Поэтому данные сопротивления действуют параллельно. Поскольку в пределе бесконечно малой площади число островов (пятен) становится бесконечным, поток тепла передается через бесконечную и чрезвычайно сложную сеть тепловых сопротивлений.

Как показывает анализ, такая модель контактных пятен неправомерна с точки зрения трения и коэффициента теплоотдачи, так как между элементами шероховатостей всегда находится другая среда (например, воздух или паста) с иными теплофизическими свойствами по сравнению с твердыми поверхностями.

В реальных случаях контакт двух поверхностей не может быть идеальным. Контакт ухудшается с уменьшением класса чистоты обработки этих поверхностей и от влияния других факторов. В результате площадь фактического контакта существенно меньше площади соприкасающихся поверхностей. Последние могут быть разделены слоем воздуха (другого газа или жидкости), оксидными пленками или пастой и т. п. Это обуславливает повышенное термическое сопротивление из-за меньших коэффициентов теплопроводности газовой прослойки (по сравнению с твердым телом) или пастой, отклонение теплового потока от нормали к поверхности контакта, повышенное термическое сопротивление оксидной пленки, загрязнения и т. п.

При этом сопротивление теплопередаче фактического контакта  $R_k$  уменьшается с ростом сжимающих усилий на контактирующих поверхностях, при повышении чистоты их обработки, температуры в зоне контакта, уменьшении твердости контактирующих материалов. В зоне контакта происходит заметное изменение температуры (в зависимости от усилий – до сотни градусов) и термосопротивления.

Ниже приведен предлагаемый полуэмпирический метод расчета теплопередачи через контактное пятно между ТТ и тепловыделяющей поверхностью прибора. Расчет поверхности теплообмена и проходного сечения по воздуху в конденсаторе ТТ осуществляется следующим образом.

1. Определяется общее число ребер на трех сторонах конденсатора:

$$N=3n, \text{ шт.},$$

$$k=\Delta_{м.р}+\delta_p, \text{ мм},$$

$$n=L/k, \text{ шт.},$$

где  $n$  – число ребер на одной стороне ТТ, шт.;

$k$  – число ребер на трех сторонах, шт.;

$L$  – длина коллектора, мм;

$\Delta_{м.р}$  – межреберное расстояние, мм;

$\delta_p$  – толщина ребра, мм.

2. Определяется площадь поверхности одного ребра:

$$f' = 2(\delta_p \cdot h + l \cdot h) + \delta_p \cdot l, \text{ мм}^2,$$

где  $h$  – высота ребра, мм;

$l$  – длина ребра, мм.

Рассчитывается площадь поверхности ребер на трех сторонах ТТ:

$$f_{\Sigma}^p = f' \cdot N, \text{ мм}^2.$$

3. Определяется площадь межреберной поверхности:

$$f_{м.р} = \Delta_{м.р} \cdot l, \text{ мм}^2.$$

Полная площадь межреберной поверхности составляет

$$f_{\Sigma}^{м.р} = f_{м.р} (N-3), \text{ мм}^2.$$

4. Суммарная поверхность теплообмена составляет

$$\Sigma F^{TO} = f_{\Sigma}^p + f_{\Sigma}^{м.р}, \text{ мм}^2.$$

5. Рассчитывается площадь проходного сечения по воздуху:

$$S_g = \Delta_{м.р} \cdot h \cdot (N-3), \text{ мм}^2.$$

6. Скорость воздуха определяется по формуле

$$w_g = \frac{G}{3600 \cdot \rho_g \cdot S_g}, \text{ м/с},$$

где  $G$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho_g$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

7. Определяется гидравлический диаметр  $d_r$ :

$$d_r = \frac{4S_g}{P_g}, \text{ мм},$$

где  $P_g$  – смоченный периметр, мм.

8. Через вычисление критерия Рейнольдса определяется режим течения:

$$Re = \frac{w_g \cdot d_r}{\nu},$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость воздуха, м<sup>2</sup>/с.

9. Для указанного режима течения воздуха рассчитывается критерий Нуссельта

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8}.$$

10. Конвективный коэффициент теплоотдачи определяется по формуле

$$\alpha_{конв} = \frac{Nu \cdot \lambda_{cp}}{d_r}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)},$$

где  $\lambda_{cp}$  – коэффициент теплопроводности среды (например, воздуха), Вт/(м·К).

11. Определяется эффективность оребрения, рассчитывается гиперболический тангенс:

$$\eta = \frac{th(mh)}{mh},$$

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha_{\text{конт}}}{\lambda_m \cdot \delta_p}},$$

где  $th(mh)$  – ширина конденсатора, мм.

12. В практических расчетах термическое сопротивление фактического контакта для поверхности механической чистовой обработки не выше 8-9 классов можно найти при помощи зависимости

$$R_m = \frac{3 \cdot \sigma_e \cdot S_m}{2,1 \cdot N \cdot \lambda_{cp}} \cdot 10^{-4}.$$

13. Рассчитывается суммарный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_{\text{конт}} = \alpha_{cp} + \alpha_{m'}$$

где  $\alpha_{cp}$  – коэффициент теплоотдачи среды в местах контакта, Вт/(м·К<sup>2</sup>);

$\alpha_{m'}$  – коэффициент теплоотдачи материала в местах контакта, Вт/(м·К<sup>2</sup>).

14. Определяется коэффициент теплоотдачи среды в местах контакта

$$\alpha_{cp} = \frac{\lambda_{cp}}{h_{cp}}, \text{ Вт/(м·К}^2\text{)},$$

где  $h_{cp}$  – высота микрошероховатости, м.

15. Коэффициент теплообмена в местах контакта «металл-металл» вычисляется по формуле

$$\alpha_m = 2,1 \cdot 10^4 \frac{p \cdot \lambda_m}{3\sigma}, \text{ Вт/(м·К}^2\text{)},$$

где  $p$  – давление контакта, кг/см<sup>2</sup>;

$\lambda_m$  – коэффициент теплопроводности материала (например, алюминия), Вт/(м·К);

$\sigma$  – предел прочности материала, кг/мм<sup>2</sup>.

16. Определяется перепад температуры по поверхности контакта «коллектор-ТТ»:

$$\Delta t = \frac{Q_{\text{зад}}}{\alpha_{\text{конт}} \cdot F_{\text{конт}}}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $Q_{\text{зад}}$  – заданное значение теплового потока, Вт;  $F_{\text{конт}}$  – площадь поверхности контакта «коллектор-ТТ», м<sup>2</sup>.

17. Перепад температуры по толщине основания ТТ в месте контакта «коллектор-ТТ» рассчитывается через термическое сопротивление плоской стенки ТТ:

$$\Delta t_{\text{осн}} = \frac{Q_{\text{зад}} \cdot \delta}{F_{\text{конт}} \cdot \lambda_m}, \text{ } ^\circ\text{C},$$

где  $\delta$  – толщина основания ТТ, м.

18. Температура поверхности ТТ определяется по формуле

$$t_{\text{ТТ}} = t_{\text{кол}} - \Delta t_{\text{конт}} - \Delta t_{\text{осн}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

19. Внешний теплообмен определяется по расчетному тепловому потоку

$$Q_{\text{расч}} = \alpha_{\text{конт}} \cdot \Sigma F_{\text{Т.О}} (t_{\text{ТТ}} - t_{\text{осн}}) \cdot \eta, \text{ Вт.}$$

Расчетное значение теплового потока сравнивается с заданным, и если погрешность находится в пределах допустимой (до 10 %), то расчет считается выполненным верно. Если же погрешность выше допустимой, то расчет делается вновь с измененными исходными данными.

**Выводы.** Для инженерного расчета параметров коллекторов с ТТ разработана упрощенная методика расчета с более простыми вычислительными средствами. Она использует наряду с аналитическими также эмпирические описания и средства рассматриваемых процессов переноса. Допущения, которые вводятся в дополнение к общепринятым, отражают специфику применения и особые свойства ТТ при эксплуатации.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тепловые трубы: теория и практика / С. Чи; пер. с англ. В.Я. Сидорова. М.: Машиностроение, 1981. 207 с.
2. Лукс А.Л., Матвеев А.Г., Лукс А.А. Исследование тепловых труб и двухфазных термосифонов как перспективных базовых элементов систем теплоснабжения и вентиляции в ЖКХ и промышленности // Повышение энергоэффективности зданий и сооружений: межвузовский сборник научных трудов / СГАСУ. Самара, 2006. С. 111-119.
3. Зеленцов Д.В., Лукс А.Л. Отопление помещений на основе использования отопительных приборов на тепловых трубах // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сб. статей / под ред. М.И. Бальзаникова, К.С. Галицкова, А.К. Стрелкова; СГАСУ. Самара, 2015. С. 315-317.
4. Смирнов Г.Ф. Основы расчета эффективности систем с низкотемпературными ТТ. Минск: ИФЖ, 1975. Т.28. № 2. С. 198-207.
5. Васильев Л.Л. Теплообменники на тепловых трубах. Минск: Наука и техника, 1981. 143 с.
6. Фролов В.П., Щербаков С.Н., Фролов М.В., Шелгинский А.Я. Эффективность использования тепловых насосов в централизованных системах теплоснабжения // Новости теплоснабжения. 2004. № 07 (47). С. 34-39.
7. Пуринг С.М., Ватузов Д.Н. Оптимизация выбора способа теплоснабжения жилых многоквартирных домов. В сборнике: Инновационные стратегии развития экономики и управления Сборник статей. Самарский государственный архитектурно-строительный университет. Самара, 2015. С. 313-316.
8. Лукс А.Л., Крестин Е.А., Матвеев А.Г., Веснин В.И. Экспериментальное исследование режимов работы вы-

сокоэффективных тепловых труб с  $\Omega$ -образной капиллярной канавчатой структурой фитиля // Градостроительство и архитектура. 2016. № 3 (24). С. 17-24. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.3.

9. Лукс А.Л., Зеленцов Д.В. Схема и состав газо(паро)жидкостного теплообменного устройства // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 61-й региональной НТК / СамГАСА. Самара, 2004. С. 209-210.

10. Novopashina N., Puring S. The use of energy saving technology as the basis for the state program implementation. В сборнике: MATEC Web of Conferences Ser. "International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City"" 2017. С. 06023.

11. Лукс А.Л., Матвеев А.Г. Исследование высокоэффективных аммиачных тепловых труб энергосберегающих систем терморегулирования крупногабаритных конструкций космического аппарата // Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия. 2007. № 6(56). С. 401-418.

Об авторах:

**ЛУКС Александр Леонидович**

кандидат технических наук, старший научный сотрудник по механике жидкостей, газа и плазмы, ведущий научный сотрудник НИЛ «Теплоэнерготехника» Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва 443011, Россия, г. Самара, ул. Академика Павлова, 1

**LUKS Alexander L.**

PhD in Engineering Science, Senior Researcher for the Mechanics of Liquids, Gas and Plasma, Leading Scientific Researcher of NIL «Teplenergotekhnika» Samara National Research University 443011, Russia, Samara, Akademika Pavlova str., 1

**МАТВЕЕВ Андрей Григорьевич**

заведующий научно-исследовательской лабораторией «Теплоэнерготехника» Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва 443011, Россия, г. Самара, ул. Академика Павлова, 1

**MATVEEV Andrey G.**

Head of NIL «Teplenergotekhnika» Samara National Research University 443011, Russia, Samara, Akademika Pavlova str., 1

**ЗЕЛЕНЦОВ Данила Владимирович**

кандидат технических наук, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 337-81-03 Email: dvzelentsov@mail.ru

**ZELENTSOV Danila V.**

PhD in Engineering Science, Head of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 337-81-03 Email: dvzelentsov@mail.ru

Для цитирования: Лукс А.Л., Матвеев А.Г., Зеленцов Д.В. Методика расчета тепловых труб, отводящих тепло от тепловыделяющей поверхности // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.35-39. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.6.

For citation: Luks A.L., Matveev A.G., Zelentsov D.V. Method for calculating heat pipes that divert heat from the heat-emitting surface // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 35-39. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.6.

**В.В. ПАНЧЕНКО****ВОЗДУШНО-ЛУЧИСТОЕ ОТОПЛЕНИЕ НА БАЗЕ ДВУХКОНТУРНОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА С ИНФРАКРАСНЫМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ****AIR-RADIANT HEATING ON THE BASIS OF A TWO-FLOW HEAT GENERATOR WITH INFRARED EMITTERS**

*Разработана схема регенеративной установки лучистого отопления на основе двухконтурного теплогенератора, предложена система и форма теплоизлучающих воздуховодов. Показано, что система лучистого отопления более эффективна по сравнению с общепринятой конвективной схемой. Традиционно для отопления используется конвективная схема, в которой применяются радиаторы, установленные у пола, рабочим телом которых является вода. Предлагаемая регенеративная система лучистого отопления, рабочим телом в которой является воздух, основана на передаче тепла в виде инфракрасного электромагнитного излучения. Разработан эффективный двухконтурный теплогенератор с инфракрасными излучателями, который отдает тепло только с излучающей поверхности теплообменников. Данная система позволяет снизить капиталовложения, эксплуатационную себестоимость и повысить эффективность системы отопления.*

**Ключевые слова:** лучистый теплообмен, конвекция, теплогенератор, воздуховод, температура, инфракрасное излучение

Лучистое отопление известно уже около двух тысячелетий, прежде всего в виде отопительных устройств, размещаемых в стенах и полу. Его следы были обнаружены в Азии и Европе, на территории Римской Империи. В устроенных для этой цели воздуховодах в качестве теплоносителя использовали дымовые газы кухни, а позже специально нагретый воздух. В России в 1902 г. был открыт обогрев способом, отличающимся от традиционного конвективного, но в связи с обилием в стране топливных ресурсов распространения в то время так и не получил. Эффективность данного открытия была отмечена на Западе. В качестве теплоносителя применялись вода и пар. В 1985 г. венгерский ученый профессор А. Мачкаши предложил идею – использовать в качестве теплоносителя воздух,двигающийся по замкнутой системе и отдающий тепло излучателям, установленным в местах, требующих обогрева [1]. Лучистая передача энергии при прочих равных условиях более эффективна, чем конвективная, так как при лучистом отоплении энергия беспрепятственно переносится на большие расстояния в объеме помещения, поэтому отопительные приборы можно располагать под потолком и в конструкциях ограждений.

*A scheme of a radiant heating regenerative system on the basis of a two-flow heat generator, and system and form of heat-radiating air ducts is proposed. It is shown that the system of radiant heating is more efficient as compared to the conventional convection system. Traditionally, the convective scheme of heating is used wherein radiators installed near the floor are used. Water serves as the working fluid in the radiators. The proposed radiant heating regenerative system is based on the transfer of heat in the form of infrared electromagnetic radiation. An efficient two-flow heat generator with infrared emitters has been developed, which gives off heat only from the radiating surface of heat exchangers. This system allows you to reduce investment, operating costs and improve the efficiency of the heating system.*

**Keywords:** radiant heat transfer, convection, heat generator, air duct, temperature, infrared radiation

Предлагаемая установка регенеративной системы лучистого отопления (РСЛО) использует метод передачи тепла в виде электромагнитного излучения, не вредного для здоровья человека, с помощью теплоносителя (воздуха), который циркулирует по замкнутой схеме [2].

Лучистое отопление вновь стали использовать только 40-50 лет назад, но его применение в современном смысле слова вышло на передний план лишь в 50-х гг. XX в. [3]. Здания и сооружения, возводимые в России до 2000 г., в отличие от западных имеют коэффициент термического сопротивления  $R_0 = 1,2 - 2,5$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ). В Европе коэффициент термического сопротивления достигает  $R_0 = 6 - 8$  ( $\text{m}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ), т.е. фактически в России мы отапливаем атмосферу [4].

В нашей стране достаточно полно разработаны теория лучистых потоков, методы оценки комфортности, способы расчета лучистых отопительных панелей, в том числе наиболее сложные случаи их совмещения с ограждающими конструкциями [5, 6]. Основным препятствием по широкому применению этого метода являлось отсутствие надежного, экономичного теплогенератора для нагрева воздуха в замкнутой системе.

После проведения множества расчетов и экспериментов с 2014 по 2016 гг. (д.т.н. В.В. Бирюком, д.т.н. М.А. Ковалевым, В.В. Панченко) создан и запатентован источник тепла – двухконтурный теплогенератор, а также предложена система и формы теплоизлучающих воздуховодов. Техническим результатом изобретения является создание высокотемпературной и эффективной регенеративной системы лучистого отопления. Известна система лучистого отопления (а. с. № 1206566, МПК F26D 15/00, БН №3.1986 г.), включающая в себя линейные греющие элементы и профилированные отражатели. Недостатком данного устройства является его невысокая эффективность. Наиболее близким к нашему техническому решению является система отопления (П. №2239130, RU, №2239130, C1, 2003 г.), содержащая корпус, в котором расположены теплоизлучающие элементы, соединенные с теплогенератором. Недостатком данной системы отопления также являлась ее невысокая эффективность.

Предложенный теплогенератор может работать на различных видах топлива: дрова, уголь, газ, дизтопливо и т. д., что не регламентирует его применение по видам отапливаемых помещений и климатических зон и наличию топливных ресурсов – подойдут любые отходы древесины, торф и т.п. Возможно применение инфракрасных электрических ламп [7]. Преимуществом их является возможность в широких пределах варьировать температуру поверхности нагревательных приборов от 0 до 1200 °С.

Эффективный нагреватель воздуха отдает тепло только с излучающей поверхности теплообменников. Он иной, чем существующие на сегодняшний день устройства нагрева для теплонесущего рабочего тела воздуха, потому что уже через несколько минут после включения нагреваемый поток воздуха начинает поступать в теплообменники. Так как воздух в теплообменнике полностью находится в замкнутом потоке первого контура, он сразу передает ее на поверхность излучателей системы.

Изобретение предназначено для отопления отдельных зон или рабочих мест без необходимости обогрева всего объема помещения [2]. Излучатели подвешиваются к потолку, не занимая полезной площади помещения, а их незначительный вес не нарушает статику строительных конструкций. Тем самым достигается значительная экономия энергии при вентиляции помещений.

Устройство безопасно и долговечно в эксплуатации. Регенеративная система с лучистым отоплением содержит теплоизлучающие элементы, соединенные с теплогенератором, вентилятором второго контура, сообщающимся с атмосферой. Теплоизлучающие элементы выполнены в виде воздуховодов, соединенных с теплогенератором и образующих с ним замкнутую систему, в которой установлен вентилятор-дымосос. Теплогенератор выполнен двухконтурным. Первый контур состоит из корпуса

с расположенными в нем рядами нагревательных элементов, охватывающих второй контур. На рис. 1 представлен общий вид регенеративной системы лучистого отопления (РСЛО), воздуховоды которой размещаются под потолком помещения, протяженность и конфигурация их могут варьироваться. На рис. 2 представлены схема и общий вид разработанного двухконтурного теплогенератора для РСЛО и дано описание элементов системы.

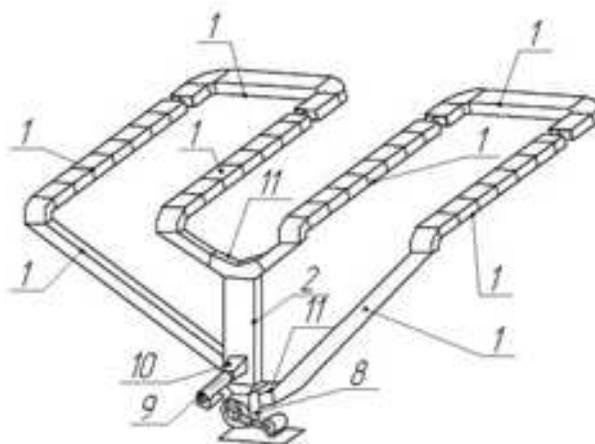


Рис.1. Общий вид РСЛО

Теплогенератор состоит из корпуса первого контура 3, в котором установлены ряды нагревательных элементов, состоящих из теплообменников 4, с встроенными в них кварцевыми галогеновыми термоизлучательными лампами 5. Корпус второго контура 6 установлен в первый контур 3 и имеет возможность сообщения с первым контуром 3 посредством заслонки 7. Первый контур 3 подсоединен к дымоосу 8, второй 6 – к вентилятору 9 через дефлектор 10. Воздуховоды 1 состоят из частей, соединенных переходами 2 и 11 с теплогенератором.

Данная система работает следующим образом. Атмосферный воздух через вентилятор 9 попадает во второй контур 6 теплогенератора и через заслонку 7 в первый контур 3. Воздух нагревается там с помощью нагревательных элементов, состоящих из теплообменников 4 и установленных в них кварцевых галогеновых термоизлучательных ламп 5, и циркулирует по воздуховоду 1. Дымосос 8 обеспечивает циркуляцию воздуха по замкнутому циклу. Атмосферный воздух, попадающий через вентилятор 9 во второй контур, обеспечивает необходимый температурный режим для работы кварцевых галогеновых термоизлучательных ламп 5. Воздуховод 1 выполнен в виде короба с излучающей поверхностью из стали и верхней части из оцинкованной стали или алюминия для создания эффекта экрана, т.е. для повышения отражающей способности теплового потока в сторону излучающей поверхности. Данная система отопления позволяет получить температуру циркулирующего по первому контуру воздуха более 500 °С.

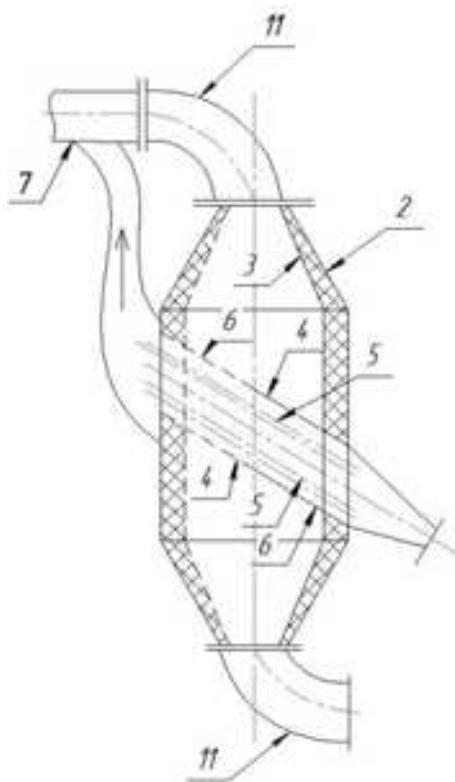


Рис.2. Схема и общий вид двухконтурного теплогенератора для РСЛО

Предлагаемая система отопления – РСЛО отличается от известных тем, что нагревает не весь объем помещения, а лишь пространство, над которым она установлена. Это актуально для зданий и сооружений России, так как они имеют очень низкий коэффициент термического сопротивления и требуют значительных капиталовложений для теплоизоляции. Данная система позволяет снизить капиталовложения, эксплуатационную себестоимость и повысить эффективность системы отопления.

**Выводы.** Проведенные эксперименты показали, что по сравнению с общепринятой конвективной схемой предлагаемая более эффективна:

- температура воздуха в помещении ниже за счет эффекта обогрева только поверхностей, а не объема воздуха;

- отсутствие движения воздуха и пыли, образующихся при различных технологических процессах, что повышает комфортность помещения;

- тепло направлено непосредственно в нижнюю зону помещения, поэтому поверхностями с самой высокой температурой являются пол и технологическое оборудование. По этой причине установки РСЛО широко применяются в помещениях с высокими потолками;

- система требует меньше времени для приведения ее в рабочий режим, за счет чего эксплуатационные расходы снижаются;

- система позволяет обогревать отдельные зоны или рабочие места без необходимости обогрева всего помещения;

- отпадает необходимость строительства котельных и прокладки теплотрасс;

- минимальные потери тепла, так как перед установкой РСЛО в зданиях и сооружениях проводится их обследование с использованием тепловизора, который дает полную картину;

- быстрый монтаж-демонтаж, перенос приборов (от двух дней до двух недель);

- исключается замерзание системы (отсутствие воды);

- оперативный прогрев помещения (15-30 мин);

- излучатели подвешиваются к потолку, не занимая полезной площади, а их незначительный вес не нарушает статику строительных конструкций;

- система позволяет программировать дневной, ночной или недельный режим поддержания необходимой температуры;

- достигается значительная экономия энергии при вентиляции помещений, так как удаляется верхняя, менее нагретая часть воздуха.

Кроме обогрева помещений, РСЛО могут использоваться в технологических процессах при сушке окрашенных металлических изделий, так как греется металл, а не краска; при сушке поверхностей, окрашенных порошковой краской, где требуется

импульс тепла 250–280 °С в течение 1,5–2,5 мин; при сушке зданий и сооружений, в том числе и подземной части, после затопления и т. д.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Мачкаши А., Банхиди Л.* Лучистое отопление. М.: Стройиздат, 1985. 464 с.
2. *Панченко В.В.* Воздушно-лучистое отопление // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей [Электронный ресурс] / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, А.К. Стрелкова. Самара: АСИ СамГТУ, 2017.
3. *Зеленцов Д.В., Гордеева Т.Е.* Улучшение тепловлажностного режима жилого помещения // Градостроительство и архитектура. 2013. №2 (10). С. 94–96.
4. *Никифоров Г.В.* К вопросу об экономической эффективности автономных систем отопления // Главный энергетик. 2014. №2. С. 16-19.
5. *Блох А.Г., Журавлев Ю.А., Рыжков Л.Н.* Теплообмен излучением: справочное издание. М., 1991. 431 с.
6. *Толстова Ю.И., Шумилов Р.Н.* Математическая модель теплового режима помещений при лучистом отоплении // С.О.К. 2016. №8. С. 42–48.
7. *Табунщиков Ю.А., Бродач М.М.* Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002.
8. *Панченко В.В.* К вопросу об эффективности регенеративной системы лучистого отопления // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16, № 1. С. 137–141.

Об авторе:

#### **ПАНЧЕНКО Валерий Владимирович**

соискатель кафедры теплотехники и тепловых двигателей Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королёва  
443086, Россия, г. Самара, ул. Московское шоссе, 34

#### **PANCHENKO Valery V.**

applicant of the Department of thermotechnics and heat engines  
Samara National Research University  
443086, Russia, Samara, street the Moscow highway, 34

Для цитирования: *Панченко В.В.* Воздушно-лучистое отопление на базе двухконтурного теплогенератора с инфракрасными излучателями // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.40-43. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.7.  
For citation: *Panchenko V.V.* Air-radiant yeating on the basis of a two-flow heat generator with infrared emitters // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 40-43. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.7.

# ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ



УДК 628.336.3:621.385.6

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.8

**В.И. КИЧИГИН**  
**М.В. ЗЕМЛЯНОВА**  
**Е.И. ВЯЛКОВА**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ЖИДКИХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

STUDY OF THE POSSIBILITY OF USING MICROWAVE RADIATION  
FOR THE TREATMENT OF LIQUID MUNICIPAL WASTE

*Статья посвящена вопросу изучения влияния сверхвысокочастотного электромагнитного излучения (СВЧ ЭМИ) на свойства осадков сточных вод. Показана возможность использования СВЧ-излучения для их обработки. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие положительное влияние исследуемого технологического процесса на степень и скорость уплотнения смеси осадков и активного ила, улучшение их влагоотдачи, увеличение выхода примесей тяжелых металлов в декантированную воду, снижение удельного сопротивления фильтрации и капиллярного васывания осадка, изменение пространственной структуры осадков. Предложена гипотеза действия СВЧ ЭМИ на осадки сточных вод.*

**Ключевые слова:** осадки стоков, сверхвысокочастотное электромагнитное излучение, обработка осадков, уплотнение, влагоотдача, удельное сопротивление фильтрации, структура осадков, скорость нагрева

Проблема экологии природных источников воды и прилегающих территорий напрямую связана с вопросом накопления и утилизации отходов жизнедеятельности человека, который является одним из самых трудно решаемых в нашей стране и за рубежом.

В России ежегодно образуется около 4,5 млрд. т отходов, и в настоящее время их общий накопленный неутраченный объем составляет примерно 82 млрд т. В стране практически не развита вторичная переработка и использование отходов, в том числе осадков сточных вод (ОСВ). На коммунальных предприятиях РФ в результате обработки сточных вод ежегодно образуется до 80 млн. м<sup>3</sup> осадков

*The article is devoted to the study of the influence of microwave electromagnetic radiation (UHF EMP) on the properties of sewage sludge. The possibility of using microwave radiation for their processing is shown. The results of experiments confirming the positive effect of the process under study on the degree and speed of compaction of a mixture of precipitation and activated sludge, improvement of their moisture yield, an increase in the yield of heavy metal impurities in decanted water, a decrease in the specific resistance of filtration and capillary suction of the sediment, precipitation. A hypothesis is proposed for the effect of UHF EMP on wastewater sludge.*

**Keywords:** sewage sludge, ultrahigh-frequency electromagnetic radiation, sediment treatment, compaction, moisture recovery, specific filtration resistance, precipitation structure, heating rate

с влажностью 96–97 %, или 2,5–3,0 млн. т по сухому веществу [1, с. 8].

Общее положение дел в сфере накопления, переработки и утилизации жидких коммунальных отходов населенных пунктов остается достаточно сложным – практически все они (за исключением некоторых крупных очистных станций, например в Москве, Санкт-Петербурге и Уфе) либо накапливаются на полигонах, либо утилизируются по «серым» схемам.

Количество осадков, образующихся в результате седиментации загрязнений из сточных вод, достаточно велико. Например, на городских очистных сооружениях канализации (ГОСК) Москвы их ежегодно образуется 25–30 тыс. м<sup>3</sup>, на очистных

сооружениях Новосибирска – 90–110 т/сут (по сухому веществу), в Алтайском крае общее количество сухого осадка, поступающего на иловые площадки, превышает 20 000 т/год. На ГОСК Нижнего Новгорода объём осадков составляет примерно 4 000 м<sup>3</sup>/сут [1], а на очистных сооружениях канализации Тюмени – около 12 460 т/год [2].

Осадки сточных вод содержат до 80 % органических и 20 % минеральных примесей. В их состав входят вещества, обладающие общетоксическими, токсикогенетическими, канцерогенными и другими негативными свойствами. В них могут содержаться тяжёлые металлы (Cr, Cd, Hg, Cu, Pb, Co, Zn, Mo и др.), патогенные организмы (бактерии, простейшие, гельминты, вирусы), нитраты, пестициды, эфиры, фенолы и другие опасные вещества.

Разносторонний видовой состав препятствует утилизации осадков в качестве сельскохозяйственных удобрений, несмотря на высокое содержание органических веществ. Согласно ГОСТ Р 54535-2011 «Ресурсосбережение. Осадки сточных вод» и Приказу Министерства природных ресурсов РФ от 15.06.2001 г. № 511 «Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды», осадки бытовых сточных вод относятся к III и IV классам опасности. Нормативный период самовосстановления природных кластеров составляет 10 и 3 года соответственно для осадков III и IV классов опасности. Однако, как показал опыт, высокая зараженность осадков гельминтами не снижается и после более длительных сроков хранения. Кроме того, ионы металлов способны активно мигрировать при выпадении дождей, таянии снега или сезонном подтоплении территорий. Накопления необезвреженных осадков занимают огромные площади, ухудшают санитарно-эпидемиологическое состояние территорий и со временем приводят к серьёзному угнетению окружающей среды.

К сожалению, только 10–15 % всех образующихся осадков в нашей стране обрабатываются по необходимой технологии, включающей в себя уплотнение, стабилизацию, обезвоживание и организованную утилизацию или удаление с территории очистных сооружений. Поэтому в современных условиях решение проблем обработки и утилизации ОСВ является наиболее актуальным для отечественных канализационных очистных сооружений и одним из важных вопросов обеспечения экологического и санитарного благополучия населения [1, 3].

К перспективным способам обработки ОСВ относятся использование комбинированных аппаратов для обезвоживания и термической сушки осадков, физические методы обработки и обезвреживания, технологии удаления тяжёлых металлов [4]. К физическим методам обработки ОСВ относится использование физических полей, например магнитных [5], а в последние годы особенно электромагнитных полей сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона, изу-

чение влияния которого на свойства объектов живой и неживой природы в СССР началось в 60-е гг. XX в. Наибольший интерес представляет СВЧ электромагнитное неионизирующее излучение в наиболее активном диапазоне волн ( $10^{-1}$ – $10^{-2}$  м), обладающее выраженным дезинфицирующим эффектом. Было отмечено [6], что магнитное и электромагнитное излучения обладают широким спектром воздействия на различные водные системы: повышаются температура, адсорбция и растворение веществ; изменяется поверхностное натяжение воды; увеличиваются концентрация кислорода и его окислительная активность; ускоряются кристаллизация и коагуляция; уменьшается степень смачивания водой твёрдых поверхностей; повышается скорость испарения; изменяются электрохимические процессы.

Ряд исследователей [6,7] отмечали, что под действием СВЧ-излучений средней и высокой интенсивности действительно происходит значительное повышение температуры биологических объектов и возникает антибактерицидный эффект. Ими получен значительный клинический и экспериментальный материал, не укладывающийся в рамки тепловой концепции. Например, было обнаружено отчетливое действие на организм СВЧ-излучений малой интенсивности, когда температура повышалась несущественно – даже в случае нагревания биологических объектов. Выраженность и направленность СВЧ-эффектов, а иногда даже их характер существенно отличались от эффектов действия конвективного тепла при одинаковой действующей энергии.

По мнению ряда авторов [8,9] биологическое воздействие электромагнитных полей радиочастот характеризуется *тепловым действием* и *нетепловым эффектом*. Под тепловым действием гигиенисты [10] понимают интегральное повышение температуры тела или отдельных его частей при общем или локальном облучении и считают, что *нетепловой эффект* связан с переходом электромагнитной энергии в объекте в нетепловую форму энергии, а именно в энергию молекулярного резонансного истощения, фитохимической реакции и другие виды.

Исследованием влияния электромагнитных волн на изменение свойств осадков сточных вод было доказано [11], что использование определенных электромагнитных полей повышает активность биоценоза комплекса биологической очистки и до 40 % увеличивает окислительную мощность канализационных аэрационных сооружений. В работе [10] было показано, что СВЧ-обработка активного ила с предприятий пищевой промышленности приводит к существенному увеличению скорости его осаждения и степени уплотнения, а в работе [12] было отмечено, что микроволновая обработка осадков сточных вод позволяет обеспечить эффективное удаление примесей тяжёлых металлов. В Китае [13] изучали изменение обезвоживаемости активного ила после СВЧ-обработки, а в Польше [14] – вопросы возможности применения

микроволновой энергии для кондиционирования различных смесей осадка и активного ила.

На сегодня известны способы магнитной и СВЧ-обработки некоторых стоков и осадков. Например, безреагентной обработки и обезвреживания осадков сточных вод [15]; обеззараживания промышленных сточных вод в импульсном электромагнитном устройстве [16]; антибактериальной обработки потока жидкой среды посредством воздействия на закрученный поток жидкости магнитным и электрическим полями [17]; безреагентной очистки сточных вод и обеззараживания брикетов осевшего ила в СВЧ-печах [18]. Е.В. Левиным [19] создана и запатентована установка для СВЧ-обработки осадков сточных вод, обеспечивающая непрерывность их обезвреживания до влажности 60-90 %.

Однако вопросы влияния СВЧ электромагнитного излучения на процессы обработки осадков сточных вод и преимущества данного метода пока недостаточно изучены. Настоящие эксперименты

по изучению влияния электромагнитных волн на степень уплотнения и свойства осадков проводились в химической лаборатории городских очистных сооружений канализации г. Тюмени. Электромагнитная обработка осуществлялась в СВЧ-печи промышленного производства мощностью 0,8 кВт и на авторской опытной СВЧ-установке «Поток ЭМ-1» проточного типа [20].

Было установлено (рис.1), что СВЧ-обработка положительно влияла на степень и скорость уплотнения смеси осадков из первичных отстойников и избыточного активного ила. Так, объём осадков в среднем снижался на 37,5 %. Активный ил уплотнялся на 33 % интенсивнее, чем смесь осадков. Электромагнитная обработка смеси осадков повышала влагоотдачу. Так, при облучении осадков в течение 5 мин продолжительность капиллярного всасывания осадков уменьшалась в среднем в 1,2 раза (в сравнении с необработанным осадком), а влажность снижалась на 3-4 %.

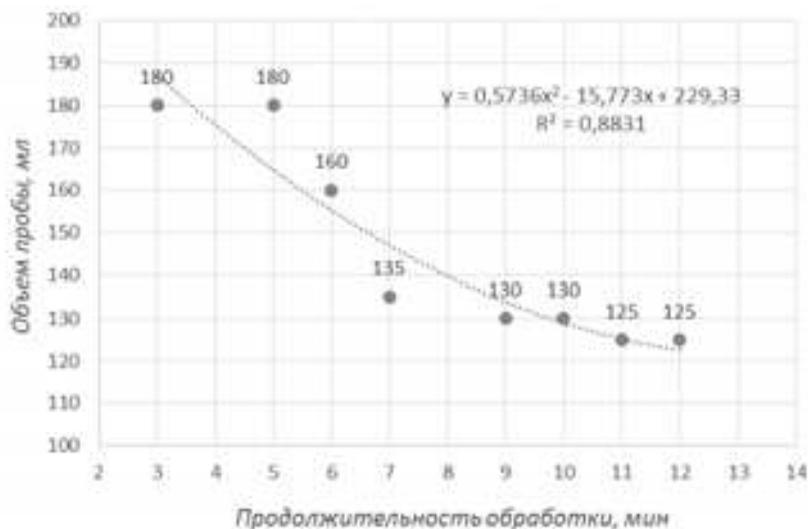


Рис. 1. Зависимость изменения объема неуплотнённого осадка от продолжительности его обработки СВЧ ЭМИ

Улучшались и другие свойства осадков. Например, удельное сопротивление фильтрации снижалось в среднем в 5,4 раза (рис. 2), зольность увеличивалась на 6,1 % (рис. 3), существенно уменьшалось прилипание к поверхностям, отсутствовала загниваемость осадков в течение двух суток после обработки (наступала его стабилизация), происходила практически полная дезинфекция осадков, увеличивался выход примесей тяжёлых металлов в декантированную воду (см. таблицу). Значительно изменялась пространственная структура осадков (она становилась мелкодисперсной, более равномерной, в сравнении с традиционной термической обработкой).

Попутно отметим, что в процессе исследований было обнаружено пока малообъяснимое явление

(рис. 4), при котором удельное сопротивление фильтрации смеси осадков при продолжительности их СВЧ-обработки до 4,5 мин сначала снижалось с  $37,2 \cdot 10^{10}$  до  $6 \cdot 10^{10}$  г/см<sup>3</sup>, а к восьмой минуте обработки – возрастало до  $20,5$  г/см<sup>3</sup> (в 3,4 раза). Таким образом, продолжительность СВЧ-обработки осадка в течение 4-5 мин можно считать оптимальной.

Можно предположить следующую гипотезу действия сверхвысокочастотного электромагнитного излучения (СВЧ ЭМИ) на осадки сточных вод. Учитывая, что пространственная структура осадков сточных вод является коллоидной системой, включающей мелкодисперсные твёрдые частицы с суммарным отрицательным электрическим зарядом на поверхности коллоидных частиц, который вызывает

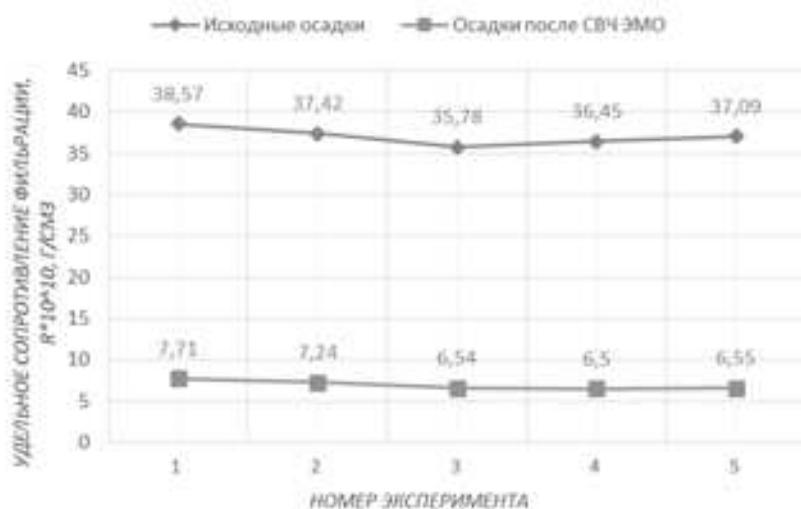


Рис. 2. Сравнение удельного сопротивления фильтрации исходной смеси осадков и осадков после СВЧ-обработки

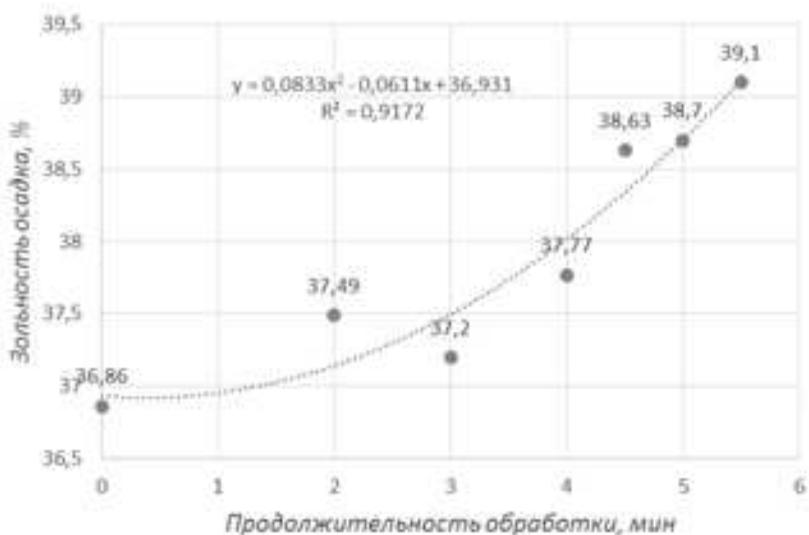


Рис. 3. Зависимость изменения зольности неуплотнённого осадка от продолжительности его обработки в СВЧ ЭМИ

Выход ионов тяжёлых металлов в декантированную воду

Показатель	Содержание ионов металлов в декантированной воде, г/дм <sup>3</sup>	
	без СВЧ-обработки	после СВЧ-обработки
Мышьяк	<0,002	0,004±0,002
Никель	0,011±0,003	0,020±0,006
Ртуть	0,013±0,008	0,017±0,010
Свинец	0,002±0,001	0,002±0,001
Хром (6+)	0,114±0,052	0,218±0,100



Рис. 4. Зависимость удельного сопротивления фильтрации смеси осадков от продолжительности их СВЧ-обработки

взаимное отталкивание, поэтому система устойчива и осадки не поддаются ни осаждению, ни фильтрации [21, с. 18-35]. Обработка осадков сточных вод СВЧ ЭМИ приводит к разрыву сольватных оболочек вокруг частичек осадка, образованию диссоциированных молекул и свободных радикалов, снижению величины электрических зарядов частиц (то есть величины их дзета-потенциала) и возникновению условий смещения равновесия коллоидных систем и, как следствие, к улучшению влагоотдающих свойств осадков. За счёт повышения температуры осадка увеличивается испарение влаги, что ведет к уменьшению его объёма. Повышение активности кислорода ускоряет окислительные процессы разложения органики, которые дают *полезные побочные эффекты*: деструкцию клетчатки, снижение активности ферментов клетки микроорганизмов, дезинфекцию и уничтожение патогенных бактерий и яиц гельминтов. Все это существенно расширяет возможность повторного использования осадков, например, в качестве удобрения.

**Выводы.** 1. Обоснована и экспериментально подтверждена эффективность использования микроволнового излучения в процессах обработки осадков городских сточных вод. Установлено, что комбинированный эффект СВЧ-излучения дает ряд преимуществ по сравнению с обычным электротермическим нагревом, которые могут быть использованы в технологических очистках воды и обработки жидких коммунальных отходов. Предложена гипотеза механизма действия сверхвысокочастотного электромагнитного излучения на осадки сточных вод.

2. Установлено, что при СВЧ-обработке объём осадков в среднем снижался на 37,5 %, активный ил уплотнялся на 33 % интенсивнее, чем смесь осадков, улучшалась его влагоотдача. СВЧ-облучение осадков в течение 5 мин снижало продолжительность капиллярного всасывания осадков в среднем в 1,2 раза

(в сравнении с необработанным осадком) и снижало влажность на 3–4 %. Удельное сопротивление фильтрации снижалось в среднем в 5,4 раза, зольность увеличивалась на 6,1 %, отсутствовала загниваемость осадков в течение двух суток после обработки (наступала его стабилизация), происходила практической полная дезинфекция осадков, увеличивался выход примесей тяжёлых металлов в декантированную воду. Продолжительность СВЧ-обработки осадка в течение 4–5 мин можно считать оптимальной.

3. На основании полученных результатов исследования требуется разработка новых аппаратов, устройств, оборудования и технологических схем малых канализационных очистных станций. Внедрение технологий с использованием СВЧ ЭМИ может значительно улучшить ситуацию с утилизацией жидких коммунальных отходов на станциях малой производительности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кичигин В.И., Палагин Е.Д. Обработка и утилизация осадков природных и сточных вод / СГАСУ. Самара, 2008. 204 с.
2. Технологический регламент очистки сточных вод ГОСК г. Тюмени, 2009.
3. Беляева С.Д., Гюнтер Л.И. Управление осадками сточных вод – важнейшая экологическая проблема // Водоснабжение и санитарная техника. 2007. № 1. С. 5–9.
4. Туровский И.С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание. М.: ДеЛи принт, 2008. 376 с.
5. Класен В.И. Омагничивание водных систем. М.: Химия, 1978. 240 с.
6. Девятков Н.Д. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона длин волн на биологические объекты // Успехи физических наук. 1973. Т. 110, вып. 3. С. 453–454.
7. Исмаилов Э.Ш. Биофизическое действие СВЧ-излучений. М.: Энергоатомиздат, 1987. 144 с.

8. Zou T., Li H., Zhao N., Shi C. Electromagnetic and microwave absorbing properties of multi-walled carbon nanotubes filled with Ni nanowire [text] // *Journal of Alloys and Compounds*. 2010. Vol. 496. №1. Pp. 22–24.
9. Сапунов Г.С. Влияние СВЧ излучения на биологические объекты // *Elremont.ru/ Микроволновые печи* 2007. Режим доступа: [http://www.elremont.ru/svch/bt\\_rem19.php](http://www.elremont.ru/svch/bt_rem19.php) (дата обращения: 5.11.2017).
10. Гапоненков И.А. СВЧ-обработка осадков сточных вод пищевых производств // *Вестник МГТУ*. 2013. Т. 16. № 4. С. 681–686.
11. Никифорова Л.О. Интенсификация работы аэротенка с использованием избыточной энергии потока возвратного активного ила: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пенза: ПГАСА, 2002. 124 с.
12. Капустин В.И., Коржавый А.П. Новая безреагентная технология для очистки питьевой воды и осадков сточных вод // *Состояние и охрана окружающей среды в Калуге: информационный обзор*. Калуга, 2009. 42 с.
13. Qiang Yu. Physical and chemical properties of waste-activated sludge after microwave treatment // *Water research*. 2010. № 44. Pp. 2841–2849.
14. Wojciechowska E. Application of microwaves for sewage sludge conditioning // *Water research*. 2005. № 39. Pp. 4749–4754.
15. Патент RU 2569533 C1, C02F11/00. Безреагентный способ обработки и обеззараживания осадков сточных вод. 2014.
16. Патент RU 2123477 C1. Способ обеззараживания промышленных сточных вод. 1996.
17. Патент RU 2376247 C2, МПК C02F1/48. Способ антибактериальной обработки потока жидкой среды. 2006.
18. Патент RU 2431610 C2, МПК C02F9/12. Комплексный способ безреагентной очистки сточных вод и брикетирования ила. 2011.
19. Патент RU 2582415 C2, МПК C02F11/00. Установка СВЧ-обработки осадков сточных вод. 2014.
20. Землянова М.В. Новый способ улучшения водоотдающих свойств осадков сточных вод [Электронный ресурс] // *Сборник докладов международной конференции «Обработка и утилизация осадка сточных вод в коммунальном хозяйстве и промышленности»*. М., 2015. Режим доступа: <https://onedrive.live.com/redir?resid=423D4F47E402C445%212908> (дата обращения: 10.05.2015).
21. Кичигин В.И. Агрегация загрязнений воды коагуляцией. М.: Изд-во АСВ, 1997. 100 с.

Об авторах:

**КИЧИГИН Виктор Иванович**

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

**KICHIGIN Viktor I.**

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

**ЗЕМЛЯНОВА Марина Витальевна**

старший преподаватель кафедры водоснабжения и водоотведения Тюменский индустриальный университет 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38 тел. (3452) 53-92-98 E-mail: zemljanovamv@tyuiu.ru

**ZEMLYANOVA Marina V.**

Senior Lecturer of the Water Supply and Wastewater Chair Tumen State Industrial University 625000, Russia, Tyumen, Volodarskogo str., 38, tel. (3452) 53-92-98 E-mail: zemljanovamv@tyuiu.ru

**ВЯЛКОВА Елена Александровна**

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Тюменский индустриальный университет 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, тел. (982)789-53-54 E-mail: vjalkovaei@tyuiu.ru

**VYALKOVA Elena A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Tumen State Industrial University 625000, Russia, Tyumen, Volodarskogo str., 38, tel. (982)789-53-54 E-mail: vjalkovaei@tyuiu.ru

Для цитирования: Кичигин В.И., Землянова М.В., Вялкова Е.И. Исследование возможности использования СВЧ-излучения для обработки жидких коммунальных отходов // *Градостроительство и архитектура*. 2018. Т.8, № 1. С.44-49. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.8.

For citation: Kichigin V.I., Zemlyanova M.V., Vyalkova E.I. Study of the possibility of using microwave radiation for the treatment of liquid municipal waste // *Urban construction and architecture*. 2018. V.8, 1. Pp. 44-49. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.8.

С.А. МИНКИНА  
Л.Л. НЕГОДА  
Т.С. КУРМАЕВА

## ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ И ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ РАЙОНОВ ГОРОДА САМАРЫ, ГОРОДОВ И ПОСЕЛКОВ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

PREPARATION OF WATER FOR THE OPERATION OF BOILER AND HEATING NETWORKS IN THE DISTRICTS OF THE CITY OF SAMARA, CITIES AND TOWNS OF THE SAMARA REGION

*Рассматривается проблема качества воды, предназначенной для работы котельных и тепловых сетей на примере районов города Самары, а также городов и поселков Самарской области. Приведены результаты химического анализа природных вод районов города Самары, городов и поселков Самарской области. В качестве существенных показателей качества при выборе способов подготовки воды рассматриваются общая жесткость, карбонатная жесткость, сухой остаток исходной воды, водородный показатель. На основе учета показателей качества воды даны рекомендации по выбору способов водоподготовки в котельных для котлов различного типа и в зависимости от их тепловой мощности. Акцентируется внимание на правильном выборе способа умягчения в зависимости от показателей качества воды.*

**Ключевые слова:** котельные, тепловые сети, водоподготовка, химический анализ воды

*The problem of water quality is considered for the operation of boiler and heating networks in the example of the districts of the city of Samara, as well as cities and towns of the Samara region. The results of the chemical analysis of natural waters in the areas of the city of Samara, cities and towns of the Samara region are presented. As the main quality indicators in the choice of water preparation methods, the total hardness, carbonate hardness, the dry residue of the initial water, the hydrogen index are considered. Based on water quality indicators, recommendations are given on the choice of water treatment methods in boiler rooms for boilers of various types and depending on their thermal capacity. Attention is focused on the correct choice of the softening method depending on the water quality indicators.*

**Keywords:** boiler houses, heating networks, water treatment, chemical analysis of water

В котельных города Самары эксплуатируются котлоагрегаты – паровые и водогрейные, водотрубные и жаротрубные. В котельных Самарской области установлены старые водогрейные котлоагрегаты [1, с. 28].

Использование в котельных старых котлоагрегатов типа НР-18, «Факел-1Г», «Братск-1» с малоэффективным режимом работы (КПД брутто – 60-70 %) приводит к перерасходу топлива.

В ряде районов г. Самары, городах и поселках Самарской области в котельных либо отсутствуют системы химводоочистки, либо производится неполный цикл очистки воды [1, с. 29]. Это является причиной выхода из строя котельного оборудования, а отложение накипи в трубопроводах тепловых сетей приводит к внутренней коррозии трубопроводов [2, с. 56; 3, с. 43–45].

Полный цикл подготовки воды включает в себя следующие процессы: 1) очистка воды от грубодисперсных примесей; 2) умягчение воды; 3) дегазация воды.

Очистка воды от грубодисперсных примесей осуществляется на очистных сооружениях вне котельных, а при необходимости доочистки – в котель-

ных путем механической фильтрации через осветлительные фильтры.

В ряде котельных небольших городов и поселков, где нет промышленного или питьевого водопровода, котлы питаются водой непосредственно из рек или озер. В этом случае в исходной воде содержится большое количество грубодисперсных и коллоидно-растворенных примесей. Наличие их в воде приводит к появлению большого количества илистых отложений в нижней части корпуса жаротрубных котлов, что может привести к перегосу жаровой трубы [4, с. 28–29].

Особо важным при подготовке воды для котельных является правильный выбор способа умягчения в зависимости от показателей качества воды.

Существуют следующие способы умягчения воды: термический, реагентный, ионообменный, диализ (мембранный), комбинированный [5, с. 58–60]. В основном для умягчения воды используются ионообменный (Na-катионирование одно- и двухступенчатое, H-катионирование, совместное H-Na-катионирование), диализ, реагентный и комбинированный способы. Они позволяют выполнить глубокое умяг-

чение воды и обеспечивают остаточную жесткость 0,1-0,02 мг-экв/л и ниже, что является достаточным для работы всех видов котлоагрегатов [6, с. 87].

По результатам химического анализа качества воды [7, с. 149] была составлена таблица, в которую

внесены основные показатели [8, с. 334]: жесткость воды (общая, карбонатная, некарбонатная); водородный показатель.

Согласно результатам обследования (см. таблицу), общая жесткость воды по источникам водоснаб-

Основные показатели качества воды

№ п/п	Место отбора пробы воды	Жесткость, мг-экв/л			рН
		общая	карбонатная	некарбонатная	
1	2	3	4	5	6
Город Самара					
1	Ул. Молодогвардейская	3,6	2,5	1,1	8,5-10
2	Ул. Ташкентская	4,1	3,4	0,7	8,5-10
3	Ул. Воронежская	3,8	2,5	1,3	8,5-10
4	Ул. Физкультурная	4,8	3,9	0,9	8,5-10
5	Ул. Мичурина	5,0	3,0	2,0	8,5-10
6	Ул. Самарская	4,3	2,5	1,8	8,5-10
7	Ул. Арцыбушевская	4,6	2,5	2,1	8,5-10
8	Ул. Искровская	8,5	7,0	1,5	8,5-10
9	Ул. Солнечная	3,5	2,0	1,5	8,5-10
10	Ул. Ново-Вокзальная	3,6	2,4	1,2	8,5-10
11	Ул. Ярмарочная	3,5	2,2	1,3	8,5-10
12	Ул. Алма-Атинская	3,7	2,5	1,2	8,5-10
13	Ул. Саранская	4,6	2,9	1,7	8,5-10
14	Пос. Мехзавод (колодец)	15,3	-	-	8,5-10
15	Пос. Мехзавод (водопровод)	3,7	-	-	8,5-10
16	Пос. Красная Глинка (скважина)	12,4	9,5	-	8,5-10
17	Пос. Красная Глинка (водопровод)	9,5	5,8	-	8,5-10
18	Мкр. 116 километр	14,0	-	-	8,5-10
19	Ост. Пирамида (озеро)	9,9	-	-	8,5-10
20	Октябрьский р-н (колодец)	16,2	-	-	8,5-10
21	Пос. Волгарь (скважина)	11,1	6,2	-	8,5-10
Города и поселки Самарской области					
1	Пос. Рубежное (колонка)	7,2	7,1	0,1	8,5-10
2	Пос. Рубежное (скважина)	15,0	-	-	8,5-10
3	Г. Чапаевск (водопровод)	20,2	5,6	14,6	5,0
4	Г. Чапаевск (скважина)	18,4	5,6	12,8	8,5-10
5	Пос. Безенчук	7,7	5,8	1,9	8,5-10
6	Волжский р-н, у Черновского вдх. (колодец)	13,7	4,4	9,3	8,5-10
7	Пос. Б. Глушица (колодец)	12,5	7,5	5,0	8,5-10
8	Г. Октябрьск	10,4	-	-	8,5-10
9	Иса克林ский р-н	13,7	-	-	8,5-10
10	С. Покровка (колодец)	12,0	-	-	8,5-10
11	С. Черноречье	8,3	-	-	8,5-10
12	Пос. Алексеевка (колодец)	16,4	-	-	8,5-10
13	Пос. Управленческий	13,1	-	-	8,5-10
14	Пос. Кряж	14,1	-	-	8,5-10
15	С. Кошки (водопровод)	7,4	-	-	6,8

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
16	С. Кошки (колодец)	20,0	-	-	8,5-10
17	С. Белозерки	14,4	-	-	8,5-10
18	Пос. Зубчаниновка (скважина)	12,6	-	-	8,5-10
19	Пос. Верхняя Подстепновка	23,5	-	-	8,5-10
20	Пос. Курумоч	8,6	-	-	8,5-10
21	Пос. Преображенка (скважина)	18,2	-	-	8,5-10
22	Пос. Тимашево (скважина)	15,5	-	-	8,5-10
23	Борский р-н (колодец)	20,2	-	-	8,5-10
24	Г. Новокуйбышевск	23,0	-	-	6,7
25	Г. Кинель (водопровод)	6,5	-	-	6,9
26	Г. Кинель (скважина)	32,5	-	-	8,5-10
27	Пос. Шангала (водопровод)	14,0	-	-	8,5-10
28	Пос. Кротовка (водопровод)	6,7	-	-	8,5-10
29	Пос. Кротовка (скважина)	11,0	-	-	8,5-10
30	Пос. Смышляевка	16,0	-	-	8,5-10
31	Г. Тольятти, дачный массив	2,7	-	-	8,5-10
32	Пос. Черновка	8,2	-	-	8,5-10
33	Пос. Новосемейкино	7,5	-	-	8,5-10
34	Пос. Хилково (скважина)	10,3	-	-	8,5-10
35	Пос. Хилково (водопровод)	7,4	-	-	8,5-10
36	Пос. Екатериновка (скважина)	9,6	-	-	8,5-10
37	Пос. Язевка (колодец)	16,0	-	-	8,5-10
38	Пос. Петра Дубрава (колодец)	8,6	-	-	8,5-10

жения находится в достаточно широком диапазоне, зависит от места отбора воды и типа источника водоснабжения (поверхностный или подземный) и составляет:

- для поверхностных источников 3,46–20,2 мг-экв/л;
- для подземных источников 8,6–30,5 мг-экв/л.

В соответствии с показателями качества воды разработаны следующие рекомендации по выбору методов ее умягчения:

1. Для районов Самары, где в котельных используется вода поверхностных источников, общая жесткость  $ЖО < 10$  мг-экв/л и карбонатная жесткость  $ЖК \leq 4$  мг-экв/л – *Na*-катионирование двухступенчатое для паровых котлов и *Na*-катионирование одноступенчатое для водогрейных котлов.

2. Для районов Самары, где в котельных используется вода поверхностных источников, с  $ЖК > 4$  мг-экв/л (поз. 8, 17 в таблице) – *H-Na*-катионирование для паровых и водогрейных котлов.

3. Для районов Самары, где в котельных используется вода из скважин и колодцев, с  $ЖО > 10$  мг-экв/л,  $ЖК > 4$  мг-экв/л (поз. 14, 16, 20, 21 в таблице) – *H-Na*- катионирование для паровых и водогрейных котлов.

4. Для городов и поселков Самарской области, где используется вода из поверхностных источников или скважин, при  $ЖО \leq 10$  мг-экв/л и  $ЖК > 4$  мг-

экв/л – *H-Na*- катионирование для паровых и водогрейных котлов.

5. Для городов и поселков Самарской области, где используется вода из скважин или колодцев, при  $10 < ЖО \leq 15$  мг-экв/л – *H-Na*-катионирование для паровых и водогрейных котлов.

6. Для городов и поселков Самарской области, где используется вода из скважин или колодцев, при  $ЖО > 15$  мг-экв/л – комбинированный способ (на первой ступени используется реагентный способ со снижением  $ЖО$  до 0,7 мг-экв/л; на второй ступени – *Na*-катионирование или диализ со снижением  $ЖО$  до 0,1 мг-экв/л для водогрейных котлов и до 0,02 мг-экв/л для паровых котлов).

В большинстве городов и поселков Самарской области отсутствует оборудование для дегазации воды, что приводит к внутренней коррозии трубной части и арматуры котельных агрегатов. В паровых и пароводогрейных котельных обязательно установка для дегазации воды деаэраторов атмосферного давления, в водогрейных котельных – вакуумных деаэраторов.

Определение характеристик для подбора оборудования водоподготовки, деаэраторов производится в рамках расчета тепловой схемы котельной [9, с. 67–70]. Подбор оборудования выполняется по каталогу [10].

**Вывод.** При правильно осуществляемой в котельной подготовке воды удастся существенно увеличить срок эксплуатации котельного оборудования и тепловых сетей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров А.Е., Бараева Г.Н., Минкина С.А. Проблемы энергосбережения и пути их решения в сельских и поселковых котельных // Научный потенциал регионов на службу модернизации: Межвузовский сборник научных статей. Астрахань: АИСИ, 2013. С. 28–30.
2. СП 89.13330.2012 Свод правил. Котельные установки. М.: Минрегион России, 2012. 99 с.
3. СП 124.13330.2012. Свод правил. Тепловые сети. М.: Минрегион России, 2012. 78 с.
4. Васильев А.В., Антропов Г.В., Баженов А.И. Повышение надежности жаротрубных водогрейных котлов // Промышленная энергетика. 1998. №7. С. 28–32.
5. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. М.: Изд-во АСВ, 2004. 496 с.
6. Минкина С.А. Водоподготовка котельных установок. Расчёт и проектирование оборудования / СГАСУ. Самара, 2010. 164 с.
7. Негода Л.Л., Курмаева Т.С. Обзор результатов анализа воды природных источников Самарской области // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и техносферная безопасность: сборник статей / СГАСУ. Самара, 2016. С. 148–150.

Об авторах:

#### **МИНКИНА Светлана Абрамовна**

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: [minkina.svetlana2011@yandex.ru](mailto:minkina.svetlana2011@yandex.ru)

#### **НЕГОДА Лариса Леонидовна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры общей и прикладной физики и химии  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: [ekos317@mail.ru](mailto:ekos317@mail.ru)

#### **КУРМАЕВА Татьяна Сергеевна**

кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры общей и прикладной физики и химии  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: [tatianasb@yandex.ru](mailto:tatianasb@yandex.ru)

8. Минкина С.А., Негода Л.Л. Выбор способов умягчения воды для работы котельных и тепловых сетей города Самары и Самарской области // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей. Самара: АСИ СамГТУ, 2017. С. 333–336.

9. Минкина С.А. Тепловые схемы котельных. Расчет и проектирование оборудования. Самара: СамГТУ, 2017. 134 с.

10. Водоподготовка: каталог ООО «РосАкваЦентр». – URL: <http://rossaqua.ru/katalog/vodopodgotovka.html> (дата обращения: 08.12.2017).

#### **MINKINA Svetlana A.**

Senior Lecturer of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Civil Engineering and Architecture  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: [minkina.svetlana2011@yandex.ru](mailto:minkina.svetlana2011@yandex.ru)

#### **NEGODA Larisa L.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the General and Applied Physics and Chemistry Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Civil Engineering and Architecture  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: [ekos317@mail.ru](mailto:ekos317@mail.ru)

#### **KURMAYEVA Tatyana S.**

PhD in Pedagogy, Associate Professor of the General and Applied Physics and Chemistry Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Civil Engineering and Architecture  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: [tatianasb@yandex.ru](mailto:tatianasb@yandex.ru)

Для цитирования: Минкина С.А., Негода Л.Л., Курмаева Т.С. Подготовка воды для работы котельных и тепловых сетей районов города Самары, городов и поселков Самарской области // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.50-53. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.9.

For citation: Minkina S.A., Negoda L.L., Kurmayeva T.S. Preparation of water for the operation of boiler and heating networks in the districts of the city of Samara, cities and towns of the Samara region // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 50-53. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.9.

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

## УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДООТВЕДЕНИЯ В КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЯХ

SUSTAINABLE OPERATION OF THE SEWAGE WORKS IN CRITICAL SITUATIONS

*Проанализированы причины критических ситуаций на очистных сооружениях коммунального водоотведения. Проведено обследование локальных очистных сооружений микрорайона в критической ситуации отказа и определены проблемы, обусловленные сбросом либо недоочищенных, либо полностью неочищенных сточных вод в водоём. Для восстановления функционирования очистных сооружений разработан оптимальный технологический режим с учетом изменения подачи воздуха, ввода биопрепаратов, добавления пероксида водорода и использования светодиодов в аэробной части сооружений.*

**Ключевые слова:** сточные воды, городские очистные сооружения, биологическая очистка, биогенные элементы, окислительно-восстановительный потенциал, пероксид водорода, технологические показатели

Устойчивость функционирования очистных сооружений коммунального водоотведения в аварийных условиях представляет собой способность отдельных блоков, в первую очередь – биологической очистки, предупредить возникновение производственных аварий с целью предотвращения сброса неочищенных сточных вод в окружающую среду, а также обеспечивать восстановление нарушенного технологического режима работы в минимально короткий срок.

Очистные сооружения водоотведения являются заключительным элементом системы коммунального водоотведения и представляют собой комплекс инженерных сооружений и оборудования, необходимого для переработки сточных вод и образующихся осадков. Очистные сооружения относятся к объектам непрерывного действия, остановка которых может привести к загрязнению сточными водами водоемов, снижению уровня санитарно-эпидемиологической обстановки и возможным чрезвычайным последствиям. Сброс неочищенных или недостаточно очищенных сточных вод в критических ситуациях в водные объекты или на рельеф создает угрозу для здоровья человека, окружающей среды и нормальной хозяйственной деятельности. Опасность в залповых выбросах отравляющих или токсичных веществ на территории очистной станции, естественно, от-

*The causes of critical situations in sewage treatment plants for municipal water disposal are analyzed. A survey of local treatment facilities of the microdistrict in a critical failure situation was carried out and problems were identified, caused by the discharge of either under-treated or completely untreated sewage into the reservoir. To restore the functioning of treatment facilities an optimal technological regime has been developed, taking into account changes in air supply, introduction of biologics, addition of hydrogen peroxide and the use of LEDs in the aerobic part of structures.*

**Keywords:** sewage, urban treatment plants, biological treatment, biogenic elements, redox potential, hydrogen peroxide, technological indicators

рицательно влияет на обслуживающий персонал. Повышается вероятность заражения людей инфекционными болезнями [1].

Такая ситуация ведет к необходимости повышения требований к устойчивости функционирования очистных сооружений водоотведения в критических ситуациях в целях защиты населения и требует разработки мероприятий для оперативного реагирования.

Критические ситуации возникают в результате частичных и/или полных отказов оборудования, сооружений, сетей и их элементов, что требует проведения превентивных аварийно-восстановительных работ для приведения их в работоспособное состояние. Причинами критических ситуаций в работе очистных сооружений коммунального водоотведения могут быть различные нарушения технологических регламентов. По вине персонала могут происходить ошибочные отключения и включения оборудования, неправильная дозировка реагентов, случаи некачественного ремонта оборудования, невыполнения противоаварийных мероприятий, несвоевременное устранение аварийных очагов, допуск необученного персонала, несвоевременное проведение профилактических испытаний и др. Оборудование для очистки сточных вод может иметь дефекты изготовления или монтажа, некачественный материал

или не соответствовать прямому назначению по каким-либо параметрам. При стихийных бедствиях (наводнение, ураган и пр.) происходят нарушения режима работы оборудования, которые невозможно предвидеть при проектировании и строительстве сооружений, а также своевременно предотвратить персоналом предприятия. Аварийный сброс сточных вод может быть связан с отказами на очистных сооружениях, их переполнением, сознательным нелегальным сбросом поступающих сточных вод, следствием отключения энергоснабжения и т. п.

Однако критические ситуации на очистных сооружениях могут возникать и по другим субъективным причинам. Такая ситуация – появление неприятного запаха и сброс недоочищенных сточных вод локальных очистных сооружений коммунального водоотведения – привела к возмущению населения, проживающего вблизи места выпуска сточных вод в р. Темерник [2]. В феврале-начале марта на локальных очистных сооружениях водоотведения микрорайона г. Ростова-на-Дону сложилась нештатная ситуация, при которой активный ил погиб и прекратилась биологическая очистка сточных вод. Визуальный осмотр показал, что в биореакторе идут процессы гниения, о чем свидетельствует черный цвет иловой смеси и характерный неприятный запах обрабатываемой воды.

Для выявления возможных причин возникновения развития технологического отказа, а также устранения его последствий и предотвращения подобных критических ситуаций было проведено предварительное обследование комбинированных очистных сооружений [3].

Главным узлом локальных очистных сооружений является блок биологической очистки с зонами нитри-, денитрификации и реагентным удалением фосфатов. Для механической очистки от грубых отбросов и песка предусмотрена комбинированная установка, состоящая из шнековой решетки и аэрируемой песколовки. Осветленная сточная вода после механической очистки с помощью насосов поступает на блок биологической очистки, состоящий из смесителя, зоны денитрификации, зоны аэрации, вторичных отстойников и регенератора активного ила.

Денитрификатор представляет собой резервуар в форме кольца, оборудованный двумя погружными пропеллерными мешалками. В денитрификаторе происходит окисление органических веществ в аноксидных условиях с целью восстановления азота нитратов и нитритов до газообразного состояния. В качестве органического субстрата для денитрификации используются органические компоненты сточных вод после механической очистки, наличие окисленных форм азота обеспечивается рециклом потока очищенной воды с возвратным активным илом.

Аэробная зона состоит из двух секций в форме полукруга и оборудована пневматической системой

аэрации и блоками контактных носителей биомассы (биофильтрами). Для разделения иловой смеси после биологической очистки предусмотрены четыре вторичных отстойника вертикального типа, квадратной формы в плане. Отстойники встроены в резервуар для аэрации в центральной части сооружения. Для химического удаления фосфатов в биологически очищенную сточную воду подают раствор сульфата алюминия, который при взаимодействии с фосфатами образует мелкую нерастворимую взвесь.

Доочистка сточных вод осуществляется в две ступени. На первой ступени установлены механические самопромывные фильтры, на второй – двухслойные песчано-антрацитовые фильтры. На фильтрах задерживаются взвешенные вещества минерального и органического происхождения, включая нерастворимые соединения фосфора.

Предварительные результаты обследования показали, что на очистные сооружения поступает примерно 17,5 % хозяйственно-бытовых сточных вод от проектной производительности станции. Расход поступающих на очистные сооружения сточных вод колеблется от 1700 м<sup>3</sup>/сут в будние дни до 2200 м<sup>3</sup>/сут – в выходные. При выпадении дождей расходы, поступающие на очистные сооружения, превышают 2000 м<sup>3</sup>/сут и их увеличение достигает 25 %. Анализ поступления сточных вод на очистные сооружения показывает, что имеют место высокая неравномерность притока и перерывы в подаче сточных вод в течение 6–8 часов в сутки.

Анализ качественных характеристик загрязняющих сточных вод показал, что концентрации загрязняющих веществ по основным компонентам превышают среднестатистические более чем в два раза. Так, концентрация органических веществ, идентифицируемых как ХПК, изменяется от 600 до 1200 мгО/л, в то время как среднестатистическая величина составляет 450 мгО/л; концентрация азота аммонийного изменяется от 45 до 100 мг/л, среднестатистический диапазон составляет 18–40 мг/л; концентрация фосфатов достигает 26 мг/л, что превышает среднестатистическое значение более чем в четыре раза.

Обследование основных сооружений включало микробиологический контроль и седиментационные характеристики активного ила, а также основные показатели биологических процессов в аэробной, аноксидной зоне и вторичном отстойнике. Для характеристики стабильности системы и определения степени аэробности измеряли окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), концентрацию растворенного кислорода и активную реакцию среды [4]. Результаты обследования сооружений биологической очистки на разных глубинах приведены в таблице.

Анализ результатов исследований показал, что в зоне денитрификации в результате длительного пребывания сточных вод формируются восстановительные условия, показателем которых являются

Характеристика сооружений биологической очистки в критической ситуации

Место отбора	Глубина отбора, м	ОВП, мВ	O <sub>2</sub> , мг/л	pH
Зона аэрации <sup>1</sup>	6,0	40	2,2	7
Зона аэрации 1	3,0	15	2,0	6,9
Биофильтр 2	3,5	40	1,9	6,9
Денитрификатор	6,0	- 240	0,7	7,0
Денитрификатор	3,0	- 230	0,8	6,9
Зона аэрации 2	6,0	- 50	1,38	7,0
Вторичный отстойник	6,0	- 80	1,7	6,0

значения окислительно-восстановительного потенциала -240 мВ, что значительно ниже значения окислительно-восстановительного потенциала в поступающих сточных водах, который составлял -40 мВ. Оптимальное значение ОВП в денитрификаторе должно быть в пределах -100-0 мВ. В результате недогруженности притока сточных вод расчетное время пребывания сточных вод в отдельных модулях не соблюдается. Так, в денитрификаторе активный ил находится практически в бескислородных условиях около 23 ч вместо двух-трех расчетных, в результате чего меняется вся идеология очистки сточных вод. Данный факт негативно сказывается и на процессе нитрификации – при фактическом значении ОВП, равном 40 мВ, он должен быть на уровне 250-350 мВ. Невозможность осуществления эффективного процесса нитрификации подтверждается низкими показателями аэробности, которые приводят к гибели аэробных микроорганизмов активного ила [5, 6]. В аэробной зоне не образуются нитраты, следовательно, в денитрификаторе не происходит доминантного процесса – денитрификации [7]. В результате проведенных исследований выявлены субъективные факторы, которые вызвали критическую ситуацию на очистных сооружениях:

- концентрация основных загрязнений, характерных для хозяйственно-бытовых сточных вод, превышает проектную более чем в два раза по отдельным показателям;
- нарушается суточный график подачи сточных вод;
- имеют место залповые сбросы сточных вод промышленного характера, в том числе и строительного производства;
- малые расходы сточных вод не обеспечивают требуемой рециркуляции потоков.

С целью повышения устойчивости функционирования и экологической безопасности очистных сооружений водоотведения разработаны и апробированы на практике ряд мероприятий для восстановления режимов работы в критических ситуациях. Для оценки системы биологической очистки сточных вод были использованы следующие параметры: окислительно-восстановительный потенциал; концентрация растворенного кислорода; скорость потребления кислорода активным илом, видовой состав

и седиментационные свойства активного ила; качественные показатели очищенной воды.

Для определения экстренных мероприятий по восстановлению работоспособности активного ила были выполнены исследования в полупроизводственных условиях на пилотных моделях с использованием реальной иловой жидкости, находящейся в экстремальных условиях. Исследования возможности восстановления работоспособности аэробного ила реализовывали в двух направлениях: в первом случае определяли продолжительность процесса восстановления при интенсивной аэрации иловой смеси; во втором случае – продолжительность процесса восстановления при введении пероксида водорода. Изменения состояния активного ила в целом оценивали визуально по цвету иловой смеси и запаху, а также микроскопированием активного ила с целью определения жизнеспособности простейших микроорганизмов, так как известно, что именно они являются индикатором для оперативного определения состояния активного ила.

Исследования по восстановлению активности ила при усиленной аэрации показали, что существенные изменения состояния простейших активного ила происходят лишь на седьмые сутки аэрирования иловой смеси. Интенсивность аэрации поддерживали исходя из условия формирования ила во взвешенном состоянии, концентрация растворенного кислорода при этом составляла 4,5-5 мг/л. Улучшились седиментационные свойства активного ила, он стал коричневого цвета, появился характерный землистый запах. Микробиологические исследования показали наличие в активном иле коловраток, которые являются показательными микроорганизмами для эффективной очистки, так как чувствительны к недостатку кислорода и наличию токсинов. Таким образом, при наличии высоких концентраций кислорода (5 мг/л) возможна реанимация активного ила и вывод процессов очистки на проектный режим за семь дней.

Введение небольших доз 3 %-го пероксида водорода, с целью поддержания в системе его концентрации на уровне 2-10-4 моль/л, позволило наблюдать существенные изменения в состоянии активного ила через 36 – 40 ч). На вторые сутки в иловой жидкости были обнаружены коловратки. На третьи

сутки и в последующие 6 дней наблюдали увеличение количества коловраток, резкое сокращение количества нитчатых бактерий. Надиловая жидкость стала прозрачной, ХПК биологически очищенной осветленной пробы составляло 25–30 мг/л, концентрация азота аммонийного снизилась до 0,2 мг/л, что свидетельствовало о развитом процессе нитрификации. Ил приобрел коричневый цвет, землистый запах, седиментационные свойства улучшились. В данном случае формируется окислительная обстановка в системе и микроорганизмы лучше усваивают кислород, следовательно, и процессы окисления загрязняющих веществ идут более интенсивно [8, 9]. Необходимо отметить, что использование пероксида водорода должно носить временный характер и применяться только в аварийных ситуациях, до создания в аэробной зоне окислительных условий и реализации процессов нитрификации.

При критических ситуациях в сооружениях биологической очистки и отмирании активного ила неизбежно происходит выделение соединений серы: сероводорода и сульфидов, сульфитов, тиосульфатов, меркаптанов. Личный опыт авторов позволяет утверждать целесообразность применения пероксида водорода для удаления из сточных вод восстановленных соединений серы в сточной воде до ее поступления в аэротенк [10].

В результате проведенных исследований для устойчивой эксплуатации локальных сооружений биологической очистки сточных вод, как в стационарных, так и критических ситуациях, разработан ряд мероприятий: оптимальный режим подачи воздуха, виды и дозы биопрепаратов, технология использования пероксида водорода. Для повышения эффективности и снижения энергоёмкости биологической очистки сточных вод рекомендовано применение светодиодов в аэробной части сооружений.

Также необходимо учитывать, что критическое время прекращения подачи воздуха в аэробную зону не должно превышать 2,5 ч, так как большее время простоя может привести к гибели активного ила и прекращению процесса очистки сточных вод. В случае отключения энергоснабжения воздухоподводящей станции и перерыва подачи воздуха в аэробную зону на более длительный срок необходимо брать пробы в резервуаре активного ила на содержание растворенного кислорода каждый час и определять жизнеспособность микроорганизмов. Сохраненный активный ил и затем выпадающий активный ил в отстойнике следует непрерывно перекачивать в аэробную зону. При этом необходимо вести непрерывное наблюдение за исчезновением аммонийного азота и появлением нитратов, а также за содержанием растворенного кислорода.

**Выводы.** 1. Эксперимент показал, что при введении в иловую смесь небольших доз 3 %-го пероксида водорода с концентрацией на уровне  $2 \cdot 10^{-4}$  моль/л существенно изменяется физиологическое состоя-

ние активного ила в течение двух суток. Такой прием может быть использован для выхода из критических ситуаций на очистных сооружениях биологической очистки сточных вод.

2. Для устойчивого функционирования сооружений биологической очистки в аэробных условиях необходимо, чтобы критическое время прекращения подачи воздуха в аэробную зону не превышало 2,5 ч. Разработаны мероприятия, предотвращающие гибель активного ила при большем времени отключения аэрационного оборудования.

3. Учет предлагаемых мероприятий позволит стабилизировать работу локальных очистных сооружений водоотведения в критических ситуациях и приведет к устойчивости их функционирования путем оперативного реагирования для защиты населения и природных водоемов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комаров А.В., Кашарный В.В. Проблемы водопользования и чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2010. №1. URL: [cyberleninka.ru/article/n/problemy-vodopolzovaniya-i-chrezvychaynye-situatsii-prirodnogo-i-tehnogennogo-haraktera](http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-vodopolzovaniya-i-chrezvychaynye-situatsii-prirodnogo-i-tehnogennogo-haraktera) (дата обращения: 02.11.2017).

2. Эксперт: без очистки ливневых вод чистить Темерник бесполезно // URL: [donnews.ru/Ekspert-bez-ochistki-livnevyyh-vod-chistit-Temernik-bespolezno\\_1837](http://donnews.ru/Ekspert-bez-ochistki-livnevyyh-vod-chistit-Temernik-bespolezno_1837).

3. Вильсон Е.В., Серпокрылов Н.С., Долженко Л.А., Смоляниченко А.С. Анализ результатов обследования комбинированных сооружений для очистки городских сточных вод // Технологии очистки воды «ТЕХ-НОВОД-2017»: материалы X юбилейной Межд. науч.-практ. конф.; г. Астрахань / Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т, (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: Лик, 2017. С. 209–213.

4. Кичигин В.И., Скороходов С.Н. К вопросу о применимости величины  $\zeta$ -потенциала воды в качестве характеристики степени её загрязненности // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, №3. С. 28–34. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.6.

5. Харьковина О.В., Харьковин С.В. Очистка сточных вод от азота и фосфора: оценка корректности предлагаемых технико-коммерческих предложений на строительство (реконструкцию) очистных сооружений // Справочник эколога. 2015. № 10. С. 81–96.

6. Петренко С.Е., Серпокрылов Н.С., Борисова В.Ю. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации очистных сооружений [Электронный ресурс] // Инженерный Вестник Дона. 2013. №2. Режим доступа: URL:[ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1602](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1602) (дата обращения: 05.01.2018).

7. Долженко Л.А. Разработка и анализ технологических схем для очистки сточных вод малых городов // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2017. №5 (12). С. 52–62.

8. Дровозова Т.И., Паненко Н.Н., Кулакова Е.С. Повышение санитарно-экологической безопасности сточных вод // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 04 (58). Ч. 4. С. 39–42. DOI: 10.23670/IRJ.2017.58.048.

9. Sreeram K.J. etc. Use of hydrogen peroxide for tannery waste water treatment // J. Sci. And Ind. Res. 1998. № 2. P. 64–69.

10. Вильсон Е.В. Исследования в области удаления восстановленных соединений серы из сточных вод // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. №3.

Об авторах:

**ВИЛЬСОН Елена Владимировна**

кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой водоснабжения и водоотведения  
Донской государственной технической университет  
Академия строительства и архитектуры  
344022, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**VILSON Elena V.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Construction and Architecture  
344022. Russia, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

**СЕРПОКРЫЛОВ Николай Сергеевич**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры водоснабжения и водоотведения  
Донской государственной технической университет  
Академия строительства и архитектуры  
344022, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**SERPOKRYLOV Nikolay S.**

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Construction and Architecture  
344022. Russia, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

**ДОЛЖЕНКО Лидия Алексеевна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения  
Донской государственной технической университет  
Академия строительства и архитектуры  
344022, Россия, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**DOLZHENKO Lidiya A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair  
Don State Technical University  
Academy of Construction and Architecture  
344022. Russia, Rostov-on-Don, Socialisticheskaya str., 162

Для цитирования: Вильсон Е.В., Серпокрьлов Н.С., Долженко Л.А. Устойчивость функционирования очистных сооружений водоотведения в критических ситуациях // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.54-58. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.10.

For citation: Vilson E.V., Serpokrylov N.S., Dolzhenko L.A. Sustainable operation of the sewage works in critical situations // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 54-58. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.10.

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА



УДК 502.3+574

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.11

**М.Н. ЗАКИРОВА**  
**Е.В. ЧУПРИНА**

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ КАДМИЕМ

ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY  
IN THE CONDITIONS OF ENVIRONMENTAL POLLUTION BY CADMIUM

*Рассмотрены технологические процессы и определены источники попадания кадмия в окружающую среду. Установлены материалы, сырье и технологии, способствующие загрязнению воздуха Cd-содержащими выбросами. Рассмотрены пути попадания кадмия в организм человека. Оценены негативные последствия аккумуляции тяжелого металла в организме человека. Методом атомно-абсорбционной спектроскопии проведены исследования продуктов питания на содержание в них кадмия. Исследования позволяют расценивать кадмий как супертоксикант окружающей среды в связи с его широкой распространенностью и чрезвычайной опасностью. Предложены мероприятия технического и медико-профилактического характера по ограничению воздействия кадмия на человека.*

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, кадмий, супертоксикант, атомно-абсорбционная спектроскопия, предельно-допустимая концентрация, приоритетные химические загрязнители атмосферы, детоксикация

*Technological processes are considered and the industries that are the source of cadmium entering the environment are identified. The materials, raw materials and technologies promoting pollution of air with Cd-containing emissions are determined. The ways of getting cadmium into the human body are considered. The negative consequences of accumulation of heavy metal in the human body are estimated. The method of atomic absorption spectroscopy was used to study food products for the content of cadmium in them. Studies allow to regard cadmium as a super-toxicant of the environment due to its widespread prevalence and extreme danger. The measures of a technical and medico-prophylactic nature to limit the effects of cadmium on humans are proposed.*

**Keywords:** heavy metals, cadmium, super-toxicant, atomic absorption spectroscopy, maximum permissible concentration, priority chemical pollutants of the atmosphere, detoxification

Среди тяжелых металлов кадмий довольно часто встречается в воздухе промышленных агломераций. Преимущественное агрегатное состояние кадмия – пыль. Его присутствие, несомненно, обусловлено тем фактом, что он входит в состав разнообразных материалов, используемых в промышленности. Так, в машиностроении он находится в составе красок и припоев, заводы по производству резинотехнических изделий используют кадмийсодержащие пигменты, на предприятиях, выпускающих электронику и полупроводники, применяются сплавы, припой и даже пластмассы на основе кадмия. Повышенное содержание металла в воздушной

среде заводов, выпускающих керамические изделия, обусловлено его присутствием в сырье. Установлено, что карбонатные и силикатные породы включают Cd-содержащие соединения в качестве естественных примесей. Таким образом, загрязнение окружающей среды кадмием обусловлено его достаточно широким применением.

Кадмий используется в промышленности для нанесения гальванических покрытий, получения лаков, эмалей, керамики, красителей, а также в производстве подшипников, аккумуляторов, поливинилхлорида, фотопленок. Он присутствует в газообразных выбросах предприятий, активном или

очистных сооружений и даже в фосфатных удобрениях. В подземные воды тяжелый металл попадает со сточными водами промышленных производств.

Техногенное загрязнение земель кадмием происходит в промышленно развитых районах, где функционируют нефтеперерабатывающие, металлургические, энергетические производства (содержится в выбросах, образующихся при сгорании угля, дизельного топлива). Таким образом, его присутствие в организме человека, где он легко аккумулируется, обусловлено, в первую очередь, индустриальным загрязнением. Кадмий может попадать в человеческий организм при вдыхании загрязненного воздуха и табачного дыма. Было установлено, что элемент в высоких концентрациях накапливается в табаке, а при высушивании сырья его концентрация резко увеличивается [1]. Интоксикация кадмием отмечается не только при активном, но и при пассивном курении. Другой возможный путь появления кадмия в организме – употребление в пищу растительной продукции, выращенной в загрязненных районах или произведенной с использованием суперфосфатных удобрений.

Ранее были опубликованы результаты исследований, позволяющие расценивать кадмий как супертоксикант окружающей среды [2,3]. Об этом свидетельствует чрезвычайно высокая опасность кадмия (среднесуточная ПДК в атмосфере – 0,0003 мг/м<sup>3</sup> [4]), его широкая распространенность в окружающей среде, а также выраженная материальная кумуляция. Накапливаясь в эритроцитах, он связывается с гемоглобином и длительно сохраняется в крови; откладывается в костной ткани, почках, железах внутренней секреции и очень медленно (в течение 2,0 – 2,5 лет) выводится из организма, вызывая в нем нарушение фосфорно-кальциевого обмена, атрофию костной ткани, поражение суставов, половых желез и расстройство функций почек.

По результатам исследований можно предположить, что, поскольку из почвы кадмий легко проникает в растения и через них поступает к животным, главным источником попадания его в организм человека являются пищевые продукты. Концентрация тяжелого металла в пищевых продуктах оценивалась дважды. С этой целью на базе Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Самарской области были проведены исследования пищевых продуктов на предмет содержания в них кадмия. Используемый метод – атомно-абсорбционная спектроскопия. Изучались мясо и мясопродукты, рыба и рыбные продукты, зерно, крупяные и хлебобулочные изделия, сахар и кондитерские изделия, плодоовощная продукция, масличное сырье и жиры, а также напитки (минеральная вода и вина). При проведении исследований кадмий был обнаружен в 197 (39 %) пробах. С наибольшим постоянством он присутствовал в мясных и рыбных продуктах (соответственно в 60 и 51 % проб) в количестве 0,005 – 0,03 мг/кг.

При повторном эксперименте кадмий был обнаружен во всех 140 пробах, и по-прежнему наибольшее содержание его (0,01 – 0,18 мг/кг) имело место в мясных продуктах. Для общей оценки количества металла, поступающего в организм человека с пищей, был проведен расчет по минимальной потребительской корзине, установленной законом № 101-ГД «О потребительской корзине в Самарской области» от 05.11.2015 г. [5]. Результаты экспериментов и расчетов представлены в таблице.

Таким образом, результаты экспериментов показали, что наибольшее содержание кадмия приходится на мясопродукты, растительное масло и маргарин, а также хлебобулочные продукты. Расчет по минимальной потребительской корзине указывает, что при существующих нормах потребления продуктов

Количество и предельно-допустимые концентрации кадмия в продуктах минимальной потребительской корзины

Наименование продукта	Объем потребления на чел., кг/год*	ПДК, мг/кг [ 4]	Кол-во Cd, мг/кг**	Кол-во Cd в год, мг
Хлебные продукты	128,9	0,1	0,03	3,867
Картофель	87,8	0,03	0,0001	8,78·10 <sup>-3</sup>
Овощи и бахчевые	121,1	0,03	0,011	1,332
Фрукты свежие	60,0	0,03	0,01	0,6
Сахар и кондитерские изделия	23,8	0,1	0,01	0,238
Мясопродукты	70,0	0,05	0,03	2,1
Рыбопродукты	20,0	0,2	0,08	1,6
Молоко и молокопродукты	258,6	0,03	0,017	4,396
Масло растительное, маргарин	13,0	0,03	0,03	0,39
Прочие продукты (соль, чай, специи)	4,9	-	0,2	0,98
Итого:				15,512

\* Данные рассчитаны по минимальной потребительской корзине.

\*\* Данные столбца определены экспериментально.

наибольшее количество тяжелого металла поступает в организм с молокопродуктами, затем с хлебными изделиями и мясом. За год в организм человека может поступать около 15 мг кадмия, что согласуется с данными [2]. В сутки человек получает примерно 42,5 мкг металла. При этом следует помнить, что многие пищевые продукты не вошли в потребительскую корзину. Кроме того, не учтено попадание кадмия в организм с воздухом и сигаретным дымом. Как можно объяснить отсутствие у людей явной клинической картины хронического отравления кадмием? Возможно, большим сходством с другими заболеваниями (поражение опорно-двигательного аппарата, артериальная гипертония, нарушение функции почек) [1]. Также может возникнуть «привыкание» к кадмию, как и к большинству ядов, в малых дозах длительно поступающих в организм. Его следует рассматривать как состояние временно компенсированной патологии, т.е. высокой готовности к развитию выраженного заболевания.

Литературные данные подтверждают, что хроническое поступление кадмия в организм в форме неорганических солей и связанных с белком форм зачастую является причиной возникновения токсической нефропатии [6]. Поступление в организм даже низких доз дихлорида кадмия в подостром периоде сопровождается изменением механизмов осморегуляции. Тяжелый металл способен преодолевать плацентарный барьер, обладая тератогенным действием, обусловленным нарушением поступления в плод некоторых необходимых элементов (цинка) [7].

В настоящее время кадмий включен в перечень приоритетных химических загрязнителей атмосферы, воздуха жилых и общественных зданий и питьевой воды, представляющих канцерогенную опасность для человека. Кадмий (оксид, сульфат, сульфид, хлорид) относят к группе таких канцерогенов 1-го класса опасности, как асбест и бензапирен [8].

В системе глобального мониторинга, проводимого в рамках Программы ЮНЕП, кадмий включен в перечень приоритетных загрязнителей, подлежащих определению в воздухе, атмосферных осадках, пресных водах, донных отложениях, почве и биоте [9].

Каким образом можно минимизировать влияние данного загрязнителя на человека? Учитывая вышеизложенные сведения, предлагается ряд мероприятий и способов, способствующих уменьшению содержания кадмия в организме:

1. Допустимая суточная доза кадмия, безопасная для здоровья человека, составляет 70 мкг [7] (доза, рассчитанная по содержанию металла в основных продуктах минимальной потребительской корзины, составила 42,5 мкг). Запас по гигиеническим меркам небольшой. Следовательно, необходимо вести тщательный контроль за продуктами питания на предмет содержания кадмия, особенно хлебобулочных

изделий, молоко- и мясопродуктов, растительного масла и семечек.

2. На всасывание тяжелого металла в желудочно-кишечном тракте влияет дефицит макро- и микроэлементов (кальция, железа, цинка), а также дефицит белка. Следовательно, актуальна задача поиска веществ и способов, которые, с одной стороны, способствовали бы детоксикации и выведению кадмия из организма, а с другой – повышали бы сопротивляемость к его воздействию. С этой целью могут использоваться энтеросорбенты, препятствующие всасыванию и абсорбции кадмия кишечником, а также такие вещества, как цинк и селен, обладающие по отношению к кадмию функциональным антагонизмом. Более простым способом выведения из организма тяжелых металлов является употребление в пищу большого количества клетчатки, овощей, сухофруктов. Тогда тяжелые металлы будут оседать в желудочно-кишечном тракте и выводиться оттуда вместе с клетчаткой, не всасываясь.

3. Отказ от курения, в том числе и пассивного, способствует уменьшению количества кадмия, депонируемого в организме.

4. Необходимо проводить мониторинговые обследования почв сельскохозяйственных земель на загрязнение тяжелыми металлами, в том числе кадмием.

5. Соблюдение норм внесения суперфосфатных удобрений при производстве зерновых культур и подсолнечника и перевод сельскохозяйственного производства на естественные способы выращивания продукции снизят содержание кадмия в употребляемых продуктах.

6. Проведение «точечного» мониторинга на объектах, где используется кадмий, и в районах их расположения, с целью выявления главных источников опасности поражения персонала предприятий и проживающего вокруг населения. Особое внимание уделять объектам, где используются устаревшие технологии.

7. Известны предложения по ограничению поступления кадмия в гидросферу со сточными водами путем перевода его в малорастворимые соединения: гидроксиды, сульфиды, фосфаты [8]. Подобные реагентные методы очистки предназначены в основном для сточных вод гальванических производств. Однако представляется более перспективным и экологически эффективным заменить на таких производствах один металл близким по свойствам другим металлом, но менее опасным для окружающей среды и человека. Например, вместо кадмия использовать цинк. ПДК для цинка в атмосферном воздухе на порядок выше, чем у кадмия, и он относится к 3-му классу опасности. Этот опыт внедряется на производствах, вырабатывающих детали для стран с тропическим климатом. Сейчас для придания антикоррозионных свойств применяется технология

их гальванического покрытия цинком, а не кадмием, как это делалось ранее.

**Выводы.** Уровень загрязнения городской среды кадмием высок и постоянно растёт.

Содержание кадмия в воздухе промышленных агломераций должно мониторироваться и быть жестко ограничено в связи с широкими возможностями его применения (особенно в случае близости промзоны к сельскохозяйственным и селитебным территориям), высокой кумулятивной способностью металла, сложностью выведения из организма человека, токсичностью, тератогенным и канцерогенным эффектами.

Не менее жестко должно отслеживаться содержание кадмия в продуктах питания, так как его возможное количество, поступающее ежедневно с пищей, составляет больше половины допустимой суточной дозы.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. URL: <http://my-health.ru/content/322-vozdeystvie-kadmiya-na-organizm-cheloveka> (дата обращения: 30 июля 2017 г.).

2. Айзенштадт В.С., Чуприна Е.В., Игнатъева И.С. Кадмий – супертоксикант окружающей среды // Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды. Самара, 2001. С. 251-252.

3. Чуприна Е.В., Айзенштадт В.С. Перспективные направления защиты человека от поражения кадмием // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 62-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам / СГАСУ. Самара, 2005. С. 158–160. Ч.2.

4. URL: <http://voc.integral.ru> Онлайн справочник веществ. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух (дата обращения: 6 января 2018 г.).

Об авторах:

#### **ЗАКИРОВА Марина Николаевна**

кандидат химических наук, доцент кафедры природоохранного и гидротехнического строительства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: zdmity2@yandex.ru

#### **ЧУПРИНА Елена Владимировна**

доцент кафедры природоохранного и гидротехнического строительства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: zdmity2@yandex.ru

5. Закон Самарской области «О потребительской корзине в Самарской области» № 101-ГД от 05.11.2015 г.

6. Гоженко А.И., Карчаускас В.Ю., Долматов С.И., Долматова Е.А., Пыхтеев Д.М. Функция почек крыс в условиях водной и солевой нагрузки при воздействии дихлорида кадмия // Медицина труда и промышленная экология. 2004. № 8. С. 45–48.

7. Сульдина Т.И. Содержание тяжелых металлов в продуктах питания и их влияние на организм // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. 2016. №1. С. 136–140; URL: <https://journal-nutrition.ru/ru/article/view?id=35727> (дата обращения: 02 августа 2017 г.).

8. Панфилов А.Е. Мониторинг среды обитания // Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности». 2004. № 2. С. 16.

9. Красногорская Н.Н., Пестриков С.В., Лезуис Э.Ф., Сапожникова Е.Н. Анализ эффективности реагентных методов удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод // Безопасность жизнедеятельности. 2004. № 3. С. 21–23.

#### **ZAKIROVA Marina N.**

PhD in Chemistry, Associate Professor of the Environmental and Hydraulic Engineering Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: zdmity2@yandex.ru

#### **CHUPRINA Elena V.**

Associate Professor of the Environmental and Hydraulic Engineering Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: zdmity2@yandex.ru

Для цитирования: Закирова М.Н., Чуприна Е.В. Обеспечение экологической безопасности в условиях загрязнения городской среды кадмием // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.59-62. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.11. For citation: Zakirova M.N., Chuprina E.V. Ensuring Environmental Safety in the conditions of environmental pollution by cadmium // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 59-62. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.11.

**И.С. КОНСТАНТИНОВ**  
**А.В. ЗВЯГИНЦЕВА**

## **КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

### INTEGRATED ASSESSMENT OF THE CONDITION OF URBANIZED AREAS

*На основе использования статистической информации различных организаций выполнена оценка состояния урбанизированных территорий по комплексу индикативных показателей. С этой целью предложен метод комплексной оценки, основанный на представлении состояний объектов через совокупность значений показателей и совместные события их одновременного наблюдения, а также на установлении эмпирических распределений таких событий. Применение метода позволило предложить расчетные зависимости для ранжирования объектов. На конкретных примерах показано, что на основе предложенного метода возможна сравнительная оценка урбанизированных территорий. Полученные результаты могут использоваться при формировании целей и разработке мероприятий по обеспечению сбалансированного развития городской инфраструктуры, а также при разработке градостроительных программ и принятии управленческих решений в области экологической безопасности городского хозяйства.*

**Ключевые слова:** комплексная оценка, градостроительство, многопараметрическое ранжирование, урбанизированные территории, статистические данные, индикативные показатели, совместные события и их вероятности, состояние городских территорий.

Комплексная оценка состояния урбанизированных территорий представляет собой трудоемкую процедуру из-за наличия большого количества показателей, отражающих различные аспекты развития [1, 2]. Существует множество индексов для оценки развития стран, регионов и городов, экологической безопасности территорий и т. д. Обычно методики расчета интегральных индексов основываются на экспертных методах [3].

Целью данной статьи является комплексная оценка урбанизированных территорий на основе анализа совместных событий наблюдения показателей состояния городской среды.

Данное направление в комплексной оценке имеет большое значение, так как дает возможность предложить объективные методы исследования урбанизированных систем многомерной размерности.

*Based on the use of statistical information from various organizations, an assessment of the state of the urbanized territories has been performed on a set of indicative indicators. To this aim, a method of complex estimation based on the representation of states of objects through a combination of values of indicators and joint events of their simultaneous observation, as well as on the establishment of empirical distributions of such events was proposed. The application of the method allowed to propose calculated dependencies for the ranking of objects. Specific examples show that based on the proposed method, a comparative assessment of urban areas is possible. The obtained results can be used in the formation of goals and the development of measures to ensure a balanced development of urban infrastructure, as well as in the development of urban development programs and management decisions in the field of environmental safety of urban economy.*

**Keywords:** integrated assessment, urban planning, multiparametric ranking, urbanized territories, statistical data, indicative indicators, joint events and their probabilities, state of urban areas

#### **Существующая методология комплексной оценки**

При определении индексов городов рассматриваются несколько аспектов (компонентов) их развития, для чего выделяются группы показателей. Например, фирмой Economist Intelligence Unit совместно с корпорацией Siemens разработана экспертная методология комплексной оценки городов. В процессе оценок рассматриваются восемь аспектов развития, для чего выделяются группы показателей: выбросы парниковых газов; потребление энергии; городское хозяйство; транспорт; водопользование; отходы и землепользование; качество воздуха; экологическое управление. Чтобы сравнивать данные, все показатели нормируют по шкале от 0 до 10 в безразмерном виде. Общий индекс построен как количественная сумма всех групп с учетом задания весов [4].

В урбанистике известны также аналогичные экспертные оценки международных организаций Mercer Human Resource Consulting и The Blacksmith Institute [5]. Подобным образом строятся и другие индексы оценки состояния городов [6–9].

Например, в экологической безопасности городов применяют индекс загрязнения атмосферы, индекс пороговой массы опасных веществ, суммарный индекс опасности отдельных компонентов, загрязняющих ту или иную биогеохимическую среду (водную, воздушную и грунты) и т. д.

Индексы для оценки угроз определяются по простым соотношениям:

$$I = \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot I_i, \quad (1)$$

где  $I_i$  – индикаторы в виде нормируемых значений показателей;  $\alpha_i$  – весовые коэффициенты.

На основе использования зависимости (1) проводят сравнительный анализ природно-техногенной опасности различных урбанизированных территорий.

В нормативно-методическом документе [6] используется комплексный индекс загрязнения атмосферы, интегральный показатель уровня экологической опасности почв города, показатели состояния растительности и орнитофауны на территории города. Суммарная комплексная оценка проводится по зависимости (1) для каждого из перечисленных компонентов с учетом задания весовых коэффициентов.

В свою очередь, в методике [7] в области изменения среды обитания и состояния здоровья человека на определенной территории применяют показатели в пяти аспектах состояния территорий и экологической обстановки: медико-демографические критерии состояния здоровья населения; загрязнение воздуха селитебных территорий; загрязнение питьевой воды и водоисточников; загрязнение почв селитебных территорий и радиационное загрязнение. В области оценки изменения природной среды в соответствии с методикой используют показатели в девяти аспектах состояния территорий и экологической обстановки: загрязнение воздушной среды; загрязнение водных объектов, истощение ресурсов вод и деградация водных экосистем; загрязнение и деградация почв; изменение геологической среды; деградация наземных экосистем; растительный мир; животный мир; биогеохимическая оценка территорий. На основе сравнения показателей с критериями оценки экологической обстановки территорий определяется уровень и степень опасности того или иного события или процесса. Похожим образом, но с учетом специфических особенностей экспертных методик, построены другие индексы для оценки загрязнения атмосферного воздуха: КИЗА, AQI, AQNI, CAQI, АТМО, ВЕЛАТМО, АРІ, Z, Q, НІ, Н и т. д. [8, 9].

При оценке загрязнения поверхностных вод часто используется индекс загрязнения воды:

$$I_{зв} = \frac{1}{6} \cdot \sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ПДК_i}, \quad (2)$$

где  $C_i$  – концентрация азота аммонийного, азота нитритного, нефтепродуктов, фенолов, растворенного кислорода, а также  $БПК_s$ ;  $ПДК_i$  – предельно-допустимые концентрации содержания загрязняющих веществ в воде. Существуют также и другие индексы для оценки загрязнения поверхностных и подземных вод: индекс качества воды; формализованный суммарный показатель химического загрязнения (ПХЗ – 10); интегральный показатель, учитывающий способность загрязняющих веществ накапливаться в донных отложениях (КДА), и др.

В свою очередь, при загрязнении почв используется индекс опасности вида (2), при этом оценивается уровень загрязнения почв химическими веществами: кобальтом, марганцем, медью, нитратами, сульфатами, ртутью, свинцом, фосфором, хромом, цинком, пестицидами и т. д. Часто данный индекс называют суммарным показателем химического загрязнения почв ( $Z_c$ ).

Как показал анализ используемых методов, в области комплексной оценки существует целый ряд нерешенных проблем:

- существующие методы комплексной оценки применяют методологию экспертных подходов и не учитывают закономерности анализируемых систем;
- множество интегральных индексов не адаптированы к имеющимся статистическим данным наблюдений;
- используемые модели построены «по соглашению», основаны на частных и узких гипотезах и не могут служить фундаментом для формально строгих теорий;
- расчетные уравнения для индексов обладают слабой устойчивостью к изменениям данных и отличаются сильной зависимостью показателей.

Сегодня для создания адекватных моделей комплексной оценки многомерных систем необходима разработка шкал измерения совокупности значений показателей, которые бы не являлись в своей основе субъективными. Пока в глобалистике, урбанистике и экологии подобных систем количественной оценки не существует.

### Методика комплексной оценки на основе анализа событий

Методика комплексной оценки состояния территорий основывалась на вероятностном анализе совместных событий одновременного наблюдения нескольких показателей, характеризующих объекты [2, 10 – 13]. Вероятности этих событий  $w$  оценивались алгоритмически, алгоритмы сортировки, группировки и подсчета частот событий для многомерных случаев, а также скрипты определения их апостериорных вероятностей приведены в работах [1, 2]. Такой подход позволяет построить уравнения состоя-

ний объектов в виде эмпирических распределений для совместных событий, которые представляются в виде:

$$w = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Prob} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt;$$

$$Prob = c_0 + s;$$

$$s = \sum_{k=1}^n c_k \cdot \ln \frac{Pk}{Pk_0},$$
(3)

где  $w$  – вероятность совместного события наблюдения значений показателей  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , оцененная по данным;  $Prob$  – инверсная функция стандартного нормального распределения;  $c_k$  – коэффициенты регрессии;  $s$  – энтропия состояния объектов;  $Pk_0$  – опорные значения показателей  $Pk$  в группе объектов.

Если при обработке данных могут быть получены зависимости (3) хорошего качества, то в многомерном пространстве состояний объектов существует уравнение состояния, геометрически представляемое характеристической поверхностью. На каждой такой поверхности могут быть заданы естественные криволинейные координаты. Так как состояния всех объектов будут принадлежать (лежать вблизи) этой поверхности, то можно провести их ранжирование относительно этих координат. Поле направлений, отражающее тенденции в развитии всей группы объектов, будет определяться линиями энтропии (3). Ортогональные им поверхности будут формировать координатные линии в виде потенциала [2, 10–13]:

$$P = \frac{p_1^2 - p_{10}^2}{c_1 p_{10}^2} + \frac{p_2^2 - p_{20}^2}{c_2 p_{20}^2} + \dots + \frac{p_n^2 - p_{n0}^2}{c_n p_{n0}^2}. \quad (4)$$

Потенциал является функцией состояния и принят в качестве критерия комплексной оценки состояния объектов. Качество полученных зависимостей определяется по степени соответствия расчетных и опытных данных. Для этого оцениваются значения коэффициентов корреляции, значимость уравнений по критерию Фишера и проводится анализ адекватности моделей по остаткам. Более подробно теоретические положения метода сформулированы в работах [2, 10–13].

#### Прикладные задачи комплексной оценки урбанизированных территорий

Для построения уравнений состояний объектов использована методика оценки вероятностей совместных событий, кратко описанная выше.

*Пример 1. Оценка опасности загрязнения атмосферного воздуха городов*

В работе использованы данные наблюдений Росгидромета о загрязнении воздуха в наиболее крупных городах России (35 городов) [14, 15]. Опасность загрязнения оценивалась путем сравнения уровня загрязнения воздуха с действующими санитарно-гигиеническими нормами для четырех наиболее распространенных загрязняющих веществ: пыли, диоксида серы, оксида углерода и диоксида азота. Соответственно были введены показатели загрязнения  $p_1, p_2, p_3, p_4$  в виде концентраций этих веществ. В качестве безопасного (опорного) состояния принято состояние условного объекта, показатели загрязнения воздуха для которого равны предельно допустимым концентрациям вредных веществ: для пыли  $p_{10} = 0,15$  мг/м<sup>3</sup>; для диоксида серы  $p_{20} = 0,05$  мг/м<sup>3</sup>; для оксида углерода  $p_{30} = 3,0$  мг/м<sup>3</sup>; для диоксида азота  $p_{40} = 0,04$  мг/м<sup>3</sup>.

Для городов России получена регрессионная зависимость вероятности совместных событий  $w$  от энтропии состояния объектов:

$$Prob = -0,2501 + s;$$

$$s = 0,3001 \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_{10}}\right) + 0,2038 \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_{20}}\right) +$$

$$+ 0,3358 \cdot \ln\left(\frac{p_3}{p_{30}}\right) + 0,6206 \cdot \ln\left(\frac{p_4}{p_{40}}\right). \quad (5)$$

Коэффициент корреляции зависимости (5) составил 0,89, результаты обработки данных приведены на рис. 1. Согласно (3) – (4) определены энтропия и потенциал состояния для каждого города России. Результаты ранжирования объектов по данным наблюдений в 2007 г. приведены в табл. 1.

Предложенный метод позволяет оценить уровень риска загрязнения воздуха в многомерном пространстве показателей по отношению к объекту, у которого наблюдается безопасный уровень загрязнения атмосферного воздуха, регламентируемый действующими нормами.

Установлено, что уровень загрязнения атмосферного воздуха, определенный по методике расчета комплексного индекса загрязнения атмосферы [8], достаточно тесно связан с потенциалом состояния  $P$ , рассчитанным по данному методу.

К первым пяти крупным городам России, имевшим в 2007 г. самый высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, относятся: Воронеж, Хабаровск, Иркутск, Новосибирск и Тюмень.

*Пример 2. Оценка городов по показателям благоустройства*

Анализ информации о благоустройстве городских территорий основывался на данных Федеральной службы государственной статистики [17]. Информация о состоянии жилищного фонда, зеленых

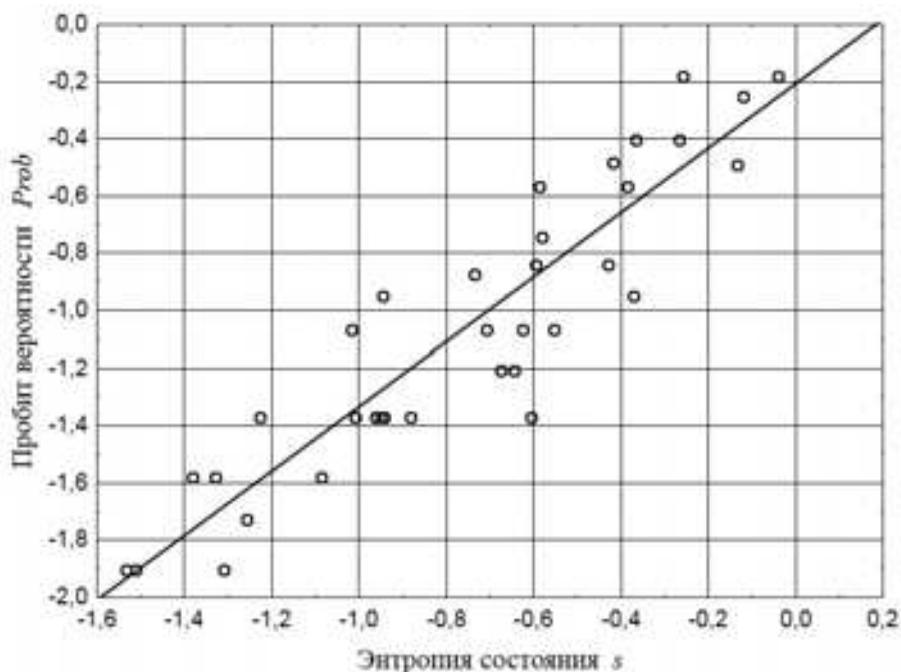


Рис. 1. Зависимость вероятности  $w$  от энтропии состояния  $s$  для событий, характеризующих загрязнение атмосферного воздуха крупных городов России

Таблица 1

Значения потенциала  $P$  и рейтинги крупных городов России, связанные с уровнем загрязнения атмосферы

Город	Потенциал состояния $P$	Ранг города	Город	Потенциал состояния $P$	Ранг города
Астрахань	-9,69	29	Новосибирск	-2,52	4
Барнаул	-3,61	9	Омск	-9,82	31
Владивосток	-3,76	11	Оренбург	-5,74	16
Волгоград	-6,65	20	Пенза	-9,78	30
Воронеж	14,05	1	Пермь	-9,34	27
Екатеринбург	-5,84	17	Ростов-на-Дону	-3,50	7
Ижевск	-10,32	33	Рязань	-8,54	24
Иркутск	-1,75	3	Самара	-9,56	28
Казань	-3,72	10	Санкт-Петербург	-4,39	13
Кемерово	-8,94	25	Саратов	-6,26	18
Киров	-10,21	32	Тольятти	-7,82	22
Краснодар	-3,60	8	Тула	-12,09	35
Красноярск	-4,84	14	Тюмень	-2,79	5
Липецк	-9,00	26	Ульяновск	-4,87	15
Москва	-4,27	12	Уфа	-6,27	19
Нижний Новгород	-7,13	21	Хабаровск	0,67	2
Новокузнецк	-2,83	6	Челябинск	-7,83	23

зон, благоустройстве улиц и т. д. содержала данные для 79 регионов Российской Федерации.

В качестве основных показателей для оценки благоустройства городских территорий были приняты:

- относительная площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя в городских поселениях,  $p_1$ ;
- доля общей площади зеленых массивов и насаждений в общей площади городских земель,  $p_2$ ;
- доля замощенных частей улиц в их общей протяженности,  $p_3$ ;
- доля освещенных частей улиц в их общей протяженности,  $p_4$ .

С целью проведения комплексной оценки рассматривалось совместное событие наблюдения указанных выше показателей, для которого алгоритмически по имеющимся данным определялась статистическая вероятность событий  $w$ . В результате установления связей вероятности данного события  $w$  со значениями показателей  $p_1, p_2, p_3, p_4$  получены распределения вида (3), характеризующие состояние благоустройства городских территорий:

$$\begin{aligned} Pr ob &= 1,299 + s; \\ s &= 2,669 \cdot \ln p_1 + 0,757 \cdot \ln p_2 + 0,940 \cdot \ln p_3 + 0,400 \cdot \ln p_4. \end{aligned} \quad (6)$$

Коэффициент множественной корреляции зависимости (6) составил 0,92. Для примера результаты обработки данных для 2015 г. приведены на рис. 2. Из рисунка видна общая тенденция благоустройства городских территорий, которая описывается распределениями вида (6).

Ранги регионов России по показателям благоустройства городских территорий определены на основе оценки потенциала состояния объектов (табл. 2). Ранги устанавливались по убыванию значения потенциала, рассчитанного согласно зависимости (4) по отношению к максимально наблюдаемым показателям благоустройства территорий:  $p_1 = 33,3 \text{ м}^2/\text{чел.}$ ;  $p_2, p_3, p_4 = 100 \%$ .

Как видно из таблицы, к первым пяти регионам, имевшим в 2015 г. самый высокий уровень благоустройства городских территорий, относятся Москва, Санкт-Петербург, Белгородская и Нижегородская области и Республика Татарстан.

Таблица 2

Значения показателя  $P$  и ранги регионов России, связанные с уровнем благоустройства городских территорий в 2015 г.

Регион	Потенциал $P$	Ранг	Регион	Потенциал $P$	Ранг
1	2	3	4	5	6
Белгородская область	-1,828	3	Ставропольский край	-2,606	14
Брянская область	-2,899	28	Республика Башкортостан	-2,642	18
Владимирская область	-2,606	15	Республика Марий Эл	-3,407	50
Воронежская область	-3,036	32	Республика Мордовия	-3,038	33
Ивановская область	-3,507	52	Республика Татарстан	-2,216	5
Калужская область	-2,317	6	Удмуртская Республика	-3,121	35
Костромская область	-3,197	38	Чувашская Республика	-2,380	9
Курская область	-2,395	11	Пермский край	-3,566	54
Липецкая область	-2,331	8	Кировская область	-3,373	49
Московская область	-2,611	16	Нижегородская область	-2,199	4
Орловская область	-2,679	19	Оренбургская область	-3,808	62
Рязанская область	-3,233	41	Пензенская область	-2,877	26
Смоленская область	-2,899	29	Самарская область	-2,733	21
Тамбовская область	-2,861	25	Саратовская область	-3,515	53
Тверская область	-2,749	22	Ульяновская область	-3,266	42
Тульская область	-2,475	12	Курганская область	-3,672	58
Ярославская область	-2,382	10	Свердловская область	-3,167	37
Город Москва	-1,387	1	Тюменская область	-2,626	17
Республика Карелия	-2,322	7	Челябинская область	-3,314	45
Республика Коми	-2,754	23	Республика Алтай	-2,819	24
Архангельская область	-2,710	20	Республика Бурятия	-4,270	75

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6
Вологодская область	-2,885	27	Республика Тыва	-3,996	67
Калининградская область	-2,476	13	Республика Хакасия	-4,033	68
Ленинградская область	-3,198	39	Алтайский край	-3,969	66
Мурманская область	-3,016	30	Забайкальский край	-4,684	78
Новгородская область	-3,017	31	Красноярский край	-3,723	59
Псковская область	-3,316	47	Иркутская область	-3,829	63
Город Санкт-Петербург	-1,480	2	Кемеровская область	-4,054	69
Республика Адыгея	-3,200	40	Новосибирская область	-3,944	65
Республика Калмыкия	-3,943	64	Омская область	-4,061	70
Краснодарский край	-3,156	36	Томская область	-3,280	44
Астраханская область	-3,054	34	Республика Саха (Якутия)	-4,062	71
Волгоградская область	-3,736	61	Камчатский край	-3,620	56
Ростовская область	-3,589	55	Приморский край	-4,140	72
Республика Дагестан	-3,644	57	Хабаровский край	-3,489	51
Республика Ингушетия	-4,935	79	Амурская область	-4,255	74
Магаданская область	-3,731	60	Сахалинская область	-3,269	43

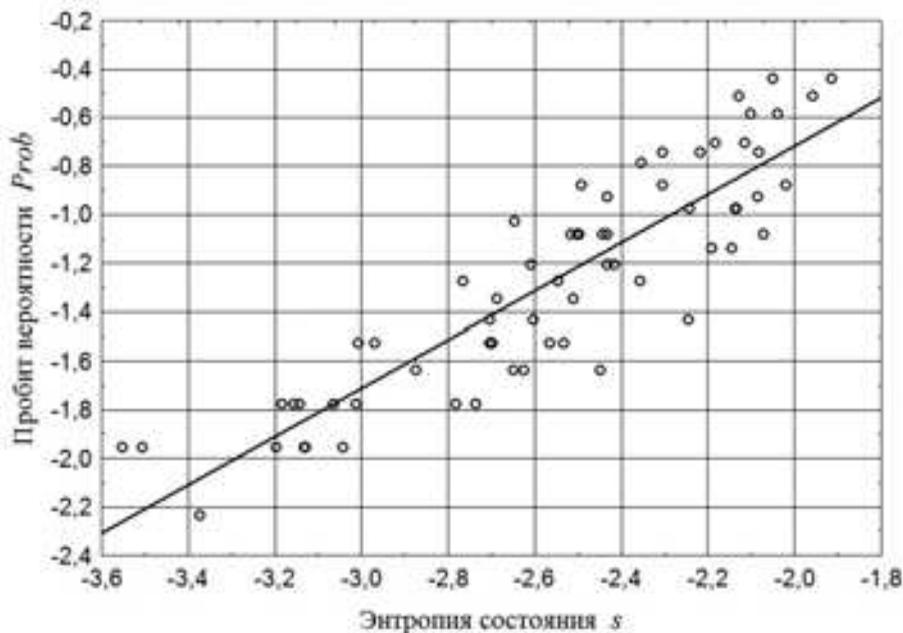


Рис. 2. Зависимость вероятности  $w$  от энтропии состояния  $s$  для событий, характеризующих благоустройство городских территорий в 2015 г.

*Пример 3. Оценка стран по экологическим показателям*

Теперь проиллюстрируем предложенный метод комплексной оценки на примере сравнения стран Европы по экологическим показателям урбанизированных территорий. В качестве показателей для оценки развития стран использовались: суммарные выбросы парниковых газов на душу населения  $p_1$ , т  $CO_2$ -экв./чел.; доля охраняемых территорий

в общей площади земель  $p_2$ , %; доля сельскохозяйственных земель в общей площади всех земель  $p_3$ , %. Для решения задачи воспользуемся базами данных [17]. Оценка осуществлялась относительно средних значений показателей по отношению к условно принятой опорной точке. В качестве опорного значения показателя выбросов парниковых газов на душу населения  $p_1$  принято его среднее значение по странам Европы, равное  $p_{10} = 8,8$  т  $CO_2$ -экв./чел. Аналогичным

образом принято опорное значение по охраняемым территориям  $p_{20} = 10,9\%$  и доля сельскохозяйственных земель в общей площади  $p_{30} = 48,8\%$ . В результате вычислений для вероятностей событий получена регрессионная зависимость следующего вида:

$$\ln(w) = -1,804 + s;$$

$$s = 0,466 \cdot \ln\left(\frac{p_1}{p_{10}}\right) + 0,495 \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_{20}}\right) + 1,041 \cdot \ln\left(\frac{p_3}{p_{30}}\right). \quad (7)$$

Коэффициент корреляции зависимости (7) составил 0,91, результаты обработки данных приведены на рис. 3.

Ранги стран по экологическому состоянию устанавливались по возрастанию степени воздействия стран на окружающую природную среду (табл. 3).

Таким образом, с учетом вероятностного анализа совместных событий, связанных с наблюдением трех-четырех основных показателей, можно проводить взаимное сравнение по определенным аспектам различных урбанизированных территорий. При этом важным является то, что принятые показатели могут быть разной природы, так как в итоге рассматриваются события наблюдения этих показателей.

Таблица 3

Значения потенциала  $P$  и ранги стран Европы относительно средних значений экологических показателей

Страна	Потенциал $P$	Ранг	Страна	Потенциал $P$	Ранг
Лихтенштейн	25,15	1	Украина	-0,80	27
Люксембург	22,64	2	Туркменистан	-0,99	28
Эстония	18,23	3	Латвия	-1,01	29
Германия	15,28	4	Словения	-1,17	30
Австрия	12,29	5	Исландия	-1,24	31
Польша	11,34	6	Литва	-1,41	32
Швейцария	10,88	7	Кипр	-1,52	33
Словакия	8,79	8	Румыния	-1,68	34
Монако	6,24	9	Швеция	-2,01	35
Чехия	6,09	10	Беларусь	-2,11	36
Великобритания	5,89	11	Португалия	-2,21	37
Нидерланды	4,62	12	Азербайджан	-2,26	38
Ирландия	4,23	13	Хорватия	-2,30	39
Финляндия	2,65	14	Македония	-2,32	40
Дания	2,07	15	Армения	-2,36	41
Россия	1,90	16	Молдова	-2,37	42
Казахстан	1,60	17	Узбекистан	-2,44	43
Бельгия	1,51	18	Мальта	-2,91	44
Италия	1,38	19	Андорра	-3,02	45
Греция	0,97	20	Турция	-3,22	46
Таджикистан	0,88	21	Сербия и Черногория	-3,26	47
Франция	0,81	22	Кыргызстан	-3,56	48
Испания	0,04	23	Грузия	-4,01	49
Венгрия	-0,20	24	Албания	-4,01	50
Болгария	-0,56	25	Босния и Герцеговина	-4,25	51
Норвегия	-0,77	26	Сан-Марино	-5,01	52

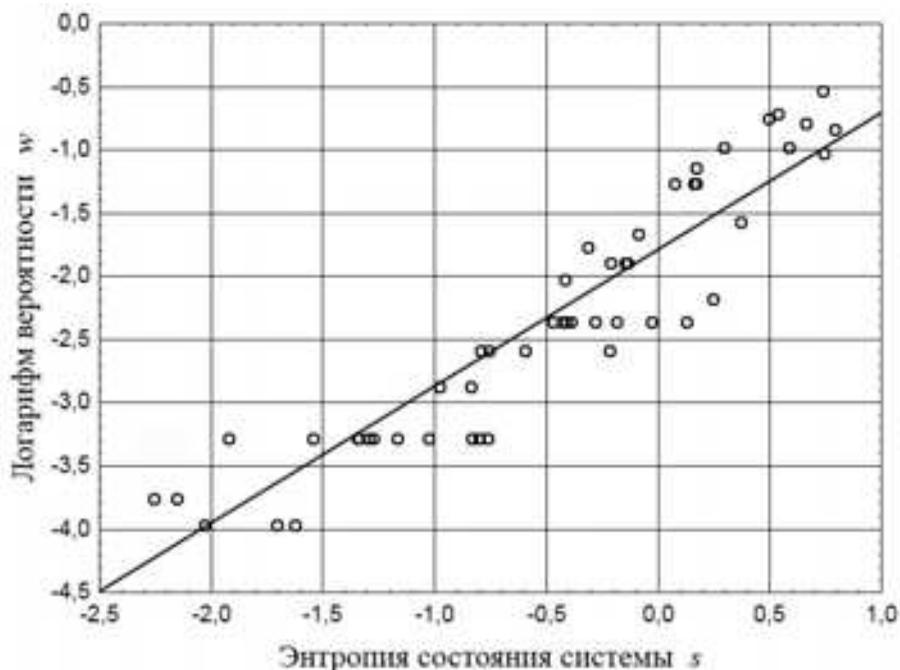


Рис. 3. Зависимость вероятности  $w$  от энтропии  $s$  для событий, характеризующих экологическое состояние стран Европы

**Выводы.** Полученные результаты позволяют предложить метод комплексной оценки урбанизированных территорий на основе нахождения эмпирических распределений вероятностей совместных событий. Это позволяет ранжировать города и урбанизированные территории в многомерном пространстве показателей по отношению ко всей группе изучаемых объектов. Особенностью данного метода является применение алгоритмического подхода при определении вероятностей и отказ от использования экспертных методов и зависимостей. В отличие от традиционных методов, оценка основывается на учете статистических закономерностей, характерных для группы объектов в многомерных пространствах показателей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аверин Г.В. Системодинамика. Донецк: Донбасс, 2014. 405.
2. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем. М.: Спектр, 2016. 257 с.
3. Яйли Е.А. Научные и прикладные аспекты управления урбанизированными территориями на основе инструмента риска и новых показателей качества окружающей среды / под ред. Л.Н. Карлина. СПб.: РГТМУ, ВВМ, 2006. 448 с.
4. European Green City Index. Assessing the environmental impact of Europe's major cities. A research project conducted by the Economist Intelligence Unit, sponsored by Siemens. Munich, Germany: Siemens AG, 2009, 100 p. – Available at: [www.siemens.com/greencityindex](http://www.siemens.com/greencityindex) (accessed 9 February 2018).
5. Mercer Human resort Consulting. – Available at: <http://www.mercerhr.com/> (accessed 15 February 2018).
6. Временные методические указания по проведению комплексной экологической оценки состояния атмосферного воздуха большого города / под ред. В.Б. Миляева. М.: Минприроды России, НИИ Атмосфера. 1995 [Электронный ресурс] URL: <http://www.bestpravo.ru/rossijskoje/jl-normy/w8v.htm> (дата обращения: 03.02.2018).
7. Методика «Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: МПР РФ, 1992. [Электронный ресурс] URL: [http://businesspravo.ru/Docum/DocumShow\\_DocumID\\_10592.html](http://businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_10592.html) (дата обращения: 03.02.2018).
8. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. М.: Гос. ком. СССР по гидрометеорологии – Минздрав СССР, 1991. 691 с.
9. Звягинцева А.В. Системы оценки опасности и риска при загрязнении атмосферного воздуха: попытка обобщения подходов // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе. 2014. №1 (6)–2(7). С. 131–163.
10. Звягинцева А.В. Событийная оценка состояния городов России по комплексу социально-экономических показателей // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Экономика. Информатика. 2017. №9 (258), вып. 42. С. 122–132.
11. Звягинцева А.В., Аверин Г.В., Хоруженко А.С. Комплексная оценка состояния и развития городов

на основе определения вероятностей характерных событий // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2016. №3 (15). С. 18–29.

12. Звягинцева А.В., Иващук О.А., Пилипенко О.В. Изучение тенденций развития городов России на основе методов событийной оценки // Строительство и реконструкция. 2017. №6 (74). С. 85–94.

13. Звягинцева А.В., Константинов И.С. Модели эволюционного развития регионов на основе показателей благоустройства городских территорий // Информационные системы и технологии. 2017. №6 (104). С. 40–50.

14. Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2013 г. СПб.: ООО РИФ «Д'Арт», 2014. 231 с.

15. Качество воздуха в крупнейших городах России за 10 лет 1998-2007 гг.: аналитический обзор. СПб., 2009. 134 с.

16. Жилищное хозяйство в России: стат. сб. М.: Росстат, 2016. 63 с. [Электронный ресурс]: офиц. сайт. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1138887300516](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138887300516) (дата обращения: 15.02.2018).

17. Защита окружающей среды Европы – Четвертая оценка. Европейское агентство по окружающей среде, Копенгаген. Дания: Schultz Grafisk, 2007. 452 с.

Об авторах:

**КОНСТАНТИНОВ Игорь Сергеевич**

доктор технических наук, профессор, проректор по научной и инновационной деятельности Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85  
Email: konstantinov@bsu.edu.ru

**KONSTANTINOV Igor S.**

Doctor of Engineering Science, Professor, Vice-Rector for Research and Innovative Activity  
Belgorod State National Research University  
308015, Russia, Belgorod, Pobedy str., 85  
Email: konstantinov@bsu.edu.ru

**ЗВЯГИНЦЕВА Анна Викторовна**

кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории прикладного системного анализа и информационных технологий  
Белгородский государственный национальный исследовательский университет  
308015, Россия, г. Белгород, ул. Победы, 85  
Email: zviagintseva@bsu.edu.ru, anna\_zv@ukr.net

**ZVYAGINTSEVA Anna V.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Senior Researcher of the Research Laboratory of Applied Systems Analysis and Information Technologies  
Belgorod State National Research University  
308015, Russia, Belgorod, Pobedy str., 85  
Email: zviagintseva@bsu.edu.ru, anna\_zv@ukr.net

Для цитирования: Константинов И.С., Звягинцева А.В. Комплексная оценка состояния урбанизированных территорий // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.63-71. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.12.  
For citation: Konstantinov I.S., Zvyagintseva A.V. Integrated assessment of the condition of urbanized areas // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 63-71. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.12.

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



УДК 72.01

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.13

**К.С. ЛЁШИНА**  
**Е.А. СЫСОЕВА**  
**П.В. СЛАСТЕНИН**

## ПРИНЦИПЫ И ПРИЕМЫ АРХИТЕКТУРНОЙ АДАПТАЦИИ ИСТОРИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ЗДАНИЙ

### PRINCIPLES AND METHODS OF ARCHITECTURAL ADAPTATION OF HISTORICAL COMPLEXES AND BUILDINGS

*Рассматривается актуальность сохранения и адаптивного использования исторических зданий и сооружений. В качестве ключевой идеи сформулировано положение о важнейшей роли промышленных предприятий в истории формирования города Самары, важности данных построек как ценных объектов наследия и необходимости их сохранения и развития. Рассмотрены зарубежные аналоги, на основе которых выявлены принципы и приемы архитектурных решений приспособления исторических зданий и комплексов для современного использования. Делается вывод, что в городах России, в том числе Самаре, существует множество объектов, нуждающихся в сохранении, восстановлении и повторном использовании. Накопленный зарубежный опыт может помочь в составлении теоретико-практической базы для сохранения наследия.*

**Ключевые слова:** архитектурная адаптация, повторное использование, памятники архитектуры, сохранение, архитектурное наследие

В настоящее время растёт интерес к сохранению, восстановлению и современному использованию объектов архитектурного наследия. Еще совсем недавно данное направление находилось на далекой периферии общественного сознания, сегодня же на обновление объектов и территорий расходуется средства, сравнимые с затратами на новое строительство. Недавний отток населения и городской активности от центров исторических городов повсеместно сменился волной обратного тяготения. Сегодня есть возможность интегрировать в городскую историческую среду новые технологии в сочетании с новыми

*The urgency of preservation and adaptive use of historical buildings and structures is considered. As a key idea, a position is formulated on the most important role of industrial enterprises in the history of the formation of the city of Samara, the importance of these buildings as valuable heritage objects and the need for their preservation and development. Foreign analogues are considered on the basis of which the principles and methods of architectural solutions of the adaptation of historic buildings and complexes for modern use are revealed. It is concluded that in the cities of Russia, including Samara, there are many objects that need to be preserved, restored and reused. The accumulated foreign experience can help in drawing up a theoretical and practical basis for preserving the heritage.*

**Keywords:** architectural adaptation, reuse, architectural monuments, conservation, architectural heritage

архитектурными и дизайнерскими решениями для повышения презентационных качеств пространства. Приспособление к современному использованию объектов архитектурного наследия способствует сохранению исторической городской застройки.

В Самаре реконструкция исторической застройки кварталов приобретает первостепенное значение ввиду большого количества неэксплуатируемых зданий и комплексов, в том числе промышленной архитектуры, длительного отсутствия работ по сохранению, а также исчезновения целевой исторической среды города. Городская исто-

рическая застройка представлена деревянной и каменно-деревянной архитектурой конца XIX – начала XX в., зданиями эпохи модерна, высокопрофессиональными стилизациями эклектики, наследием советского авангарда и сталинской классики. В структуре городской застройки расположены значительные территории бывших промышленных предприятий. История становления и развития города Самары в значительной степени была историей развития его промышленности. Предприятия являлись важнейшими элементами городской среды и активно влияли на формирование ее планировочной структуры – размещение жилья, объектов общегородского центра, трассировку транспортных и инженерных коммуникаций. Уже давно назрела необходимость в исследовании уникальной исторически сложившейся промышленной застройки Самары, ее инвентаризации и постановке на учет охраняемых органов с определением регламентов ее реконструкции. Очевидно, что значительная часть промышленных объектов перестроена, утрачена или находится на стадии разрушения, поэтому то, что сохраняется, нуждается в безотлагательной оценке своего потенциала для развития. Спасение архитектурного наследия, промышленных объектов в том числе, – первоочередная задача для Самары. Если сохранится текущая динамика разрушения, то город присоединится к сонму городов, лишенных индивидуального облика, с беспорядочной планировкой и застройкой, разбавленной небольшим количеством объектов культурного наследия. Бывшие промышленные здания и комплексы могут стать важными точками городского возрождения [1–4].

В ходе исследования было рассмотрено множество архитектурных аналогов перепрофилирования исторических зданий и комплексов, на основе которых были выявлены принципы и приемы архитектурной адаптации. Данная информация может стать теоретической базой при разработке научно-проектной документации по приспособлению исторических зданий и комплексов для современного использования, в том числе объектов промышленной архитектуры. Можно выделить пять наиболее распространенных архитектурно-строительных комплексов мероприятий по сохранению исторических зданий и комплексов, включающих набор принципов и методов адаптации:

- **реставрация** (возврат к первоначальному замыслу, предполагающий применение старых строительных материалов, приемов и технологий с дальнейшим использованием объекта в прежних целях либо его музейным экспонированием);
- **воссоздание** (возобновление или «макетирование»; восстановление утраченных элементов среды в случае приобретения ею прежних эстетических достоинств);
- **реновация** (обновление, укрепление сооружения, применение упрочняющих конструктивных

элементов и строительных материалов; восстановление комплексов с использованием средовых объектов под функции, не противоречащие сохранению его облика и планировки);

- **реконструкция** (перестройка; наиболее свободный режим строительных работ, подчиненный задачам нового функционирования, допускающий снос ветхих строений, перепланировку. На уровне отдельных объектов не исключает использование новых строительных материалов);

- **модернизация** (изменение, усовершенствование объекта, подразумевает капитальный ремонт с инженерным благоустройством, приспособлением под новые функции, с изменением принципов структурирования градостроительной среды под новые социально-экономические требования) [5].

Ярким примером реставрации может служить дворец Сан-Тельмо (*San Telmo Palace Restoration, Испания, 2010*), который был построен в XVII в. и является одним из символических зданий севильской архитектуры барокко. Проект адаптации включил в себя полное сохранение объемно-планировочного решения здания, а также восстановление фасадов. В настоящее время объект используется в качестве резиденции председателя андалузского автономного правительства [6].

Примером воссоздания является Цистерцианская женская обитель (*Convento Das Bernardas, Португалия, 2012*), в которой автор сохранил эстетику, свойственную цистерцианским постройкам, и восстановил замкнутую композицию монастыря [7].

В качестве примера реновации можно рассмотреть кирпичные здания бывшего промышленного здания старого угольного рудника Винтерслаг («С-Mine», *Бельгия, 2010*), которые являются памятниками архитектуры. Проект предполагал приспособление объекта под центр дизайна, ресторан, зал для общественных мероприятий и туристический центр, знакомящий посетителей с историей местных угольных шахт [8]. К реновации можно также отнести адаптацию бывших казарм с целью создания репрезентативного образца промышленного и военного наследия Мадрида (*Daoíz Y Velarde Cultural Center, Испания, 2013*). Идеей было сохранить существующую геометрию плана, пилообразную структуру кровли и кирпичный фасад, а также внести новую функцию культурного центра с возможностью использования пространства для различных мероприятий [9].

Примером реконструкции является комплекс военно-морской верфи (*Theatre De Kampanje, Нидерланды, 2015*) с новыми общественными функциями, такими как арт-центр, офисы, рестораны и концертный зал [10].

Ярким примером модернизации является проект бывших хозяйственных построек с целью создания комплекса здравоохранения для пожилых людей (*Leszczynski Antoniny Manor Intervention, Польша,*

2015). Проект включал восстановление и расширение трех бывших хозяйственных построек с целью создания комплекса здравоохранения для пожилых людей. Стояла масштабная техническая задача: под зданием бывшей конюшни разработать подвал (которого там никогда не было), чтобы разместить все техническое оснащение комплекса [11].

Архитектурно-художественные особенности адаптации обусловлены взаимодействием старого и нового в здании или комплексе, которые основываются на следующих принципах: *контекст* (сохранение принципов существующего здания или комплекса), *нюанс* (незначительные отличия в применении основных архитектурных решений сохраняемой и изменяемой частей здания) или *контраст* (намеренное противопоставление принципа дополнения по отношению к существующему зданию).

Принцип контекстного сочетания в основном используется при реставрации, воссоздании и реновации, поскольку существует необходимость сохранения объекта в первоначальном виде, его свойств и замысла. Примером является Вокзал Беналуа, принадлежащий организации, которая ведет сотрудничество Испании с другими странами Средиземноморья. Авторы не изменяли композиционные и эстетические характеристики места, а только лишь применили упрочняющие конструктивные элементы и перекрыли внутреннее пространство полупрозрачной ярко-синей кровлей [12].

Принцип нюансного сочетания в основном используется при воссоздании, реновации и реконструкции, поскольку остается основная идея здания или комплекса, но возможны изменения структуры или деталей. В качестве примера можно рассмотреть академический культурный центр Сан-Пабло (*San Pablo Academic And Cultural Center, Мексика, 2012*). Данный объект имел малую историческую ценность, вследствие чего был искажен множественными дополнениями и изменениями с течением времени. Сохраняя «дух места», архитекторы восстанавливают здание, но в ином материале, как бы показывая зрителю истинное и ложное [13].

Принцип контрастного сочетания в основном используется при реновации, реконструкции и модернизации, поскольку объект скорее всего уже не несет архитектурную, градостроительную или историческую ценность. Ярким примером может служить реабилитация бывшей тюрьмы Паленсии в культурный центр (*Rehabilitation Of Former Prison Of Palencia As Cultural Civic Center, Испания, 2011*). Предложением архитекторов было намеренное превращение места отчужденности людей в место встреч и мероприятий, что является идейным и функциональным противопоставлением существующему зданию. Интерьер полностью видоизменился с целью размещения новой независимой структуры и создания контраста между красным фактурным кирпичом экстерьера и белой гладкой поверхно-

стью интерьера [14]. Сочетание данных методов и принципов адаптации более подробно рассмотрено на рис. 1.

Проанализированные зарубежные аналоги свидетельствуют о том, что, кроме трех основных принципов, существует множество приемов, которые являются неотъемлемыми элементами архитектурной адаптации. Среди них можно выделить следующие:

- **Частичное внедрение новой архитектуры** (создание новой структуры рядом/над/под/вокруг старого здания. Выявление новой структуры за счет использования контрастных архитектурно-планировочных решений/ новых материалов/ пропорций и др.).

- **Безрамное остекление** (использование в разработке форм реконструктивных дополнений простых архитектурных тем. Чаще всего в их роли выступают стены и крупные плоскости остекления. Их предназначение в новом композиционном сочетании – быть фоном для старой архитектуры).

- **Выявление конструктивной системы** (сохранение, полная/частичная замена морально и физически устаревших элементов несущих и ограждающих конструкций, перекрытий, перегородок, их усиление. «Обнажение» конструкций).

- **Консервация элементов здания** (размещение фрагментов сохранившихся фасадов в кладке новых стен в качестве декоративных элементов, включение отдельных деталей декора фасадов (скульптуры, капителей, наличников окон), обычно найденных на месте строительства и иногда указывающих на функциональную специализацию новостроя или специально сохраненных).

- **Противопоставление внешнего и внутреннего** (контрастное сочение внешнего и внутреннего пространства старого здания за счет использования новых интерьерных решений и материалов).

- **Включение открытых пространств в границы здания** (создание крытых внутренних дворов, переходов).

- **Работа со светом** (внедрение световых фонарей, искусственного освещения).

- **Современные элементы в старом контексте** (акцентирование внимания на контрастных современных деталях).

- **Гомогенизация пространства** (выкрашивание одним цветом).

- **Акцентирование на новых конструкциях** (внедрение новых конструктивных систем: фасад, атриум, лестницы).

- **Внедрение современного благоустройства** и др.

Как правило, может использоваться одновременно несколько приемов. Их количество и вариативность меняются в связи с быстрыми темпами роста технологических процессов и появлением новых материалов. Примеры вышеописанных приемов представлены на рис. 2.

	ОБЪЕМНОЕ РЕШЕНИЕ			ФАСАДНОЕ РЕШЕНИЕ		
	контекст	новое	контраст	контекст	новое	контраст
РЕСТАВРАЦИЯ						
ВОССОЗДАНИЕ						
РЕКОНСТРУКЦИЯ						
МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ						
МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОССОЗДАНИЯ						

	ПЛАНИРОВОЧНОЕ РЕШЕНИЕ			КОНСТРУКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ			ИНТЕРЬЕРНОЕ РЕШЕНИЕ		
	контекст	новое	контраст	контекст	новое	контраст	контекст	новое	контраст
РЕСТАВРАЦИЯ									
ВОССОЗДАНИЕ									
РЕКОНСТРУКЦИЯ									
МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ									
МОДЕРНИЗАЦИЯ ВОССОЗДАНИЯ									

Рис. 1. Принципы архитектурной адаптации устаревших зданий

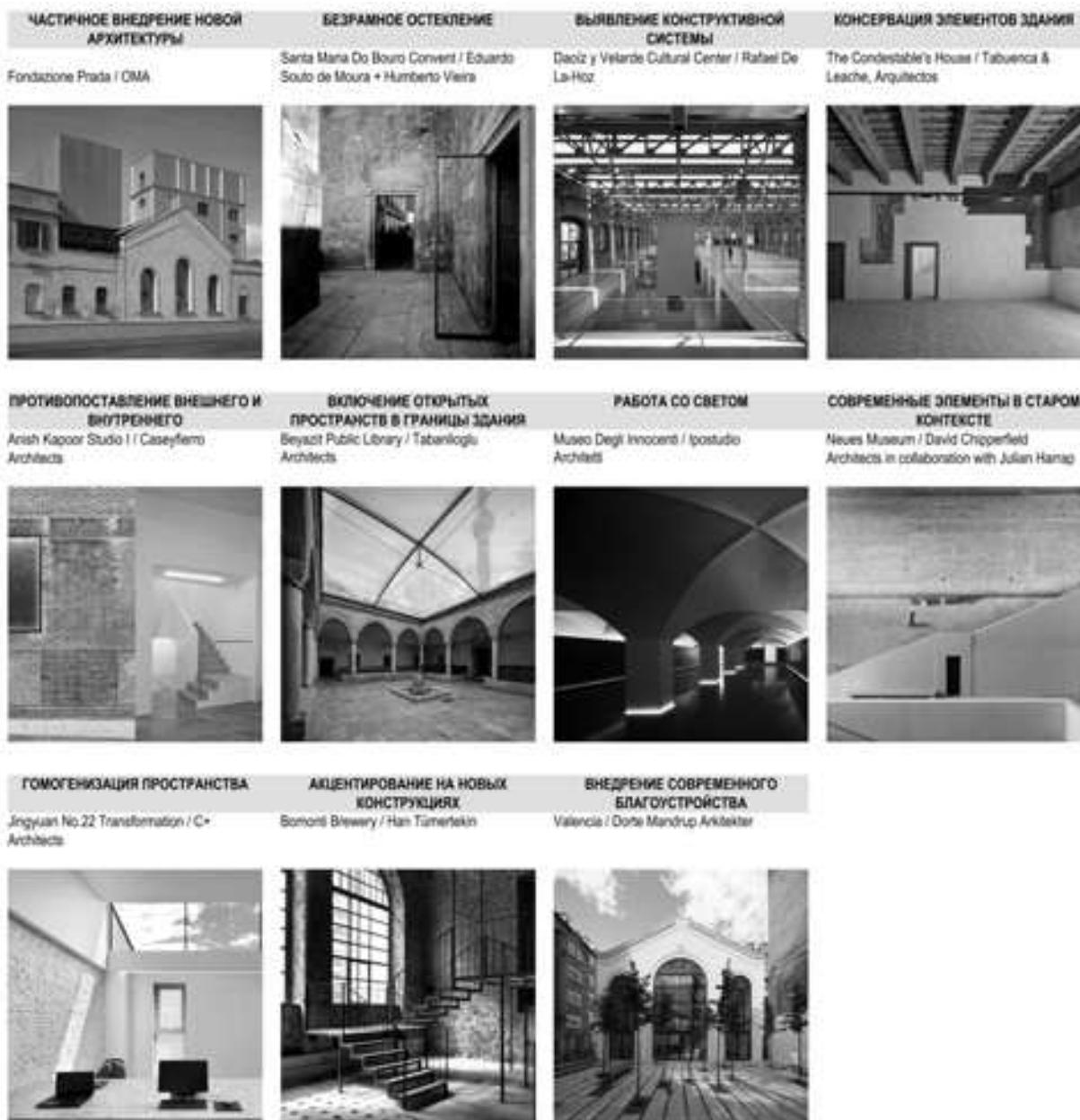


Рис. 2. Приемы архитектурной адаптации устаревших зданий

**Вывод.** В исторических центрах российских городов, в том числе в Самаре, существует огромное количество строений, ожидающих своей очереди быть замеченными, сохранёнными и приспособленными для современного использования. В работах по сохранению нуждаются комплексы промышленных объектов конца XIX – начала XX в., когда архитектурным решениям фасадов подобных сооружений и комплексов уделялось не меньше внимания, чем внешнему архитектурному облику городских особняков. Не будет преувеличением сказать, что российское архитектурное наследие эпохи индустриализации и кон-

структивизма по-своему уникально. Снос или предание забвению этих зданий будет одинаково невосполнимой потерей. Зарубежный опыт перепрофилирования устаревших объектов к настоящему времени довольно велик, на его основе были выявлены основные принципы и приемы архитектурной адаптации. Накопленный опыт по данной тематике может стать основой теоретической и рекомендательной базы для перепрофилирования неиспользуемых объектов, которые, в свою очередь, станут своеобразным историческим, культурным и художественно-эстетическим воплощением того или иного исторического

периода. Именно они сохраняют «дух места» и придадут многозвучность и многозначность городским пространствам, претендуя стать важным элементом устойчивого развития и сохранения наследия.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каркаръян В.Г. Река Волга – город Самара: путешествие сквозь века / СГАСУ. Самара, 2010. 250 с.
2. Синельник А.К. Градостроительная история Самарского края. Самара, 2000. 192 с.
3. Самогоров В. А., Сысоева Е. А., Чёрная Ю. Д. Деревянная и каменно-деревянная архитектура Самары конца XIX – начала XX веков. Самара: Книга, 2011. 400 с.
4. Головин А. Г., Самогоров В. А. Архитектурно-планировочная реконструкция промышленных предприятий исторической части города. Самара, 1990. 64 с.
5. Вавилонская Т.В. (Баранова). Стратегия обновления архитектурно-исторической среды: монография / СГАСУ. Самара, 2008. 243 с.
6. San Telmo Palace Restoration / Vázquez Consuegra [Электронный ресурс]: <http://www.archdaily.com/642519/san-telmo-palace-restoration-for-the-presidential-seat-of-the-regional-government-of-andalusia-vazquez-consuegra/> (дата обращения: 24.04.2017).
7. Eduardo Souto De Moura 2009-2014. Domesticar La Arquitectura. Domesticating Architecture. Croquis. 2015. №176.
8. Культурный центр на месте рудника [Электронный ресурс]: <http://archi.ru/world/31062/kulturnyi-centra-na-meste-rudnika/> (дата обращения: 24.04.2017).
9. Daoíz y Velarde Cultural Centre [Электронный ресурс]: <http://miesarch.com/work/652/> (дата обращения: 24.04.2017).
10. Theatre de Kampanje / van Dongen-Koschuch [Электронный ресурс]: <https://www.archdaily.com/776209/theatre-de-kampanje-van-dongen-koschuch/> (дата обращения: 24.04.2017).
11. Leszczynski Antoniny Manor Intervention / NA NO WO architekci [Электронный ресурс]: <https://www.archdaily.com/781567/leszczynski-antoniny-manor-intervention-na-no-wo-architekci/> (дата обращения: 24.04.2017).
12. Manuel ocaña casa mediterraneo headquarters [Электронный ресурс]: <https://divisare.com/projects/299276-manuel-ocana-david-frutos-casa-mediterraneo-headquarters/> (дата обращения: 24.04.2017).
13. San Pablo Centro Académico y Cultural [Электронный ресурс]: <http://oaxaca-chapulines.blogspot.ru/2012/01/san-pablo-centro-academico-y-cultural.html/> (дата обращения: 24.04.2017).
14. Eduardo Delgado Orusco [Электронный ресурс]: <https://www.dezeen.com/2012/04/20/civic-centre-in-palencia-by-exit-architects/> (дата обращения: 24.04.2017).

Об авторах:

#### **ЛЁШИНА Ксения Сергеевна**

магистрант архитектурного факультета Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: leshina.ksenia@yandex.ru

#### **СЫСОЕВА Елена Александровна**

кандидат архитектуры, доцент, преподаватель кафедры архитектуры Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: sea121981@mail.ru

#### **СЛАСТЕНИН Петр Викторович**

ассистент кафедры архитектуры Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: petrarh87@mail.ru

#### **LESHINA Ksenia S.**

Master's Degree Student of the Faculty of Architecture Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: leshina.ksenia@yandex.ru

#### **SYSOYEVA Elena A.**

PhD in Architecture, Associate Professor, Lecturer of the Architecture Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: sea121981@mail.ru

#### **SLASTENIN Petr V.**

Assistant of the Architecture Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: petrarh87@mail.ru

Для цитирования: Лёшина К.С., Сысоева Е.А., Слостенин П.В. Принципы и приемы архитектурной адаптации исторических комплексов и зданий // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.72-77. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.13. For citation: Leshina K.S., Sysoyeva E.A., Slaetenin P.V. Principles and methods of architectural adaptation of historical complexes and buildings // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 72-77. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.13.

**Н.А. ОРЛОВА****Д.Н. ОРЛОВ****СРЕДОВЫЕ ФАКТОРЫ В АРХИТЕКТУРЕ**

## ELEMENTS OF ARTIFICIAL ENVIRONMENT

*Работа исходит из концепции, основанной на понимании, что среда обитания человека – это не только проблема архитектуры или градостроительства, это комплексный междисциплинарный массив знаний о множестве факторов, формирующих рукотворную среду, и не меньшем количестве факторов, исходящих от этой среды. Предпринята попытка полной иерархической классификации разнородных процессов и феноменов, связанных с искусственной средой. Сама логика классификации, структура и выделение связей между разнородными явлениями и факторами показывает специфику взаимодействия природы, человека и техники как особый трехсторонний симбиоз взаимовлияния, взаимопротивостояния и взаимной обусловленности этих глобальных феноменов. Сделан вывод, что данная трихотомия искусственной среды является новым подходом к пониманию проблемы и формированию методик стратегического планирования и проектирования.*

**Ключевые слова:** среда обитания, средовые, антропогенные, техногенные факторы, искусственное пространство, архитектурное пространство

В наше время понимание того, что целью архитектурной деятельности является не здание, не совокупность зданий и сооружений, а целостная среда обитания человека, давно уже стало очевидно для всех. Городская среда не только стала самостоятельным объектом проектирования, но и объектом формирования государственных программ и стратегий [1]. Комфортность среды обитания воспринимается сейчас с той же серьезностью, как и капиталовложения в основные фонды производств. Значения качественной среды человеческой жизни – это такой же источник процветания государства, как обеспеченность природными ресурсами и удачное географическое положение [2]. Это новое понимание связано с возрастающей ролью экономики знаний и инноваций, с формированием постиндустриального урбанизированного общества, зависящего больше от инновационной творческой деятельности, чем от экстенсивной эксплуатации природных ресурсов.

Важно понимать, что «среда человеческого обитания» – это комплексный многофакторный феномен, ни в коем случае не сводящийся к проблеме благоустройства или объемно-пространственной композиции [3, 4]. Рассмотрим – какие факторы

*The work is based on the concept based on the understanding that the human environment is not only a problem of architecture or urban planning, it is a comprehensive interdisciplinary array of knowledge about the set of factors that form the man-made environment and no fewer factors emanating from this environment. In this article, an attempt, is made to complete the hierarchical classification of heterogeneous processes and phenomena associated with the artificial environment. The kind of logic of classification, structure and allocation of links between heterogeneous phenomena and factors shows the specifics of the interaction of nature, human and technology as a special three-way symbiosis of mutual influence, consistency and mutual conditionality of these global phenomena. This tri-chotomy of the artificial environment in our opinion is a new approach to understanding the problem and the formation of methods of strategic planning and design.*

**Keywords:** Habitat, environmental factors, anthropogenic, technogenic, artificial in habitat, architectural space

оказывают влияние на формирование среды человеческого обитания. Попытаемся сформировать многоуровневую классификацию средовых факторов начиная с самых онтологически общих.

В первую очередь средовые факторы можно разделить на факторы природные и антропогенные [5], так же как и саму среду обитания можно разделить на искусственную и природную (рис. 1). Природная среда – это естественное состояние участка, не затронутого воздействием человека. Количество таких участков на земле стремится к нулю, в связи с тем что человеческая деятельность принимает все более глобальный масштаб [6, 7]. Природные факторы среды – это воздействия положительные или отрицательные, не связанные с какой-либо из форм деятельности человека. Степень искусственности среды показывает меру воздействия человеческой деятельности на природную среду, которая привела к существенным изменениям качеств этой среды. Таким образом, если природность мы представляем константой или точкой отсчета, то искусственность среды – это отношение, степень воздействия. Глубокое воздействие человека на среду, высокая его степень в пределе выводит нас к феномену полностью искусственной среды, которая



Рис. 1. Структура среды обитания человека

формируется двумя основными родами человеческих требований к среде.

Итак, полностью сформированную под потребности человека среду мы будем называть искусственной средой. Среда, находящуюся в переходном состоянии, подвергнувшуюся воздействию человеческого действия, но не полностью потерявшую природные факторы, мы будем называть антропогенной средой.

Два рода потребности человека, которые он не находит в среде природной и которую он транслирует в среду в процессе своей деятельности, – это требования техногенные и гуманитарные.

Техногенные требования связаны с рациональностью эффективного производства, они опираются на закономерности законов физики и мало зависят от специфики региональных или темпоральных культурных срезов.

Второй род антропогенных требований, напротив, связан с постоянно изменяющимся потоком человеческой культуры. Он связан с этническими, региональными, религиозными, идеологическими и маркетинговыми процессами, протекающими во времени как в каждом конкретном социуме, так и глобально. Техногенные требования к среде, таким образом, являются базисными фоновыми общецивилизационными основаниями антропогенной среды. Их можно разделить на требования в активной фазе – фазе протекающего процесса производства и на требования в пассивной фазе, которые возникают в ситуации постпроизводства. Это ситуация, когда человек вынужден нейтрализовать или освоить заново участки, сильно измененные в процессе производства средой.

Гуманитарные требования к среде можно разделить на две основные группы – среда действия, среда отдыха. Тенденция последнего времени ведет к смешению или даже слиянию этих двух сред, но скорее за счет превращения отдыха в деятельность, чем наоборот. Постиндустриальное общество формирует новый для человечества феномен деятельного отдыха, который, тем не менее, продолжает четко отделяться от техногенного пространства производства. Можно скорее говорить об изменении и повышении степени сложности требований к пространству отдыха, чем о смешении техногенного и гуманитарного пространства.

Феномен искусственной среды является результатом комплексного воздействия целого ряда разнородных факторов. Этих факторов действительно достаточно много, и их классификация возможна в разных аспектах. Мы предлагаем древовидную систему классификации с дополнительными фильтрами-аспектами (рис. 2).

Фильтры-аспекты бывают трех родов – количественные, качественные и временные: 1) количественные – слабого воздействия, сильного воздействия, катастрофического воздействия, среднего воздействия; 2) фильтры качества – положительные, отрицательные и нейтральные; 3) временные факторы – постоянное, периодическое, циклическое, нарастающее, случайное воздействие.

Первое разветвление – факторы природные и антропогенные. К природным факторам воздействия на формирование искусственной среды следует отнести такие, как особенности рельефа, климата, обеспеченности территории ресурсами – флорой, фауной, пресной водой, сельхозугодьями, минеральными ископаемыми и т. д. Покажем примеры фильтров аспектов в случае оценки воздействия природных факторов. Количественная оценка каждого из этого факторов не вызывает вопросов. В качественном смысле можно говорить о, например, потенциальной затопляемости территории как о неблагоприятном проявлении количественного фактора обеспеченности водного ресурса. Временной аспект в природных факторах особенно важен для понимания влияния фактора. Понимание периодичности и тенденции нарастания снижения может в значительной степени нейтрализовать отрицательные качества и усилить положительное воздействие фактора.

Вторая группа факторов – антропогенные. К отрицательным количественным антропогенным факторам мы относим факторы истощения и загрязнения, к положительным – освоенность, насыщенность инфраструктурой, изученность и обустроенность. К качественным отрицательным факторам мы относим несовершенства в процессе освоения, стратегические плановые и планировочные ошибки, технологическую архаичность; к положительным качественным факторам – стратегическую рациональность, комплексность подхода, прорывные технологические решения и инновации. «В прошлом города

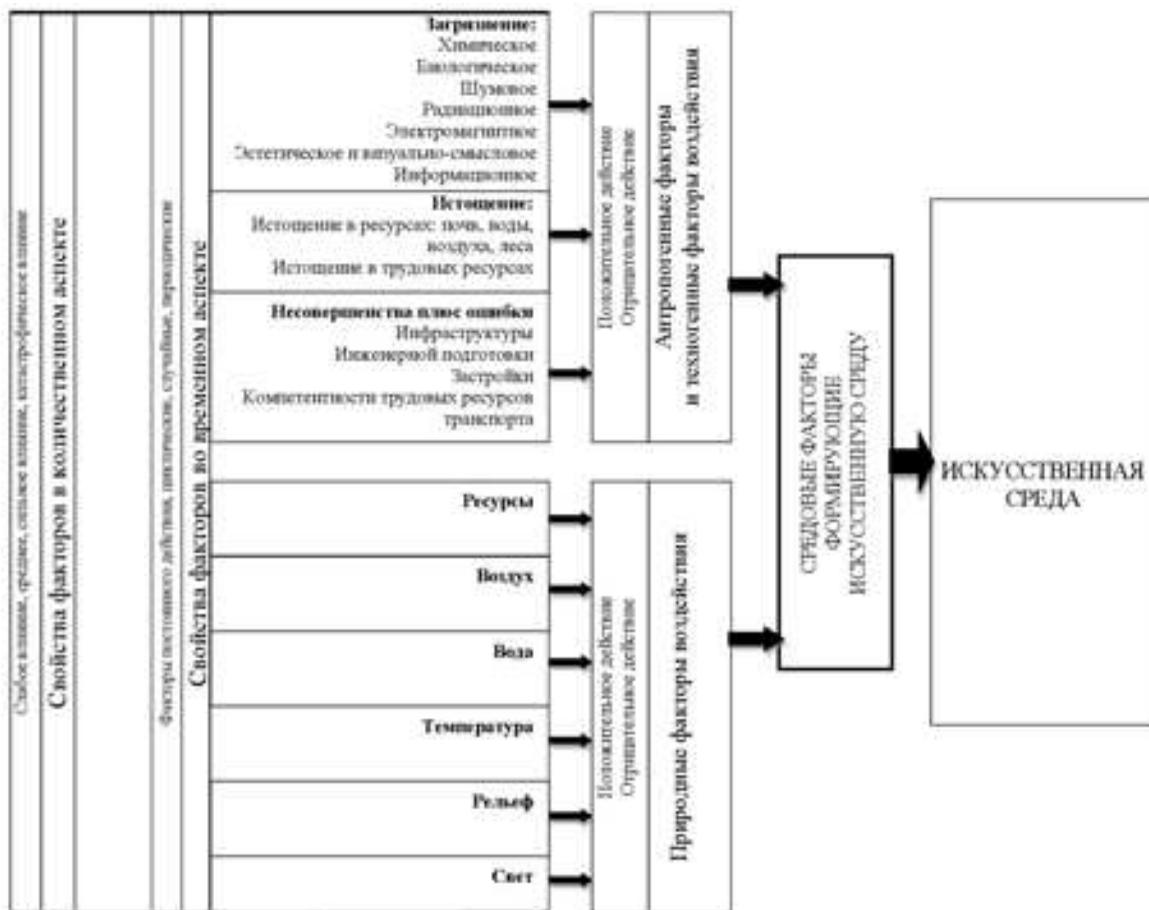


Рис. 2. Структура факторов, формирующих искусственную среду

одной страны или одного региона конкурировали за инвестиции и талантливых людей с другими городами той же страны или того же региона. Теперь соревнуются друг с другом места по всему миру. И самая острая конкуренция – за умных, предприимчивых людей, склонных к инновациям. В ландшафте мира пиков можно выделить четыре типа мест.

– В первую группу входят сравнительно немногочисленные места, где рождаются инновации. Это самые высокие пики. Они притягивают одаренных людей со всего света, генерируют новое знание и производят львиную долю мировых инноваций...

– Вторая группа включает регионы, которые пользуются чужими инновациями и чужой креативностью, часто импортируемой, для производства товаров и услуг...

– Третья группа состоит из мегаполисов развивающегося мира, в которых концентрация населения высока, но экономическая активность недостаточна, чтобы прокормить такое количество людей...

– Наконец, в мире пиков есть большие равнины – сельские территории и обширные пространства, которые почти не связаны с мировой экономи-

кой, где концентрация населения невелика, а экономическая активность выражена слабо...» [8].

К факторам загрязнения можно отнести – загрязнение химическое, шумовое, радиационное, электромагнитное, эстетическое и визуальное, информационное. Легко заметить, что загрязнение можно разделить на две группы (см. рис. 1) – на техногенную и гуманитарную. Часть факторов загрязнения напрямую относится к производственной деятельности человека, вторая часть – к культурной. Эстетическое загрязнение приводит к снижению качества искусственной среды в не меньшей степени, чем химическое или радиационное. А информационное – как информационная избыточность, так и недостоверность информационного поля, фейковость, может поставить под угрозу само существование человечества [9]. Значение гуманитарных факторов загрязнения будет только нарастать.

Следующая группа факторов – истощение. Количественно – это процесс, обратный загрязнению, и тоже делится на техногенную и гуманитарную группы воздействия. К техногенным мы относим истощение природных ресурсов: полезных ископаемых, воздушных, водных и территориальных. Обитаемое

пространство – измеряемый конечный ресурс. Истощение ресурса пространства – это перенаселение, переуплотнение территорий, недостаток обработанных земель сельхозназначения. Истощение гуманитарных ресурсов связано с неоднородной миграцией, когда столичные города и крупные агломерации оттягивают наиболее качественные трудовые резервы, или с деградацией социальной структуры общества на конкретной территории, связанной с нерациональной формой правления или последствиями каких-либо катастроф.

Обратной стороной комплексного воздействия группы факторов природного и антропогенного характера на искусственную среду являются, в свою очередь, порождаемые уже самой искусственной средой феномены (рис. 3). Созданная, сформированная деятельностью человека и воздействием природных факторов искусственная среда сама становится фактором воздействия как на человека и на его деятельность, так и на природу. Это воздействие также бывает отрицательным, положительным или нейтральным, слабым или сильным, временным, периодическим, нарастающим/затухающим или случайным.



Рис. 3. Структура факторов среды

Основным способом воздействия искусственной среды на природную, конечно, становится вытеснение природной среды, замена ее на искусственную, иногда квазиприродную. Превращение природной среды в искусственную происходит двумя путями – или как гуманизация, или как деградация среды. Деградация среды характерна в основном для техногенной части человеческой деятельности. Поскольку такая деятельность не предусматривает аксиологической обусловленности, эту деятельность детерминируют только понятия эффективности, экономической целесообразности и технической рациональ-

ности. Оценка степени деградации возможна только при условии существования ценностной шкалы. Для сравнения состояния нужна качественная оценка до и после. Нужна мера для оценки. Возможна оценка по шкале обеспеченности ресурсами, но для такой системы мер и оценок степень природности или искусственности среды не существенна. Деградация среды от природной к техногенной искусственной – это оценка с точки зрения гуманитарной системы ценности. Поэтому техногенизация среды всегда будет восприниматься как процесс деградации, т. е. с отрицательной коннотацией (рис. 4).

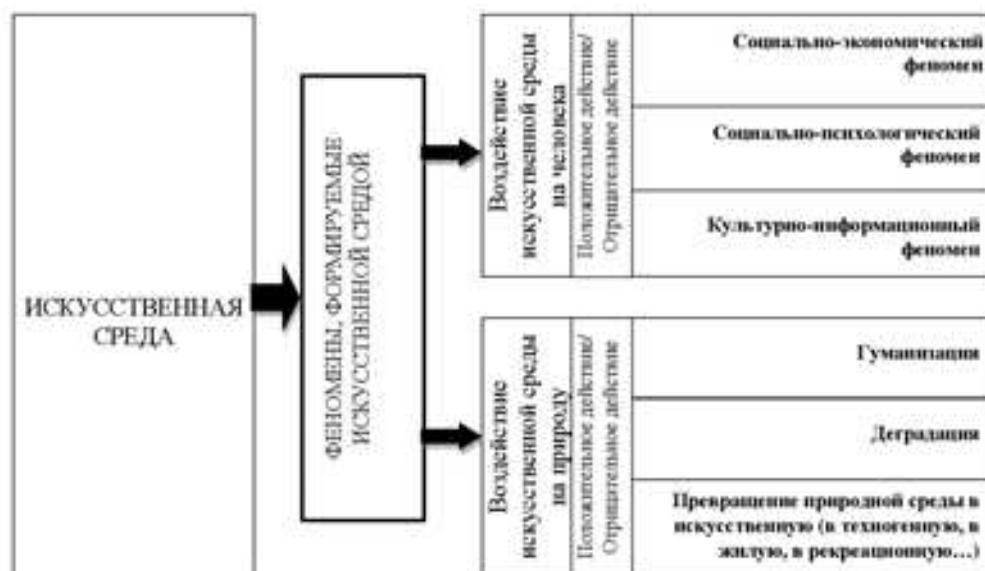


Рис. 4. Структура факторов, формируемых средой

Превращение природной среды в гуманитарную, напротив, не воспринимается как деградация, а скорее как повышение качества среды. Особенно в современной культуре, когда сохранение «природности» входит в систему непререкаемых ценностей культуры. Возможен вариант гуманизации и изменения техногенной среды путем превращения ее в природную. Например, ландшафтные проекты на месте нью-йоркских свалок [10].

Гуманитарное преобразование природной среды в искусственную можно представить в виде градиента степени воздействия от минимального в среде рекреационной до максимального в плотно застроенной урбанистической среде с микроклиматом. В случае формирования техногенной искусственной среды такой градиент выглядел бы как от первого применения камня или палки как орудия труда до создания пространств в целях производства, исключающих возможность такой бы то ни было биологической жизни, как в реакторах атомной станции.

Квазиприродная среда – это способ гуманизации или симуляции природной среды, при котором

ее характеристики подгоняются под господствующее в каждый исторический период содержание категории «природный». В каждый исторический период есть свой образ природы, причем, как правило, разделяющийся на образ природы как угрозы и природы как рая. Воспроизводя участки природы гуманизированной, т.е. очеловеченной, авторы этих проектов исходили из господствующей картины мира, убирая проявления угрожающей природы и подчеркивая черты небесного сада. Очеловеченная природа – это природа управляемая, контролируемая, селективная. Примеры – сады, парки, заповедники. Это – территории управляемые, создаваемые человеком, призванные показать природность так, как ее принято понимать в данное время.

Искусственная среда, будучи сформированной в той или иной степени, начинает оказывать глубокое воздействие на самого человека. В нашем представлении это воздействие можно разделить на три основных феномена – социально-экономический, социально-психологический и культурно-информационный (рис. 5).



Рис. 5. Структура факторов искусственной среды, воздействующих на человека

Каждый из таких феноменов представляет собой большую группу явлений, объединяемых аспектом или направленностью воздействия искусственной среды. Это воздействие может быть прямым, косвенным или опосредованным. Качественные характеристики такого воздействия трудно поддаются оценке. Временные трудно прогнозируемы. Количественные тоже трудно оценимы в связи с отсутствием общепринятой меры и полноты понимания сущности явления. Примерами социально-экономических феноменов воздействия искусственной среды на человека можно назвать, например, процесс глобализации. Глобализация – как процесс трансляции общих характеристик культурного кода

и признаков искусственного пространства по всей обжитой человеком территории. Другие примеры социально-экономических феноменов – рост агломерации с концентрацией в них наиболее квалифицированного рынка труда, обратная сторона этого процесса – деградация рынка труда на территориях вне агломерации, рыночная специализация регионов и одновременно диверсификация производств в крупных городах, процессы в изменении структуры расселения, сегрегация, джентрификация населения как по территории всего земного шара, так и внутри поселения.

Социально-психологический феномен – это группа воздействий, связанная с непосредственным

качеством проживания или переживания среды. Речь идет о качестве визуальном и знаково-семантическом. А также об эргономике и комфортабельности, безопасности и уровне социального доверия, степени обустроенности или заброшенности среды [11–13]. Это специфические качества, которые невозможно отнести к природной среде и которые неотъемлемы от образа жизни человека. Когда человек попадает в дикую природу, необходимым средством его выживания становится создание основных элементов этих феноменов. Чтобы выжить, человек должен создать вокруг себя минимальную искусственную среду. Обжить среду природную. Присутствие и степень проявленности этих феноменов говорит нам о степени качества среды обитания человека с психологической точки зрения. Достаточная проявленность этих факторов необходима для сохранения психологического здоровья. Любопытно, что одним из таких признаков является соседство пространства обитания человека с природными территориями. Человек должен жить в искусственной преобразованной среде, но нетронутая природная среда должна быть рядом.

Третьим феноменом воздействия искусственной среды на человека мы считаем культурно-информационный комплекс феноменов. Можно считать его предельной, кульминационной степенью развития социально-экономического и социально-психологического феноменов. Но ни для экономической целесообразности, ни для технической рациональности, ни для биологической выживаемости человека, ни для его психологического здоровья этот комплекс феноменов не является необходимым. Он накапливается во времени и, являясь избыточным с точки зрения экономии усилия ресурсов, парадоксально представляет собой наиболее ценный для человечества фактор искусственной среды. Речь идет об архитектурной среде исторических городов, памятниках истории и культуры, накопленных в музеях и на улицах городов. Этот феномен описывается такими характеристиками, как историческая культурная ценность, подтвержденная институциональными спецификациями и реестрами, не связанная с этими реестрами сущность образа или информативность, детализация, соразмерность, масштабность, пластическая выразительность, пространственная связность, статика и динамика, историческая смена стилей – всем комплексом семантических и композиционных характеристик рукотворной формы. Этот комплекс признаков подвержен воздействию сменяющихся идеологических или эстетических дискурсов. Сменяющиеся предпочтения системы ценностей и мода выносят на первый план те или иные характеристики и признаки, задвигая и утрачивая другие, ценные ранее. Но в целом продолжается общая тенденция к развитию накопления артефактов объектов и смысловых конструкций искусственного пространства человека.

**Выводы.** Подобная классификация могла бы стать хорошим основанием для более глубокого и систематизированного изучения феномена искусственной среды обитания человека. Это могло бы стать составной частью, предложенной Анри Лефевром, науки об обжитом пространстве – спациологии [14]. Данная наука изучает явления на стыке между экономикой, географией, социологией и культурологией. И совершенно необходима для понимания сложных комплексных процессов, происходящих в современном урбанизированном мире.

Для стратегического предвидения, оценки эффективности предпринятых шагов и программ, для понимания причин неудач или успехов нужен как подробный многофакторный анализ, так и обобщающая синтетическая теория, которая могла бы стать одной из основ глобального подхода устойчивого развития. «Но человечеству пока еще очень далеко до устойчивого развития: постоянное истощение природного капитала и пренебрежение социальными проблемами – вот на чем стоит современная гипертрофированная экономика... и что движет нынешним «антиустойчивым» развитием мира. Последние исследования показывают, что человечество потребляет за год почти в полтора раза больше ресурсов, чем успевает воспроизводить природа» [15].

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вавилонская Т.В. Определяющая роль деятельностных субъектов в развитии архитектурно-исторической среды Самарского Поволжья // Градостроительство и архитектура. 2017. №1(26). С.82–86. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.01.14.
2. Глазычев В.Л. Архитектура. Энциклопедия. М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография»: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2002. 672 с.: ил.
3. Орлова Н.А., Орлов Д.Н. Опыт практических занятий по дисциплине «Средовые факторы в архитектуре». Материальные и культурные предпосылки градостроительных решений // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре [Электронный ресурс]: материалы 74-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2016. С. 246 – 252.
4. Орлова Н.А., Орлов Д.Н. Анализ факторов воздействия исторически сложившейся застройки в рамках учебного процесса // Устойчивое развитие городской среды. Самара: АСИ СамГТУ, 2016. С. 68–70.
5. Митчем К. Что такое философия техники? / пер. с англ.; под ред. В.Г. Горохова. М.: Аспект Пресс, 1995. 149 с.
6. Ахмедова Е. А. Проблемы сохранения и рационального использования национального природного ландшафта в Среднем Поволжье // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре [Электронный ресурс]: материалы 71-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СГАСУ. Самара, 2014. С. 325 – 328.

7. Литвинов Д.В. Влияние волжского торгового пути на градостроительное развитие прибрежных территорий Среднего Поволжья // Исторические, философские, политические и юридические науки, культурология и искусствоведение. Вопросы теории и практики. Тамбов, 2014. № 5–2(43). С. 126–128.

8. Флорида Р. Кто твой город? Креативная экономика и выбор места жительства / пер. с англ. Е. Лобкова. М.: Stelka Press, 2014. 368 с.

9. Маккуайр С. Медийный город. Медиа, архитектура и городское пространство / пер. с англ. М. Коробочкин. М.: Stelka Press, 2014. 392 с.

10. Field Operations: [сайт] URL: <http://www.fieldoperations.net/> (дата обращения: 01.03.2018).

11. Рыбчинский В. Городской конструктор. Идеи и города / пер. с англ. М. Коробочкин. М.: Stelka Press, 2015. 232 с. 2-е изд.

12. Джекобс Дж. Смерть и жизнь больших американских городов / пер. с англ. М.: Новое издательство, 2015. 512 с. (Библиотека свободы). 2-е изд., испр.

13. Холлинс Л. Города вам на пользу. Гений мегаполиса / пер. с англ. М. Коробочкин. М.: Stelka Press, 2015. 432 с.

14. Лефевр А. Производство пространства / пер. с фр. И. Стаф. М.: Stelka Press, 2015. 432 с.

15. Бобылев С. Стимулы, парадоксы, провалы: Город глазами экономистов // О цене воздуха: почему нам надо платить за болота? М.: Stelka Press, 2015. 224 с.

Об авторах:

**ОРЛОВА Наталья Александровна**

старший преподаватель кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. +7 927-261-39-15  
E-mail: pochto@yandex.ru

**ORLOVA Natalia A.**

Senior lecturer of the chair of Reconstruction and restoration of architectural heritage Samara State Technical University, Institute of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: pochto@yandex.ru

**ОРЛОВ Дмитрий Николаевич**

старший преподаватель кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. +7 927-261-39-15  
E-mail: pochto@yandex.ru

**ORLOV Dmitry N.**

Senior lecturer of the chair of Reconstruction and restoration of architectural heritage Samara State Technical University, Institute of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: pochto@yandex.ru

Для цитирования: Орлова Н.А., Орлов Д.Н. Средовые факторы в архитектуре // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.78-84. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.14.

For citation: Orlova N.A., Orlov D.N. Elements of artificial environment // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 78-84. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.14.

**М.Ф. ЧЕНПАЛОВ**  
**М.Ю. ЖУРАВЛЁВ**

## **АУТЕНТИФИКАЦИЯ НОВГОРОДСКОЙ ШКОЛЫ ДРЕВНЕРУССКОГО ХРАМОВОГО ЗОДЧЕСТВА**

AUTHENTICATION OF NOVGOROD SCHOOL OF ANCIENT RUSSIAN TEMPLE ARCHITECTURE

*С учетом исторического контекста исследуются характерные черты новгородской архитектурной школы православного храмового зодчества XII–XV вв. Проведен сравнительный анализ наиболее значимых объектов этого периода. Прослеживается процесс формирования новгородского стиля. Перечисляются и описываются объемно-пространственные и архитектурно-художественные особенности ряда построек. Делается вывод об аутентичных элементах и выразительных приемах, характерных для данного направления, что позволяет рассматривать данный стиль как обладающий достаточной самостоятельностью в контексте псковско-новгородского направления древнерусской храмовой архитектуры.*

**Ключевые слова:** новгородская архитектура, православный храм, древнерусская церковь, традиционное зодчество, посадский храм

Основным фактором, формирующим исторический контекст древнерусского зодчества в XIII–XV вв., стало ордынское нашествие. Единственными уцелевшими островками оказались Новгородская и Псковская земли. В них, после некоторого перерыва, продолжились развиваться традиции древнерусской архитектуры, но с присущими этим землям специфическими особенностями.

К XIII в. главные городские и монастырские соборы и в Новгороде, и в Пскове были уже построены, а в силу оригинального устройства этих земель в форме вечевого республиканского типа в них не получили развития дворцовые княжеские храмы. Главным типом новгородско-псковского зодчества стали небольшие посадские церкви. На их архитектуру оказало большое влияние смоленское зодчество, но торжественный стиль княжеских построек мало подходил для приходских храмов. Поэтому в Новгороде и Пскове отказались от мощных пучковых тяг на углах, ступенчатого повышения объема за счет высоких симметричных притворов и дополнительных ярусов закомар. Однако общая для древнерусского стиля вертикальная устремленность общей композиции была сохранена [1–3].

Традиционно зодчество Новгорода и Пскова объединяют в одну архитектурную школу. Однако авторы настоящей статьи придерживаются точки зрения, что данные локальные стили сближает только общий тип посадского храма и одновременность существова-

*Taking into account the historical context the characteristic features of the Novgorod architectural school of Orthodox temple architecture of the 12th–15th centuries are explored. A comparative analysis of the most significant objects of this period is carried out. The process of formation of the Novgorod style is traced. The volume-spatial and architectural-artistic features of a number of buildings are listed and described. A conclusion is drawn about authentic elements and expressive methods characteristic of this direction.*

**Keywords:** Novgorod architecture, Orthodox church, Old Russian church, traditional architecture, a Posad church

ния на соседних территориях. Различий в архитектуре Новгорода и Пскова значительно больше. Они отличаются объемно-пространственной композицией, фасадным декором, имеют разные типы завершений и покрытий, применяют разные материалы для строительства. Не надо забывать и о традиционном соперничестве двух городов, которое заставляло искать свои оригинальные художественные решения в архитектуре. Поэтому новгородскую школу следует рассматривать как самостоятельное стилевое направление [4].

До формирования новгородской школы начали появляться постройки, в которых прослеживались отдельные черты будущего стиля. Строительство церкви Параскевы Пятницы на Торгу (1207 г.) в корне изменило новгородское зодчество. До этого храмы в Новгороде строили в византийско-киевской традиции, хотя и создавали в ней такие абсолютно оригинальные образцы, как Георгиевский собор Юрьева монастыря (1119 г.), собор Рождества Богородицы Антониева монастыря (1117 г.). Даже один из первых на Руси каменный Софийский собор (1045 г.) имел элементы, не характерные для византийского зодчества. Эти величественные и торжественные соборы были построены по княжеским заказам. В 1113 г. князь Мстислав напротив новгородского Детинца, на Ярославовом дворище, строит огромный пятиглавый Николо-Дворищенский собор. Он стал первым каменным храмом на Торговой

стороне Новгорода и последним большим княжеским собором.

В 1136 г. новгородцы изгоняют князя Всеволода, заказчиками храмов начинают выступать купцы и бояре, церковные владыки и новгородские посадники, а иногда и жители окрестных улиц. Они не строят огромные соборы, их храмы – это небольшие одноглавые четырехстолпные церкви. В Новгороде начинается активное строительство посадских и монастырских храмов [5,6].

Все новгородские каменные храмы XII в. строились в традиционном византийско-киевском стиле с позакомарным покрытием и очень скромным фасадным декором. Так первоначально выглядели церковь Благовещения на Мячино (1179 г.) и церковь Петра и Павла на Сильнице (1192 г.). Это были одноглавые трёхапсидные четырехстолпные храмы со стенами, разделенными лопатками на три прясла, которые завершались полукруглыми закомарами [7,8].

Возникшее в конце XII в. новое общерусское художественное направление, нашедшее выражение в древнерусском стиле, только начинало появляться в новгородской архитектуре. Построенная в 1197 г. в традициях киевской школы церковь Спаса на Нередице по своим пропорциям уже является переходной от византийского к древнерусскому стилю, пусть это ещё и слабо выражено в ее формах. Это последняя церковь, построенная по княжескому заказу [9].

Через десять лет в 1207 г., по заказу купцов, торговавших с заморьем, приглашенные смоленские зодчие строят церковь Параскевы Пятницы на Торгу, и после ее постройки новгородское зодчество, за редким исключением, уже не возвращалось к византийско-киевской традиции. Но и приёмы смоленской архитектуры, поразившей новгородцев, были сразу переработаны в соответствии с местными вкусами и традициями.

Первым храмом, построенным в новом стиле, стала маленькая церковь Рождества Богородицы в Перыньском скиту (1226 г.) (рис. 1). В ней хорошо видно, по какому пути пошли новгородские зодчие, переосмысливая образ Пятницкой церкви. Храм в Перыне завершается динамичной трехлопастной кривой, но ее фасады практически не имеют декора, только плоские лопатки обрамляют углы храма. Конечно, разница в размерах оказала влияние на внешний вид церкви в Перыньском скиту, но стремление к лаконичности фасадного декора всегда было характерно для новгородской школы.

Первым каменным храмом, построенным в Новгороде после ордынского нашествия на Русь, считается церковь Николы на Липне (рис. 2). В 1292 г. новгородский архиепископ Климент заложил монастырскую церковь Николы на острове Липно в устье Мсты. Это квадратный в плане четырехстолпный одноапсидный одноглавый храм. Стены четверика не разделены лопатками на прясла, они есть только на углах здания. Фасады имеют трехлопастное завершение, на стенах нет никаких украшений, кроме простой аркатуры, повторяющей форму трехлопастной арки, и такого же аркатурного пояса в верхней части светового барабана. Трехлопастная кривая акцентирует центральную ось,



Рис. 1. Церковь Рождества Богородицы в Перыньском скиту (1226 г.)



Рис. 2. Церковь Николы на Липне (1292 г.)

которая на фасадах церкви подчеркивается узкими окнами в закомарах и парными окнами на уровне хоров. По бокам от парных окон сделаны ниши таких же размеров. Центральную ось на восточном фасаде поддер-

живает одна небольшая полукруглая апсида в половине высоты четверика. Световой барабан декорирован «бровками» над окнами и круглыми нишами между ними. В результате получился уравновешенный центральный храм с ясной композицией и скромным декором [10].

Церкви Николая на Липне и Рождества Богородицы в Перыньском скиту сформировали новый тип четырехстолпного новгородского храма с одной апсидой, пониженными углами четверика и трехлопастным завершением фасадов. Этот тип храма получил дальнейшее развитие в новгородском зодчестве XIV в.

В начале XIV в. новгородский стиль еще не сформировался окончательно, зодчие продолжали поиск новых форм художественной выразительности. В церкви Николая Белого (1313 г.) есть не только угловые лопатки, но и центральные, которые делят фасады на три части. Храм завершается не трехлопастной кривой, как церкви в Перыне и на Липне, а треугольным (щипцовым) фронтоном и соответственно имеет восьмискатную кровлю. В церкви впервые применен способ декорирования стен многолопастными ползучими арками, впоследствии получивший широкое распространение.

Дальнейшее развитие новгородского стиля, причем в его самом аскетичном варианте, было сделано в церкви Успения на Волотовом поле (1352 г.) (рис. 3). Это постройка новгородского владыки Моисея. Церковь Успения на Волотовом поле композиционно продолжала основное направление новгородского зодчества. Она представляет собой одноглавый четырехстолпный храм с одной апсидой и трехлопастным завершением фасадов, не расчлененных лопатками. С западной стороны храма к четверику примыкает большой притвор, перекрытый коробовым сводом. Подкупольные столпы сильно придвинуты к стенам, что позволило увеличить внутреннее пространство, при этом западные столпы сделаны скругленными в нижней части. Такие столпы были в церкви Параскевы Пятницы на Торгу, но развития в новгородском зодчестве этот прием первоначально не получил. Строители Волотовской церкви вернулись к круглой форме западных столпов, и это впоследствии стало характерной чертой новгородского зодчества XIV и XV вв.

Церкви Успения на Волотовом поле и Михаила Архангела на Сковоротке, так же как церковь Николая на Липне и церковь Спаса на Ковалёве, были главными храмами пригородных новгородских монастырей. Их аскетизм соответствовал образу монашеского служения, но не мог получить распространения в городских посадских храмах. Поэтому при сохранении объемно-пространственной композиции, найденной в монастырских храмах, городские посадские церкви имели гораздо более развитый наружный декор. Их фасады разделялись лопатками, в верхней части они украшались многолопастной ползучей аркой, бровки над окнами приобретали трех- и пятилопастную форму, полуциркульные аркатуры и зубчатые пояски получили не только световые барабаны, но и апсиды. Кроме того, апсиды украшались вертикальными тягами-валиками. Окна приобретают полуциркульные и стрельчатые

завершения. Большую роль в декоре играли ниши разнообразной формы и выложенные на фасадах кресты с гологофами. Эту же роль выполняли вставленные в кладку каменные обетные и поминальные кресты. Если в церкви Николая на Липне круглые ниши на барабане – это следы крепления строительных лесов, то в более поздних посадских храмах пояски из полукруглых и треугольных нишек являются уже только декоративным убранством [11].

Ярким примером нового городского посадского храма является церковь Федора Стратилата на Ручью (1361 г.) (рис. 4). Храм имеет традиционную для новгородского зодчества композицию, он одноглавый, четырехстолпный, с одной апсидой. Внутренние подкупольные столпы сдвинуты к стенам, делая просторным



Рис. 3. Церковь Успения на Волотовом поле (1352 г.)



Рис. 4. Церковь Федора Стратилата на Ручью (1361 г.)

центральное пространство. В западной части устроены большие хоры (полаты). На них располагались приделы и помещения хранилищ. Церковь Федора Стратилата имеет классическое трехлопастное завершение. Фасады разделяются плоскими лопатками на три части. Высокий барабан с восемью чередующимися окнами и нишами по верху оформлен аркатурой с полукруглыми уступчатыми нишками. Под ней идет пояс из треугольных ниш (бегунец), окна украшают валики-бровки с зубчиками и круглые ниши между ними. Декор апсиды состоит из вертикальных тяг в виде валиков, которые связаны между собой полуциркульными арками. В верхней части апсиды, между сдвоенными арками, расположен сплошной пояс уступчатых ниш с полукруглым завершением, в некоторых из них имеются окна. Ещё один ряд окон и ниш проходит по центру апсиды. Окна на фасадах расположены в два яруса, их проемы имеют стрельчатые и полукруглые завершения. Также стрельчатые завершения имеют уступчатые входные порталы. Верх четверика украшают многолопастные ползучие арки, которые связывают лопатки между собой. На западном, южном и северном фасадах под центральным окном выложены голгофские кресты. Некоторые ниши на фасадах имели фресковые изображения. Храм получил богатый декоративный убор, несвойственный предшествующей новгородской архитектуре. Используя ставшие классическими для новгородского зодчества пространственные решения, строители церкви Федора Стратилата на Ручью дополнили их богатым декоративным оформлением, при этом сохранив ощущение единого монументального объема. Это образец парадного храма, который относится к новому направлению, возникшему в новгородском архитектурном стиле [12].

Дальнейшее развитие этого направления новгородской архитектуры получило в церкви Спаса Преображения на Ильине улице (1374 г.) (рис. 5). По плану и общей композиции церковь Спаса на Ильине близка к храму Федора Стратилата. Первоначально храм завершался трехлопастной кривой, которую при позднейших переделках заменили фронтоном шпильной (треугольной) формы, в результате посводное покрытие изменилось на восьмискатное. Фасады разделены лопатками на три части. Лопастные ползучие арки завершают каждое прясло и объединяют лопатки в единую композицию. На западном фасаде сохранился след от цилиндрического свода притвора, который первоначально примыкал к храму, там же была небольшая звонница. Фасады церкви имеют сложное декоративное убранство. Наряду с разнообразными нишками и поясками на фасадах размещено большое количество крестов разных форм и размеров. На южном фасаде в центральном прясле, над входным арочным порталом, появляется композиция из трех окон и двух ниш, объединенных пятилопастной бровкой с зубчиками. В верхнем ярусе на всех фасадах расположена композиция из трех ниш, объединяемых трехлопастной бровкой, рисунок которой повторяет завершение фасадов. Оконные проемы и ниши имеют полукруглое и стрельчатое завершение. Апсида, так же как в церкви Федора Стратилата, украшена тягами-валиками, сое-



Рис. 5. Церковь Спаса Преображения на Ильине улице (1374 г.)

диненными в центре простыми, а в верхней части сдвоенными арками. Между арками расположены уступчатые ниши и окна. Нижняя часть стен церкви имеет множество вставленных в кладку каменных скульптурных крестов различной формы. Декоративное оформление средних прясел имеет осевую симметричную композицию, которая подчеркивает центричность церкви. Разновеликие кресты, асимметрично расположенные на фасадах храма, придают всей композиции динамизм и лишают ее статичности. В некотором роде оформление фасадов церкви Спаса на Ильине созвучно резным фасадам владими́ро-суздальских храмов. Игра светотени, создаваемая на поверхности стен разнообразными декоративными элементами, вызывает ощущение легкости и нематериальности здания церкви. Возможно, такой эффект оказался противоречащим стремлению новгородцев к монументальности и зримой материальности их храмов. Поэтому широко распространения это направление в новгородской архитектуре не получило, несмотря на всю свою декоративность [13].

Все названные храмы имеют ясную и лаконичную композицию без лишних деталей. Небольшие украшения имеют только главные фасады. В этом случае декоративные элементы сосредоточены лишь в центральном прясле, что подчеркивает вертикальность и центричность церкви. Зодчие сознательно отказываются от применения сложного фасадного декора для сохранения целостности основного объема храма.

Не последним основанием для отказа от декоративной обработки фасадов были экономические соображения. Новгородские храмы строились в технике смешанной кладки из местного известняка и кирпича.

Сделать тонкие декоративные детали из грубого и плохо поддающегося обработке камня невозможно, для этих целей приходилось дополнительно применять кирпич, что сильно увеличивало затраты на строительство. Для новгородцев это был весомый аргумент [14].

Последним храмом с развитым фасадным декором стала церковь Петра и Павла в Кожевниках (1406 г.) (рис. 6), которая имеет традиционную композицию с трехлопастным завершением. Входы оформлены порталами: стрельчатым на западном фасаде и полуциркульным на южном. Фасады разделяются лопатками на три прясла, в верхней части стены лопатки связаны многолопастной ползучей аркой. В отличие от оформления церкви Федора Стратилата на Ручью и Спаса Преображения на Ильине улице в церкви Петра и Павла в Кожевниках декоративные элементы сосредоточены только в центральных пряслах южного и западного фасадов, на световом барабане и апсиде. С севера храм не имеет никаких декоративных элементов. Фасадный декор состоит из розеток, пятиугольных и круглых нишек, поясков поребрика и бегунца, аркатуры и пояса из полукруглых ниш на барабане, тяг и арок из валиков на апсиде. Разнообразные комбинации окон и ниш оформляются пятилопастными и треугольными бровками. Несколько рельефных голгофских крестов украшают южный и западный фасады. В кладку вставлены обетные и поминальные каменные кресты. Церковь Петра и Павла в Кожевниках завершила развитие парадного типа новгородских посадских храмов, сформированного в церквях Федора Стратилата на Ручью и Спаса Преображения на Ильине [15].

К сожалению, в динамичное развитие новгородского зодчества вмешалась политика. В первой половине XV в. Новгород становится одним из главных препятствий на пути объединения русских земель вокруг Москвы и создания единого национального государства. В этот период Новгородская республика все силы направляет на защиту своей независимости от Велико-го княжества Московского.

Стремление сохранить свою самостоятельность и самобытность проявилось и в архитектуре. Именно оно определило консервативный характер новгородского зодчества, связанный с возвращением к формам XII–XIV в. В XV в. прекращается поиск новых пластических решений, новгородская архитектура обращается к найденным ранее композиционным приемам и художественным образам прошлого. Новгородский владыка Евфимий вводит практику разборки обветшалых церквей и возведения на их фундаментах новых храмов, копирующих старые формы, часто в упрощенном виде.

В конце XV в. единственным новым решением в архитектуре становится появление в храмах подклета, нижнего этажа, предназначенного для хозяйственных целей. Причем подклеты устраиваются не только в новых храмах, но и в уже построенных. Такой перестройке подверглась, в том числе, и церковь Петра и Павла в Кожевниках. Новгородские храмы фактически становятся двухэтажными, но появление уровней не



Рис. 6. Церковь Петра и Павла в Кожевниках (1406 г.)

находит отображения на фасадах. Они сохраняют сложившуюся ещё в XIV в. вертикальную композицию.

Новгородский архитектурный стиль складывается в период существования Новгородской республики в 1136–1477 гг. На его становление большое влияние оказал древнерусский стиль Смоленской школы зодчества. Расцвет стиля приходится на вторую половину XIV в. В это время строятся наиболее значительные памятники. В Новгородской архитектурной школе в период с XII по XV в. сложился оригинальный тип посадского крестовокупольного храма, который по своим формам, строительным материалам, объемно-планировочным решениям и художественному оформлению отвечал вкусам и традициям новгородцев [16].

Представляется возможным сделать **выводы** о характерных чертах новгородской архитектурной школы XII–XV вв. Храмам того времени присуща монументальность и нерасчленённость основного объема. Это центричный, одноглавый, четырёхстолпный храм с одной апсидой и притвором с западной стороны; имеет трёхлопастное завершение и скромный плоскостной декор; строился в технике смешанной кладки из известняка и кирпича, без последующей штукатурки. Приделы не пристраиваются к храму, а располагаются внутри в угловых ячейках на полотах (хорах), иногда устраиваются над дяконником. Декоративное убранство скромное и лаконичное, в основном размещается в центральном прясле. Состоит из разнообразных плоских ниш, валиков и зубчатых бровок разной формы. Порталы уступчатые, иногда имеют стрельчатую форму. Используется комбинация из трёх окон и двух ниш с пятилопастной бровкой. На фасадах асимметрично расположены рельефные голгофские кресты. Вклад-

ные каменные кресты устанавливаются на стенах храма, чаще всего у входов. Барабан украшен аркатурным поясом, в поздних храмах дополнительно имеет пояски из поребрика и бегунца. Таким образом, новгородская архитектурная школа имеет ряд особенностей, позволяющих рассматривать данный стиль как обладающий достаточной самостоятельностью в контексте псково-новгородского направления древнерусской храмовой архитектуры.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гордиенко Э.А. Новгородское храмовое зодчество конца XI – начала XII в. в контексте социальных отношений // Петербургский исторический журнал: исследования по российской и всеобщей истории. 2017. №2. С. 7–29.
2. Бодэ А.Д. Древние Новгородские влияния в деревянном зодчестве северо-западных областей XVI-XVIII веков // Academia. Архитектура и строительство. 2014. №1. С. 50–54.
3. Бычков В.В. Русская средневековая эстетика XI – XVII вв. М.: Мысль, 1995. 189 с.
4. Беркалова Е.И., Северилова П.В. Архитектура как воплощение мировоззрения древнерусского человека // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2016. №4. С. 66–68.
5. Ивлева О.А., Самогоров В.А., Пастушенко В.Л. Белый цвет в архитектуре // Innovative project. 2016. №3. С. 69–73.
6. Бондаренко И.А. Творческий подъем древнерусской архитектуры на исходе средневековья // Архитектурное наследие. 2016. №4. С. 5–15.
7. Борисов С.В. Современность и традиция в архитектуре православных храмов // Архитектон: известия вузов. 2017. №1. С. 2.
8. Бородин А.В. Великий Новгород особенности храмового зодчества: монография // Основы православной культуры. М., 2007. С. 23.

Об авторах:

#### ЧЕНПАЛОВ Марк Феликсович

магистрант архитектурного факультета  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: Felix955@yandex.ru

#### ЖУРАВЛЁВ Михаил Юрьевич

старший преподаватель кафедры архитектуры  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: mihail\_zuravlev@inbox.ru

9. Этингер О.Е. Церковь Спаса на Нередице: от Византии к Руси: к 800-летию памятника / Российская академия наук, Институт востоковедения, Отдел сравнительного культуроведения, Кабинет византистики, Институт христианской культуры Средневековья. Институт востоковедения РАН. М.: Индик, 2005. 328 с.

10. Антипов И.В. Древнерусская архитектура в первое столетие после монголо-татарского нашествия // Stratum plus: archaeology and cultural anthropology. 2016. №5. С. 355–366.

11. Насыбуллина Р.А., Шестаков А.А. Метафизика света и ее рецепция в архитектуре // Вестник ТвГУ. Серия Философия. Тверь, 2015. №2. С. 73–84.

12. Яковлев В.В. Сведения о древнерусском искусстве в Новгородской историко-литературной традиции XVII века // Актуальные проблемы теории и истории искусства. 2016. №2. С. 200–205.

13. Вагнер Г.К. О своеобразии стилиобразования в архитектуре Древней Руси // Архитектурное наследие. М., 1995. Вып. 38. С. 22–38.

14. Елишин Д.Д. Технологические особенности Новгородской глины домонгольского времени // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2013. №3. С. 92–97.

15. Гречнева Н.В. Традиционные и новые элементы декора православного храма, цвет и материал в современной храмовой архитектуре // Культурное наследие сибиряка. 2015. №18. С. 24–31.

16. Ченпалов М.Ф., Журавлёв М.Ю. Предпосылки разработки аналитического метода в современном православном храмовом строительстве // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн: сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, Е.А. Ахмедовой; СГАСУ. Самара, 2017. С. 237–241.

#### CHENPALOV Mark F.

Master's Degree Student of tge Faculty of Architecture  
Samara State Technical University  
Academy of Civil Engineering and Architecture  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: Felix955@yandex.ru

#### ZHURAVLEV Mikhail Yu.

Senior Lecturer of the Architecture Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Civil Engineering and Architecture  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: Felix955@yandex.ru

Для цитирования: Ченпалов М.Ф., Журавлёв М.Ю. Аутентификация Новгородской школы древнерусского храмового зодчества // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, №1. С. 85-90. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.15.

For citation: Chenpalov M.F., Zhuravlev M.Yu. Authentication of the Novgorod school of ancient Russian temple architecture // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 85-90. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.15.

# АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



УДК 721.72.01/.05.72.03+111

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.16

Т.Г. АРТЕМЬЕВА  
Е.М. БАЛЬЗАННИКОВА

## ЭВОЛЮЦИЯ ПОНИМАНИЯ ЦЕННОСТИ ИСТОРИЧЕСКОЙ АРХИТЕКТУРЫ В ФОРМАТАХ ВРЕМЕНИ / ФОРМЫ / КОНТЕКСТА

EVOLUTION OF PERCEPTION OF THE VALUES OF HISTORICAL ARCHITECTURE  
IN FORMATS OF TIME / FORMS / CONTEXT

*Раскрывается специфика эволюции понимания ценности исторической архитектуры в форматах времени, формы и контекста. Определяется место и характер истории архитектуры относительно общей истории человечества и истории других видов деятельности общества. Дается обоснование понятия ценностных полей исторической архитектуры в форматах времени, формы и контекста с выявлением специфики их комплексной оценки в целях определения перспектив существования исторической архитектуры. Дается определение физической и метафизической контекстуальности исторической архитектуры с учетом ее бифункциональной сущности. Приводятся характерные прогностические оценки перспектив существования исторической архитектуры.*

**Ключевые слова:** история архитектуры, эволюционность, гуманитарность, трансгуманитарность, виртуальная реальность, ценностное поле, история, форма, физический контекст, метафизический контекст, бифункциональность, перспектива существования

*The specifics of the evolution of perception of the value of historical architecture in the formats of time, form and context are revealed. The place and character of the history of architecture relative to the general history of mankind and the history of other types of society activity is determined. The substantiation of the value fields of historical architecture in time, form and context formats is provided with the identification of the specifics of their integrated assessment in order to determine the prospects for the existence of a historical architecture. The definition of the physical and metaphysical contextuality of the historical architecture is given taking into account its bifunctional essence. Typical predictive assessments of the prospects for the existence of historical architecture are given.*

**Keywords:** history of architecture, evolutionary, humanitarian, transhumanitarian, virtual reality, value field, history, form, physical context, metaphysical context, bifunctionality, perspective of existence

Историческая архитектура сама по себе безоговорочная ценность для одних и ценность не абсолютная, как может казаться другим. Для понимания оснований для утверждения ценности исторической архитектуры целесообразно ввести понятие ценностных полей исторической архитектуры в форматах времени, контекста и формы.

Формат времени проявляется прежде всего через историю. Французский философ и один из крупнейших писателей XX в. Милан Кундера в исследовании, посвященном эволюции европейского романа как части истории европейской культуры и искусства, приводит любопытную классификацию типов истории,

разделяя историю общества, техники, науки и искусства на отдельные по признакам форм эволюционности – наличия или отсутствия прогресса, гуманитарности и ценностных характеристик. Распознавая отдельно от истории общества историю искусства, Кундера определяет ее особенность одновременно в отсутствии прогресса как поступательного детерминированного и, главное, необратимого процесса развития; и в гуманитарности, которую определяет как «человечность» в смысле «глубинного эстетического основания личности» как главного критерия отбора. То есть постоянную подверженность эстетическим суждениям, переоценке ценностных характеристик, составляющих

основополагающую сущность произведений искусства, которые продолжают существовать параллельно появлению новых. «...История искусства, будучи историей ценностей, то есть вещей необходимых, всегда с нами, она присутствует в настоящий момент; мы в одном концерте можем слушать Монтеверди и Стравинского...» [1]. Другими словами, применительно к архитектуре, непрерывную городскую ткань образуют исторические здания разных периодов наряду с непрерывно обновляемой застройкой и постоянно служат объектами эстетических суждений и переоценки, определяющих перспективы их существования. Тем самым история искусства радикально отличается от общей истории общества, которая может трактоваться как история исчезновения – событий, вещей, человеческих сообществ. «Просто» история, то есть история человечества, – это история вещей, которых больше нет и которые не участвуют непосредственным образом в нашей жизни» [1].

Из этих определений логически следует вывод о сложной и неоднозначной природе истории архитектуры. Ее эволюционный характер выражается через форму строительного и технического прогресса. Как вид технической культуры архитектура прогрессирует. Гуманитарность истории архитектуры заключается в стремлении к эстетическому идеалу, когда технический прогресс должен способствовать реализации особых метафизических свойств архитектуры. В оппозиции форм историчности, причина которой заключена в дуалистичности природы архитектуры, заложено серьезное противоречие, поскольку, наряду с прогрессом одной из сторон своей сущности – утилитарной, архитектура как вид искусства обнаруживает скорее тенденцию регресса, ибо за возрастающую физическую комфортабельность следует расплата метафизического свойства – потеря способности психологического воздействия на человека. Или осознание смыслового разрыва понятий «архитектура» и «строительный дизайн».

Архитектура как приоритетный носитель материальных следов истории существует в различных ипостасях – ценностных полях: как художественная форма, имеющая самостоятельную семантическую и эстетическую ценность, – формат формы; как информационная среда – формат времени и метафизического контекста; как пространственная структура, обеспечивающая протекание процессов в определенно организованном виде, закрепляющая преемственность жизненных алгоритмов, типов поведения и типологии жизненных ситуаций, – формат физического контекста.

Ценностное поле исторической архитектуры в формате истории содержит некое особое качество, роднящее архитектуру с всеобщей историей общества, когда речь заходит о идентичности – в контексте соответствия архитектурной формы историческому функционально-смысловому содержанию. И роднящее с другими видами искусств, когда речь идет о худо-

жественной форме. Понимание исторической преемственности как признака принадлежности к цивилизации – также содержательная категория ценностного поля в формате истории, которая позволяет различать подлинную форму и ее имитацию, трактуя историчность как ценность, субстанционально присущую объектам культурного наследия.

Формат времени неразрывно связан с форматом формы в ее художественном выражении, с ее эстетическим смыслом.

А.Г. Раппапорт в книге «Форма в архитектуре» рассуждает о содержании понятия «форма», вводя категории морфологии, символики и феноменологии. Под морфологией понимая «все то, что описывается технически и геометрически» [2], под символикой – причастность к культурным традициям и открытость словам и словесным текстам, феноменологией Раппапорт называет «...те переживания, которые вызывают нас формы и объекты, но не способные быть выраженными словами и сведены к конвенциональным символам» [2].

Эстетическая оценка опирается, как правило, на морфологию формы и понимание культурного контекста. Феноменологический аспект восприятия формы, индивидуально переживаемый ее метафизический смысл, сообщает эстетической оценке субъективность, которая является одной из главных причин неопределенности перспектив существования исторической архитектуры.

Социологическая роль истории архитектуры неразрывно связана с всеобщей историей человечества. Исторические повторы развития общества вызывают к жизни повторные архитектурные формы. Здесь можно проследить расхождение с эволюцией остальных видов искусств. Кундера утверждает, что «...История человечества может из-за дурного вкуса повторяться, ...история искусства повторений не терпит. Искусство существует не для того, чтобы показывать, подобно большому зеркалу, все перипетии, вариации, бесконечные повторы Истории. Искусство не духовой оркестр, что аккомпанирует ходу истории. Его задача – создавать свою собственную историю. Если что и останется от Европы – так это не ее повторяющаяся история, которая сама по себе не представляет никакой ценности. Единственное, что имеет шанс остаться, – это история искусства» [1]. В этом смысле можно сказать, что архитектура именно «аккомпанирует ходу истории», оформляя эпохи побед и поражений путем реанимации подходящих исторических форм.

Ценностное поле художественной формы можно определить как осознание связи времени и эстетики формы. М. Кундера пишет, что начало XIX в. характеризуется осознанием быстротечных изменений и сменной форм. «...Форма любого предмета оказалась отмечена печатью своего скорого исчезновения...» [1], таким образом, уникальность исторической формы стала залогом ее ценности. В отличие от предметов бытовой культуры, материальная долговечность существования

исторической архитектуры на фоне быстротечных перемен обеспечивалась относительно высокой инерционностью – ее масштабностью, капиталностью, высокобюджетностью и социальной ролью.

Однако параллельное зарождение современной архитектуры, которое сопровождалось разрушением принципов классической композиции и отрицанием эстетики классической формы, неумолимо изменило ход и вид дальнейшей истории архитектуры, которая стала выглядеть как конфронтация консервативных и модернистских принципов организации внутреннего пространства и внешней формы. М. Кундера констатирует, что «...смысл модернизма — в попытке каждого из искусств как можно ближе подойти к его особенности, его специфике» [1]. Так архитектура отвергла любое украшательство, все то, что могло быть выражено другими средствами – живописью, скульптурой, и девальвировала сам язык исторических форм, утратив богатство пластических средств и отказавшись от символически аттрактивности в пользу пуризма формы.

Распространение архитектуры модернизма со временем вызвало неизбежную реакцию с распознаванием ограниченной градостроительной роли модернистской архитектуры и запоздалую переоценку уходящей исторической декорации как основы морфотипов классического города. Градостроительная типология, включающая понятия улиц, площадей, кварталов, должна была неизбежно измениться или отменить отношение к объектам культурного наследия как к досадному ретроградному фактору развития новой градостроительной истории.

Историческая архитектура антропоморфна и по сей день остается мерилем человеческого масштаба, реальности и идентичности в мире нарастающего гигантизма и виртуализации. То есть ценностное поле исторической архитектуры в формате формы содержит ценность человеческой «идентичности как коллективно понимаемого прошлого» [3], уникальности и подлинности средообразующих элементов.

Формат ценности формы следует рассматривать в совокупности с форматом контекста. М. Кундера, применительно к другим видам искусства и литературы, определяет большой и малый контексты по национальному и наднациональному признакам. Однако вряд ли можно полноценно определить роль исторической архитектуры, оперируя исключительно понятиями национальных и всеобщих контекстов. Для уточнения характера исследования можно обозначить физический и метафизический контексты исторической архитектуры, исходя из ее бифункциональной природы. Физический контекст своим содержанием предполагает функциональный и пространственный потенциалы объектов культурного наследия; историко-культурный и эстетический потенциалы составляют содержание метафизического контекста. А.Г. Габричевский в своем исследовании, посвященном проблемам конкретности архитектурного синтеза и исторической морфологии архитектурных форм, рас-

сматривал архитектурную форму как дуалистическое единство пространства и облекаемой его оболочки, которую он не наделял самостоятельной ценностью в отрыве от «живого ядра» [4]. Другими словами, архитектурная форма как оболочка, лишаясь функционального содержания, становится объектом обоих контекстов. Внешняя атрибутика архитектурной формы с признанием ее историчности и соответствия критериям эстетической оценки, обладает культурным потенциалом отдельно от внутреннего пространства, ею облекаемого. По крайней мере, можно представить такое допущение в рамках эссе для устранения бесконечности энтропических ветвей рассуждений. Иными словами, субстанции архитектурной формы разделимы. В физическом контексте они могут существовать и работать нераздельно, обеспечивая локальный уровень функционирования как отдельные полноценные объекты-здания. В метафизическом контексте историческая форма-оболочка является ценностью независимо от своего содержания, которое может быть представлено неполноценным с точки зрения самостоятельности — контуром фрагмента территории или фрагментом новой архитектуры. Здесь несомненную ценность представляет средообразующая роль исторической архитектуры, где утрату каждого ныне пустующего исторического здания следует рассматривать как потерю звена в исторической цепи. Метафорой последствий такой утраты может служить знаменитая раздавленная бабочка Рэя Бредбери – причина иного цивилизационного пути [5].

Приоритетность того или иного контекста определяет выбор стратегии проектного поведения, направленного на историческую архитектуру. Главный критерий определения ценности в физическом контексте — характеристика, которую можно выразить в форме экономического потенциала исторической архитектуры как объекта, пригодного для приспособлений функционального характера в соответствии с современным этапом градостроительной истории. И здесь она сильно проигрывает современной архитектуре. Ценность исторической архитектуры в метафизическом контексте определяется гораздо сложнее. Она связана со спецификой оценочного аппарата. «...Ценности исторической архитектуры всегда с нами, они постоянно ставятся под сомнение, защищаются, оцениваются и переоцениваются. В области искусства не существует точных мерок. Любое эстетическое суждение — это личностная оценка, ...которая сталкивается с другими суждениями, ...стремится к объективности. В коллективном сознании история архитектуры ...оказывается подвержена постоянным изменениям...» [1].

Следует ли ценность метафизического контекста рассматривать в том числе с позиции экономического потенциала? Применив аппарат марксистской философии, когда историческая архитектура может трактоваться через рыночные понятия своеобразного товара,

цена которого определяется спросом и растет, пока спрос опережает предложение, можно утверждать, что экономический потенциал исторической архитектуры должен неуклонно возрастать с уменьшением предложения, ибо историческая архитектура – невозобновляемый ресурс и основная составляющая ее ценности – историчность.

По аналогии с правилом, обнаруженным М. Кундерой, можно утверждать, что чем большее историческое расстояние отделяет наблюдателя от конкретного объекта исторической архитектуры, тем явнее метафизический контекст, «...единственно способный проявить эстетическую ценность..., то есть неизвестные до сих пор аспекты существования... и новизну формы» [1].

Иными словами, отдельные исторические здания в составе единой исторической среды не имели бы такой выраженной метафизической ценности, какую они выявляют (проявляют) на контрасте с современной застройкой – в условиях физического контекста. Следует, однако, внести уточнение, что данное допущение касается только качеств отдельных объектов исторической архитектуры.

Совокупность исторической застройки, образующая среду, которая может характеризоваться своей гомогенностью, или однородностью, но только по признакам конфронтации с архитектурой модернизма, выступает как единая субстанция и предоставляет возможность преобразований сообразно со своим физическим контекстом, предельно осторожно по отношению к контексту метафизическому.

Между метафизическим и физическим контекстами можно представить некий переход; назовем его срединным контекстом. Применительно к исторической архитектуре это можно описать как соотношение исторической и современной застройки. Близкая к паритетной пропорция с современной позволяет исторической застройке не выглядеть музейно, каковыми неизбежно оказываются одинокие исторические здания, наличие которых не спасает среду от перерождения, – они неизбежно начинают играть роль объектов графической истории.

Исторически сложившаяся городская застройка редко обладает абсолютной сохранностью [6–8]. Приоритеты мотивации вторичного освоения и неспособность рассматривать культурный потенциал исторической архитектуры в качестве критерия ценности – главные причины терроризма физического контекста. Терроризм физического контекста можно считать признаком такого явления, как провинциализм. «Проявление провинциализма – безразличие к эстетическим ценностям. Лишь сообразуясь с ценностями (эстетическими), иностранец выносит суждение о культуре, рожденной вне его страны. В очередной раз подтверждается правило: эти ценности трудноразличимы с точки зрения физического контекста» [1].

Можно рассматривать ценностные поля объектов культурного наследия в совокупности и по отдельности. Сравнивая эти поля и выявляя приоритетность,

можно прийти к конечному выводу, что как структура, обеспечивающая алгоритмы, историческая архитектура неизбежно и стремительно деградирует и исчезает. Как информационная среда – историческая архитектура, утрачивая подлинность, обесценивается [6–11]. Последняя окончательная ценность исторической архитектуры – эстетика формы – также постоянно находится под угрозой исчезновения в результате проявления неподконтрольных человеческих факторов: глупости, некомпетентности, постоянной переоценки ценностей и забвения.

Обратимся к эссе Рема Колхаса, где он выносит неумолимый максималистский, крайне пессимистичный вердикт эволюционным процессам исторической архитектуры: «...становится ясно, что современные человеческие качества неминуемо должны взорвать и опустошить предшествующую субстанцию. ...И дело не только в том, что доля, причитающаяся каждому, при стабильно растущем населении становится все меньше и меньше, – история, кроме того, обладает неприглядным свойством распадаться. Подобно радиоактивным материалам: чем сильнее ее эксплуатируют, тем менее значимой она становится – и так вплоть до состояния, когда ее оскудевшие дары начинают выглядеть просто оскорбительно. Это оскудение приобретает еще большую стремительность за счет постоянно увеличивающейся массы туристов, которые в своем безостановочном поиске «характера» перемальвают, как селевой поток, все успешные идентичности в бессмысленную пыль» [3].

Другими словами, перспективы существования исторической архитектуры рассматриваются близкими к нулю. Правда, никто пока не может определить сроки этой пресспективы – одно поколение? Два? Десять? Прогноз, основанный только на одном типе вектора, обычно малореализуем. Ценность такого прогноза можно рассматривать в контексте его своевременности и временной дистанционности, которая позволяет осмыслить проблему и разработать соответствующие алгоритмы проектного поведения в отношении исторической архитектуры.

Зачем нам следы истории? Если история повторяется, – закономерно ли ожидание на любом витке возвращения потенциального воспроизведения архитектуры? Здесь таится онтологическое противоречие: история общества не совпадает с историей архитектуры, которая, с одной стороны, по определению М. Кундеры, внечеловечна как продукт развития технологии, с другой – глубоко человечна как субъект и одновременно объект истории искусства. Как продукт технической истории, архитектура постоянно прогрессирует, как искусство – архитектура вне прогресса. Прогресс не предполагает возвратов и повторов, в нем заложен детерминизм эволюционного характера. В контексте технического прогресса возврат архитектуры к предшествующим этапам не имеет смысла. Эстетическая ценность культуры лежит в оценочной области и глубоко субъективна.

С точки зрения биологического вида выживание человечества совершенно не зависит от такой ценности, как историческая архитектура, поскольку метафизические свойства исторической архитектуры, неразрывные с ее глубинными эстетическими качествами, расходятся с физической сущностью архитектуры – обеспечением пространственных условий для определенных алгоритмов жизнедеятельности. С изменением и утратой алгоритмов утрачивается потребность в физических качествах архитектуры. Другими словами, перспективы существования человечества не зависят от перспектив существования исторической архитектуры.

Более того, пока на полях ближнего горизонта идет борьба между классицистами и модернистами, с переменным успехом и попеременным выносом и преданием анафеме всех святых – основополагающих ценностей оппонентов, мир завоевывает иная ценность, с точки зрения сущности архитектуры, мнимая – виртуальная реальность. Как потенциальная реальность, производящая трансгуманитарных монстров, вытесняющих любые предшествующие ценности, эта субстанция способна привести человечество к концу архитектуры, концу истории, концу света.

Причины этих процессов объективны и лежат в основе ускоряющихся темпов эволюции человечества, когда техническая история с ее внечеловеческой становится определяющим фактором ускорения темпов истории общества и обесценивания истории искусства. Архитектура как система, не имеющая приоритетных признаков отнесения ее к доминирующей области деятельности, – к искусству, технике, науке, социальной жизни, теряя любую из групп признаков, теряет самое определение как архитектуры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кундера Милан *Занавес* / пер с фр. А. Смирновой. СПб.: Изд. Группа «Азбука классика», 2010. 240 с.

Об авторах:

##### **АРТЕМЬЕВА Татьяна Геннадьевна**

доцент кафедры архитектуры  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: tatart2@gmail.com

##### **БАЛЬЗАННИКОВА Екатерина Михайловна**

магистр архитектуры, ассистент кафедры архитектуры  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: balzannikova@mail.ru

2. Раппапорт А.Г., Сомов Г.Ю. Форма в архитектуре. Проблемы теории и методология / ВНИИ теории архитектуры и градостроительства. М.: Стройиздат, 1990. 343 с.

3. Рем Колхас. Мусорное пространство. М.: ООО «Арт Гид», 2015. 84 с.

4. Габричевский А.Г. Проблема архитектурного синтеза как взаимной организации массы и пространства // Архитектура СССР. 1989. №1. С. 86–91.

5. Бредбери Рэй. И грянул гром. 100 рассказов. М.: Эксмо, Домино, 2010. 321 с.

6. Артемьева Т.Г., Бальзанникова Е.М., Леонова А.К. Функциональный потенциал объектов культурного наследия с высокой степенью амортизации в контексте альтернативной реконструкции // Устойчивое развитие городской среды: сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, Е.А. Ахмедовой, Е.Г. Вышкина, Ф. Свиталя; АСИ СамГТУ. Самара, 2016. С. 27–31.

7. Журавлев М.Ю. Фактор времени в архитектурном творчестве: дис. ... канд. арх. Самара, 2016. 147 с.

8. Самогоров В.А., Рыбачева О.С., Фадеев А.В. Особенности морфологии пространства и застройки исторических кварталов г. Самары // Научное обозрение. 2015. №4. С. 191–198.

9. Бальзанникова Е.М. Сохранение городских объектов историко-архитектурного наследия // Вестник МГСУ. 2014. № 1. С. 15–24.

10. Вавилонская Т.В., Алексеев В.В. Особенности исследования исторических регионов с позиций своеобразия архитектурно-исторической среды (на примере Среднего Поволжья) // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы 71-й Всеросс. научно-техн. конф. / СГАСУ. Самара, 2014. С. 537–538.

11. Артемьева Т.Г., Бальзанникова Е.М., Леонова А.К. К вопросу об апологии высокоамортизированных нефункционирующих объектов культурного наследия на примере исторической застройки центра города Самары // Промышленное и гражданское строительство. 2017. №4. С. 35–40.

##### **ARTEMYEVA Tatyana G.**

Associate Professor of the Architecture Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Civil Engineering and Architecture  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: tatart2@gmail.com

##### **BALZANNIKOVA Ekaterina M.**

Master of Architecture, Assistant of the Architecture Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Civil Engineering and Architecture  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194  
E-mail: balzannikova@mail.ru

Для цитирования: Артемьева Т.Г., Бальзанникова Е.М. Эволюция понимания ценности исторической архитектуры в форматах времени / формы / контекста // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.91-95. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.16.

For citation: Artemyeva T.G., Balzannikova E.M. Evolution of perception of the values of historical architecture in formats of time/forms/context // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 91-95. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.16.

Е.М. ГЕНЕРАЛОВА

## ВЫЯВЛЕНИЕ ТИПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ

### DEFINING TYPOLOGICAL STRUCTURE OF MIXED-USE TALL BUILDINGS

В статье поднимается чрезвычайно актуальная на сегодняшний день проблема поиска приемов и методов формирования комфортной городской среды. Акцент сделан на то, что в условиях интенсивного территориального роста городов на первый план выходит потребность к пространственной концентрации, основанной на многофункциональном и более компактном распределении деятельности населения в городском пространстве. Подчеркивается, что включение многофункциональных объектов в городскую ткань приводит к значительному улучшению качественных характеристик жилой среды. Автор даёт анализ передового мирового опыта проектирования многофункциональных высотных зданий (mixed-use tall buildings) с выявлением динамики интенсивности их строительства.

**Ключевые слова:** высотное строительство, многофункциональные высотные здания, «вертикальный город», урбанизация, комфортность жилой среды

Высокие темпы мировой урбанизации сопровождаются негативной тенденцией неконтролируемого роста городских территорий (urban sprawl). Это вызывает тревогу у специалистов в разных областях знаний (архитектура, градостроительство, экономика, социология, экология и т.п.), заставляя их искать новые, более рациональные градостроительные и объёмно-планировочные структуры, отвечающие на вызовы современного общества. В этих условиях активно развивается концепция «устойчивого вертикального урбанизма», основанная на поиске совершенно новой типологии высотных зданий. В основе этой типологии лежит принцип многофункциональности, который проявляется в способности большой системы к реализации множества функций. Городские функции – это различные виды деятельности на городской территории, такие как жилье, промышленность, медицинское обслуживание, торговля, образование и т.п.

В последнее время всё чаще ведется разговор о необходимости пространственной концентрации городской среды по вертикали, в которой «каркас» города получает новую систему ориентации и отчета [1–3]. Активно идет поиск современной инновационной концепции построения «компактного города» с использованием новых типов высотных зданий, которые разрабатываются как интегрированные

The article deals with an actual problem of finding techniques and methods to create a comfortable urban environment. The author emphasizes that in the existing conditions of intensive urban development greater attention should be given to spatial concentration based on and more compact distribution of population in urban space. It is stressed that including mixed-use facilities into urban realm results in a significant improvement of living environment qualitative characteristics. The author explores the world's experience of designing tall mixed-use buildings and reveals modern trends in their construction.

**Keywords:** high-rise construction, mixed-use tall buildings, «vertical city», urbanization, comfortable living environment

мини-города («integrated mini-cities» или «vertical city»), обеспечивающие высокую плотность застройки. Хотелось бы особо подчеркнуть, что только при условии интеграции различных городских функций, способствующих формированию и полноценному развитию личности, высокая плотность застройки сможет обеспечить требования к высокому качеству жизни.

«Многофункциональность» как феномен городской среды рассматривается в работах целого ряда исследователей [4–8]. Многофункциональные здания признаются наиболее востребованной и перспективной формой застройки, значительно повышающей эффективность использования территории. Отмечается, что для инвестиционной привлекательности современные высотные здания все чаще проектируются многофункциональными. При этом четкого представления о типологии подобных объектов и их классификации до сих пор не существует.

Не проясняет ситуацию и анализ действующей в России нормативной базы. В 2014 г. вступил в силу свод правил СП 160.1325800.2014 «Здания и комплексы многофункциональные. Правила проектирования». В соответствии с терминологией данного документа здание является многофункциональным, если включает в свой состав два и более функционально-планировочных компонента, взаимосвязанных

друг с другом с помощью планировочных приёмов. Многофункциональный комплекс должен включать в себя два и более здания различного функционального назначения (в том числе многофункциональные), взаимосвязанные друг с другом с помощью планировочных приёмов. Функционально-планировочный компонент здания трактуется как группа помещений, обеспечивающих выполнение определенного процесса (проживание, сервисное обслуживание, досуг и др.). К сожалению, в своде правил не определена минимальная доля функционально-планировочного компонента в общем объеме многофункционального объекта. Это существенно усложняет и запутывает процесс отнесения того или иного здания или комплекса к многофункциональным. К тому же следует отметить, что данный нормативный документ не распространяется на высотные здания. В сферу его влияния попадают только здания высотой до 75 м с размещением общественных помещений на этажах, расположенных не выше 55 м и имеющих заглубление подземной части до 15 м.

Проектирование высотных зданий регламентирует СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования». Однако в терминах и определениях этого чрезвычайно важного и долгожданного нормативного документа нет никаких критериев для оценки функциональной структуры высотных зданий и комплексов. Указано лишь, что высотными считаются здания высотой более 75 м. Высотный комплекс трактуется как «группа из двух и более зданий различной высоты (включающая в себя не менее одного высотного здания), взаимосвязанных друг с другом с помощью архитектурно-планировочных приёмов (могут иметь общую подземную или стилобатную часть, объединяющие переходы и т. п.)» [9, 10].

Изучение мирового опыта показывает, что существуют и другие, более корректные подходы к определению многофункциональности зданий. Например, Совет по высотным зданиям и городской среде (The Council on Tall Buildings and Urban Habitat – CTBUH) разрабатывает и постоянно совершенствует международные стандарты и правила классифицирования высотных зданий. По функциональной структуре CTBUH выделяет две группы высотных зданий: монофункциональные (single-function tall building) и многофункциональные (mixed-use tall building). По версии CTBUH высотное здание является многофункциональным, если включает в себя две или более функции, каждая из которых занимает «значительную долю» – не менее 15 % от общей площади башни или от объема по высоте. В монофункциональном объекте 85 % или более его объема отдано одной функции. Уточняется, что в супервысоких зданиях (supertall building – выше 300 м) следует с большой аккуратностью относиться к определению «значительной доли» для выявления функциональных блоков. Может оказаться, что они

будут составлять и менее 15 % общей высоты. Например, 15-этажный отель как часть 150-этажной башни не соответствует 15 %-му правилу, хотя и представляет собой достаточный объем для функционального блока многофункционального объекта. Также отмечается, что гаражи, технические этажи и различные вспомогательные функции не являются элементами, определяющими многофункциональность высотного здания [11].

Исходя из вышесказанного, в данном исследовании предлагается провести анализ существующего состояния типологии многофункциональных небоскребов. Для выявления объектов для анализа используется база данных «Skyscraper Center» CTBUH, содержащая информацию о более чем 18 тысячах построенных на сегодняшний день высотных зданий. Наиболее полно представлена категория 150+ (выше 150 м), включающая на сегодняшний день 4262 объекта, география которых охватывает 59 стран мира.

Первое здание, которое по критериям CTBUH относится к категории «многофункциональные» (mixed-use), было построено в 1924 г. в Чикаго. Это «Chicago Temple Building» (office-religious) высотой 173,1 м. В нём, помимо офисов, имеется еще одна самостоятельная функция – религиозная. На первом этаже размещается храм «Первой объединённой методистской церкви» (of the First United Methodist Church of Chicago), способный вместить около 1000 человек. На втором этаже располагается часовня Диксона (Dixon Chapel) и администрация церковной организации. Третий и четвёртый этажи включают в себя помещения для воскресной школы, конференц-зал и комнаты для церковного хора. Последующие уровни с 5-го до 23-го этажа – это офисные помещения, которые сдаются в аренду для различных коммерческих организаций. На высоте 120 м у основания шпиля располагается так называемая «Небесная часовня» (Sky Chapel), рассчитанная на 30 человек.

Всего в мире в XX веке в период 1924 – 2000 гг. (за 76 лет) было построено 96 многофункциональных зданий выше 150 м. В XXI веке в период 2001 – 2017 гг. (всего за 17 лет), построено 639 многофункциональных зданий выше 150 м. Явно прослеживается возрастающий интерес к многофункциональным небоскребам.

Однако если определить их долю в общем количестве построенных высотных объектов, то можно сделать вывод, что пока преобладают монофункциональные высотные здания. Например, за последние 10 лет в период 2008 – 2017 гг. (далее «анализируемый период») в мире построено 2353 здания выше 150 м. Из них к многофункциональным зданиям относятся только 495 (далее «анализируемая группа»), что составляет всего 21 % от общего числа. Остальные башни являются монофункциональными и по функции распределились следующим образом: жильё – 990

зданий (42 %); офисы – 750 зданий (32 %); отели – 92 здания (4 %); апартаменты – 13 зданий (1 %). Прослеживаемая динамика изменений в интенсивности строительства многофункциональных высотных зданий за рассматриваемый десятилетний период по годам, можно отметить как рост интенсивности высотного строительства в целом, так и увеличение доли многофункциональных высотных зданий с 16,3 % в 2008 г. до 28 % в 2017 г. К 2020 г. планируется завершить строительство еще 760 небоскрёбов, из которых 30 % (217 зданий) будут многофункциональными.

Необходимо признать, что «анализируемая группа», состоящая из 495 многофункциональных высотных зданий (выше 150 м), включенных в базу данных СТБУН «Skyscraper Center», на сегодняшний день представляет собой неструктурированное множество объектов, разнообразие признаков и характеристик которых, а также количественные зависимости между ними не изучены. Следует особо отметить, что многофункциональные высотные здания и комплексы относятся к чрезвычайно сложным объектам, функционирующим как система, состоящая из целого ряда упорядоченных элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом и со средой, образуя целостность и организованных для достижения определенных целей. Их изучение требует системного анализа с классифицированием, выявлением закономерностей построения, функционирования и развития, а также структурных связей между элементами исследуемой системы.

Структурным элементом в «анализируемой группе» является многофункциональная высотная БАШНЯ (далее МФВ\_Б), которая может быть как автономным объектом, так и входить в структуру многофункционального высотного КОМПЛЕКСА (далее МФВ\_К). Анализ показал, что автономными являются более 60 % МФВ\_Б (306 зданий), остальные 189 включены в МФВ\_К.

Набор функций, входящих в состав МФВ\_Б, весьма разнообразен. К ним относятся: жильё «residential»; апартаменты «serviced apartments»; офисы «office»; гостиницы «hotel»; торговля «retail»; образование «education»; казино «casino» и другие. Жильё «residential», включая апартаменты «serviced apartments», офисы «office» и гостиницы «hotel», предлагается считать «базовыми» функциями. В разном сочетании они встречаются в подавляющем большинстве многофункциональных небоскрёбов.

В статистических таблицах СТБУН «Skyscraper Center» функциональные блоки, определяющие структуру каждого многофункционального здания, указываются в порядке убывания их значимости, благодаря чему можно отслеживать «преобладающие» функции. По «преобладающей» функции все МФВ\_Б распределились следующим образом: лидирует жилая функция «residential», включая «serviced apartments», – число таких зданий составляет около 50 % (245 зданий); на втором месте функция «hotel» – около 29 % (145 зданий); на третьем месте функция «office» – 19 % (94 здания).

 МФВ\_Б<sub>3+</sub>, сочетающие «базовые» функции (residential; hotel; office)

Название МФВ_Б <sub>3+</sub>	Место постройки (город)	Высота, м	Этажность	Год постройки	Функции
1	2	3	4	5	6
Burj Khalifa	Дубай	828.0	163	2010	office_residential_hotel
Lotte World Tower	Сеул	554.5	123	2017	hotel_residential_office_retail
Guangzhou CTF Finance Centre	Гуанчжоу	530.0	111	2016	hotel_residential_office
Keangnam Hanoi Landmark Tower (Keangnam Hanoi Complex)	Ханой	328.6	72	2012	hotel_residential_office
Yantai Shimao No. 1 The Harbour (Yantai Shimao Complex)	Яньтай	323.0	59	2017	residential_hotel_office
The Shard	Лондон	306.0	73	2013	residential_hotel_office
Northeast Asia Trade Tower	Ичхеон	305.0	68	2011	residential_hotel_office
Gate to the East	Сучжоу	301.8	66	2015	residential_hotel_office

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
R&F Yingkai Square	Гуанчжоу	296.2	66	2014	residential_hotel_office
Tanjong Pagar Centre	Сингапур	290.0	68	2016	residential_hotel_office
Metropol Tower Istanbul	Стамбул	280.0	58	2017	hotel_residential_office
Lotte Center Hanoi	Ханой	272.0	65	2014	residential_office_hotel
Suning Plaza Tower A	Сюйчжоу	266.0	62	2017	hotel_serviced apart_office
Changzhou Modern Media Center	Чанчжоу	265.1	58	2013	residential_hotel_office
Raffles City Hangzhou Tower 2 (Raffles City Complex)	Ханчжоу	256.3	59	2017	residential_hotel_office_retail
Toranomon Hills	Токио	255.5	52	2014	hotel_residential_office
RunHua International Building	Уси	248.0	55	2009	residential_hotel_office
Xiamen Shimao Straits Tower A (Xiamen Shimao Straits Towers Complex)	Сямьнь	249.9	59	2015	residential_hotel_office
Kaiyuan Finance Center	Шицзячжуан	246.0	52	2012	residential_hotel_office
Global Harbor South Tower (Global Harbor Complex)	Шанхай	245.0	45	2014	office_residential_hotel_retail
Imperia Tower	Москва	238.7	60	2011	residential_hotel_office
Burj Daman	Дубай	235.0	65	2014	residential_hotel_office
Farglory International Plaza	Циндао	223.0	42	2011	hotel_residential_office
FMC Tower at Cira Centre South (Cira Centre South Complex)	Филадельфия	222.5	49	2017	residential_office_hotel
DC Tower I	Вена	220.0	60	2013	residential_office_hotel
21st Century Mansion	Шанхай	210.0	50	2009	residential_hotel_office
Vertical City	Гуанчжоу	208.0	51	2010	hotel_residential_office
Tianjin Maoye Building	Тяньцзинь	205.3	51	2015	residential_hotel_office
Shangri-La Vancouver	Ванкувер	200.9	59	2009	residential_hotel_office
Burj Al Salam	Дубай	197.5	58	2014	serviced apart_hotel_office
Gold Peak Centre B (Gold Peak Centre Complex)	Чунцин	187.8	42	2015	residential_hotel_office
Kunming Century Square	Куньмин	180.0	43	2008	residential_hotel_office
Times Square	Хошимин	164.9	39	2012	residential_hotel_office
Yulin Beiliu Tianhe Fortune Square	Юйлинь	158.0	44	2017	office_hotel_residential
De Rotterdam	Роттердам	151.3	45	2013	office_residential_hotel

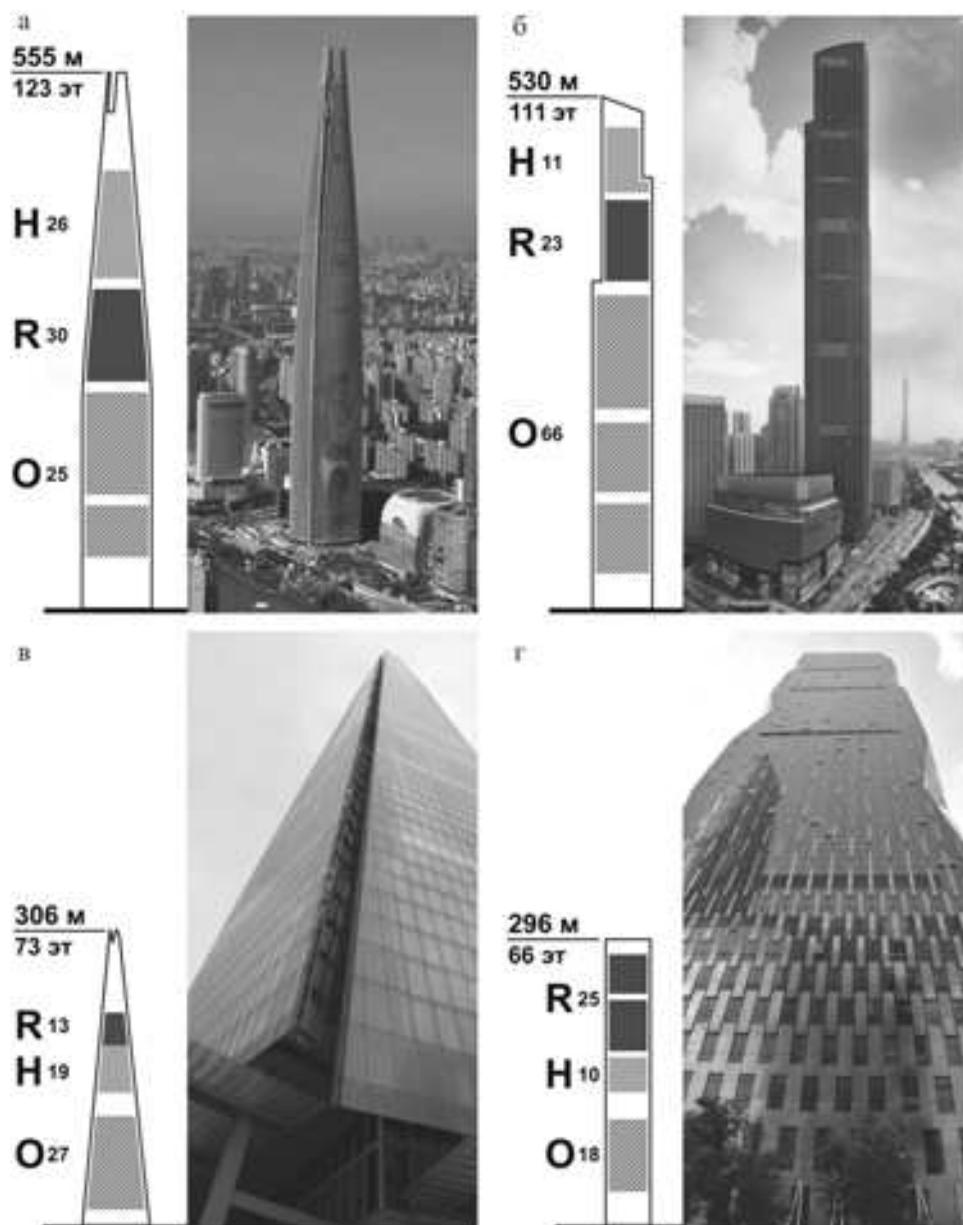


Рис. 1. Примеры многофункциональных высотных зданий, сочетающих «базовые» функции (residential – R; hotel – H; office – O): а – «Lotte World Tower», Сеул; б – «Guangzhou CTF Finance Centre», Гуанчжоу; в – «The Shard», Лондон; г – «R&F Yingkai Square», Гуанчжоу

По количеству структурообразующих функций в «анализируемой группе» чаще встречаются здания с сочетанием только двух функций, их пропорция составляет около 83 % (410 зданий) и только 85 объектов (17 %) включают 3 и более функций (далее МФВ\_Б3+). Большая часть МФВ\_Б3+ представлена автономными башнями – 58 зданий, остальные являются элементами МФВ\_К – 28 зданий. Из 86 МФВ\_Б3+ предлагается выделить в одну группу здания, сочетающие все «базовые» функции (residential; hotel; office). В эту группу попадают 35 объектов, основные характеристики которых представлены в та-

блице. Именно они вызывают пристальный интерес для дальнейшего анализа и исследования, так как в большей степени соответствуют концепции «трехмерного» многослойного развития городской среды и стоят у истоков создания новой типологии высотных зданий.

Остановимся на нескольких примерах подобных уникальных объектов. Заслуживает внимание функциональная структура небоскрёба «Lotte World Tower», строительство которого завершилось в Сеуле в 2017 г. (рис. 1, а). В основании башни на этажах с 5-го по 12-й (зона «PODIUM») разместились меди-

цинский центр, эстетическая клиника, финансовый центр, агентство туристических услуг и многое другое. Далее снизу вверх «базовые» функции выстроились в следующей последовательности: офисы – с 14-й по 38-й этаж; жильё – с 42-го по 71-й этаж; отель – с 76-й по 101-й этаж. Помимо этого, уровни со 108-го по 114-й отданы под уникальную зону «Premiere 7» – это семь этажей, которые сдаются только поэтажно. По желанию клиента этаж можно превратить в частную резиденцию, офисное пространство или банкетный зал. Офисная, жилая и гостиничная зоны имеют развитую систему обслуживания (рестораны, спортивно-оздоровительные блоки, рекреационные пространства и т.п.). Завершает здание самая высокая в Корею смотровая площадка, расположенная на высоте 500 м над землей (117–123-й этажи).

Похожую последовательность «базовых» функций можно наблюдать в многофункциональной высотной башне «Guangzhou STF Finance Centre», построенной в Гуанчжоу в 2016 г. (рис. 1, б). При этом офисная зона существенно преобладает над жильём и отелем, составляя около 60 % объёма здания по высоте. Еще в двух рассмотренных примерах последовательность «базовых» функций изменяется. В лондонском небоскребе «The Shard» (рис. 1, в) и в «R&F Yingkai Square», расположенном в Гуанчжоу (рис. 1, г), завершающим является жильё. Помимо приведенных примеров существуют и другие варианты как чередования «базовых» функций, так и их соотношения по объёму в структуре здания.

**Выводы.** Многофункциональные высотные здания – это не единичные объекты, а обширная группа, требующая тщательного изучения и системного анализа для структурирования и выявления особенностей формирования типологической структуры. В подробном анализе и в исследовании нуждаются такие факторы, как оптимальная комбинация функциональных компонентов; пропорциональное соотношение и распределение по высоте «базовых» функций; наличие и особенности дополнительных и обслуживающих функций; средства интеграции в городскую среду и многое другое.

Об авторе:

**ГЕНЕРАЛОВА Елена Михайловна**

кандидат архитектуры, профессор кафедры архитектуры жилых и общественных зданий Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: generalova-a@yandex.ru

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Генералов В.П., Генералова Е.М. Инновационные решения жилой застройки для условий сдерживания территориального роста городов // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 3. С.23–28.
2. Дубынин Н.В. Архитектура многофункциональных зданий и новые строительные системы // Жилищное строительство. 2014. № 5. С. 63–66.
3. Generalova E.M., Generalov V.P., Kuznetsova A.A., Bobkova O.N. Mixed-Use Development in a High-Rise Context // E3S Web of Conferences 33, 01021 (2018) [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183301021> (дата обращения: 07.02.2018).
4. Колесников С.А. Градостроительные основы формирования высокоурбанизированных многофункциональных узлов городской структуры крупнейшего города // Вестник МГСУ. 2009. №3. С. 25–29.
5. Коротич А.В. Актуальные аспекты развития современной высотной архитектуры // Градостроительство. 2013. № 2 (24). С. 49–59.
6. Generalov V.P. Generalova E.M., Kalinkina N.A., Zhdanova I.V. Typological diversity of tall buildings and complexes in relation to their functional structure // E3S Web of Conferences 33, 01020 (2018) [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183301020> (дата обращения: 07.02.2018).
7. Генералов В.П., Генералова Е.М. Выявление отличительных особенностей понятий «комфорт проживания» и «комфортная жилая среда» // Градостроительство и архитектура. 2016. № 2(23). С.85–90. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.16.
8. Коротич А.В. Имиджевые формы высотных зданий будущего // Градостроительство. 2014. № 5 (33). С. 16–23.
9. Николаев С.В., Травуш В.И., Табунщиков Ю.А., Колубков А.Н., Соломанидин Г.Г., Магай А.А., Дубынин Н.В. Нормативная база высотного строительства в России // Жилищное строительство. 2016. № 1–2. С. 3–6.
10. Генералов В.П., Генералова Е.М. Проблемы классификации высотных зданий // Градостроительство и архитектура. 2011. №2. С. 12–14. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.02.3.
11. CTBUN Height Criteria [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ctbuh.org/TallBuildings/HeightStatistics/Criteria/tabid/446/language/en-US/Default.aspx> (дата обращения: 07.02.2018).

**GENERALOVA Elena M.**

PhD in Architecture, Professor of the Architecture of Residential and Public Buildings Chair Samara State Technical University, Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: generalova-a@yandex.ru

Для цитирования: Генералова Е.М. Выявление типологической структуры многофункциональных высотных зданий // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, № 1. С.96-101. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.17.  
For citation: Generalova E.M. Defining typological structure of mixed use tall buildings // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 96-101. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.17.

И.А. КОТЕНКО  
А.С. ХАРИТОНОВА

## СЕМАНТИКА ДОВОМОЙ РЕЗЬБЫ САМАРЫ

### SEMANTICS OF THE HOUSE CARVING OF SAMARA

*Статья рассказывает о семантике резных украшений старинных деревянных домов города Самары и исследует орнаментальные особенности деревянных и каменно-деревянных зданий города, построенных в конце XIX в. Опираясь на исследования историков, изучавших культуру Древней Руси, авторы показывают, что семантика деревянной резьбы города Самары тесно связана с языческими верованиями древних славян и народными традициями прикладного искусства и ремесла. Авторы приводят классификацию основных частей и элементов зданий, украшаемых домово́й резьбой, подчёркивая связь орнамента и его расположения на домах в соответствии с моделью языческого мироздания и магически-заклинательными обрядами древних язычников. В статье анализируются имеющиеся в городе виды домово́й резьбы, иллюстрируется построение традиционной орнаментальной композиции, география тематических влияний и видов традиционного ремесленного исполнения. В то же время делается вывод о высоком разнообразии композиций и неповторимости самарской деревянной резьбы каждого старинного дома.*

**Ключевые слова:** семантика домово́й резьбы, языческие верования древних славян, сюжеты украшений деревянных зданий, деревянные наличники, подзор, причелина, пилястра, фриз, плотничное ремесло, народные культурные традиции

Деревянная и каменно-деревянная архитектура Самары с красивой домово́й резьбой представляет уникальный пример традиционного русского зодчества и плотницкого мастерства. В Самаре расцвет такой архитектуры пришелся на конец XIX – начало XX в. Именно тогда в России культивировался «русский» ропетовский стиль, подражающий русской архитектуре XVII в. и пропагандирующий семантические мотивы разных видов искусств Древней Руси (вышивка, изготовление металлических украшений, роспись керамики). Первыми работами, посвященными изучению самарского деревянного зодчества, были книга архитектора и историка Е.Ф. Гурьянова «Самарские узоры. Домовая резьба Самарского Поволжья» [1] и самодельная книга-альбом с фотографиями домов краеведа О.С. Струкова. Впоследствии появился труд архитектора В.Г. Каркарьяна «Деревянное зодчество Самары, или Осень патриархов» [2]. С момента написания книги прошло уже некоторое

*The article tells about the semantics of carved ornaments of ancient wooden houses in the city of Samara and explores the ornamental features of the wooden and stone-wooden buildings of the city, built in the late 19th century. Relying on the studies of historians who studied the culture of Ancient Rus, the authors show that the semantics of the wooden carving of the city of Samara is closely related to the pagan beliefs of the ancient Slavs and the folk traditions of applied art and craft. The authors cite the classification of the main parts and elements of buildings decorated with house carvings, emphasizing the connection between the ornament and its location on the houses in accordance with the model of the pagan universe and the magical-spellcasting rites of the ancient pagans. The article analyzes the existing types of house carvings in the city, illustrates the construction of traditional ornamental composition, the geography of thematic influences and traditional crafts. At the same time, a conclusion is drawn about the high variety of compositions and the uniqueness of the Samara wooden carving of each old house.*

**Keywords:** semantics of house carving, pagan beliefs of ancient Slavs, subjects of decorations of wooden buildings, wooden platbands, podzor, prichelin, pilaster, frieze, carpentry, folk cultural traditions

время. Деревянные здания продолжают постепенно исчезать со старых самарских улиц. Исследованию «уходящей натуры» деревянных и каменно-деревянных самарских зданий посвящены сравнительно недавние диссертационные работы Е.А. Сысоевой [3] и Ю.Д. Чёрной [4]. Проблемам охраны деревянного зодчества, в том числе градостроительному развитию Самары, посвящены работы [5–10].

В данной статье авторов заинтересовала семантика самарской домово́й резьбы и её связь с развитием русской культуры. Если не все, то часть деревянных и каменно-деревянных зданий (как объекты культурного наследия, как важная фоновая застройка исторических улиц) нуждаются в утерянных деталях и украшениях. Их корректное восстановление невозможно без знания семантики резьбы, без представления о композиционных особенностях её использования. Изучение семантики декоративных украшений, в том числе, помогает

установить глубокие связи данного вида народного творчества, представленного на самарской почве, с исторической русской культурой, осознать их историческую и художественную ценность. Оставшиеся образцы домовой резьбы Самары представляют едва ли не последнюю возможность воочию познакомиться не только со временем их создания – периодом конца XIX – начала XX в., но и с древней культурой Руси.

Имеющиеся классификации собственно деревянной резьбы достаточно разнообразны [11,12]. По формальным особенностям и способам изготовления домовой резьбы предпочтительней остановиться на следующей классификации:

- 1) скульптурная;
- 2) глухая (корабельная, рельефная, барочная);
- 3) сквозная (прорезная, пропильная, плоская).

Скульптурных видов резьбы в Самаре, вероятно, было мало и практически не сохранилось. Деревянные скульптурные изображения птиц и зверей были характерны для северной архитектуры (Архангельская, Вологодская, Псковская губернии). Изображались охлупени в виде конской головы, олень с ветвистыми рогами, лебедя. Они были связаны с языческими верованиями древних славян и финно-угорских народностей [13]. Конь принадлежал к солнечному знаку (приводил солнце), олень (лось) считался божественным животным, древнейшим прародителем.

Второй вид рельефной (корабельной) резьбы распространён в Самаре тоже не так широко, хотя её можно встретить во всём Верхнем и Среднем Поволжье. Особенно она характерна для украшений мебели, выполненной мастерами из Ярославля и Рыбинска, изготовленной в конце XIX в. для многих поволжских городов. В Самаре глухая резьба оформляет крыльца и входы в дома (например, деревянные полотна дверей), а также украшает наличники окон (ул. Агибалова, 42; ул. Ульяновская, 33). Инструмент для изготовления резьбы – топор, долото, стамески, поэтому её ещё называют долотной.

Третий, наиболее молодой вид деревянных домовых украшений – пропильная резьба – особенно распространился в Самаре в конце XIX – начале XX в. в связи с появлением новых инструментов: коловорот, различных пил (ножовки, лучковых пил), лобзика. В городе работали артели из Ярославской, Костромской, Нижегородской губерний. Изготавливался рисунок по лекалам. Выпиливался он как целиком на доске, так и на отдельных небольших дощечках. Интересно отметить, что орнамент на каждом доме не повторялся, хотя можно увидеть некоторые одинаковые элементы или похожие мотивы. Целиком рисунок воспринимается сквозным, кружевным. Наряду со сквозной распространена и плоская резьба в виде звёзд, крестов, ромбов (ул. Арцыбушевская, 147; ул. Галактионовская, 153; ул. Буянова, 58) на фризе и украшениях наличников.

Самарский деревянный (каменно-деревянный) дом в самом простом виде был срубом на подклете, иногда на каменном, впоследствии конструкция усложнялась [3,4]. Основные архитектурные части и элементы зданий декорировались:

- 1) угол сруба «в обло с остатком» – пилястрой с резьбой;
- 2) торец вдоль ската крыши – резными причелинами;
- 3) нижние свесы крыши – досками-подзорами крыши;
- 4) место соединения основного сруба с чердачной постройкой (срубных и тёсовых конструкций) – узорными карнизными досками;
- 5) соединение рамы окна с проёмом сруба – наличниками;
- 6) фриз дома – фризовыми досками, рельефной, плоской или сквозной резьбой;
- 7) свес крыши – зооморфными и фитоморфными кронштейнами;
- 8) коньки (пересечения скатов крыши) – полотенцами, скульптурой (редко), иногда – распорными крестообразными элементами;
- 9) столбики въездных и входных ворот – плоской резьбой;
- 10) навесы входов и крылец – сквозной резьбой;
- 11) столбики крылец – рельефной резьбой.

Дом у древних славян был моделью мироздания. Построение внешнего убранства дома тесно связано с языческой мифологией и развитием язычества. Самая древняя ступень язычества была связана с верой в вампиров и берегинь, добрых и злых духов. Декоративная композиция дома была трёхчастной, связанной с космогонической идеей построения мира, принятой у древних славян. Славяне считали, что существует Верхний мир – Правь, Средний (Земной мир) – Явь, Нижний (Подземный мир) – Навь. Верхний мир был представлен в украшении крыши, карнизов, фриза дома и верхней части наличников (очелье, лобовые доски, серьги, верх боковых досок). Изображение Земного мира находилось в средней части дома, а также в средней части деталей дома (наличников, пилястр). Подземный мир был связан с низом дома, который обычно не украшался.

Наряду с космогонической идеей построения мира украшение дома было связано с магически-заклинательными обрядами древних славян. Изображения в домовой резьбе птиц, растений и животных должны были оберегать дом и его обитателей от несчастий, обеспечивать благополучие и достаток хозяев. Особенно большое значение придавалось наличникам – относительно молодому элементу окна (появились не раньше XVII в.). Кроме утепления и защиты от влаги щели между срубовым проёмом и рамой окна, наличники являлись оберегом от «вездесущих навий» – обитателей подземного мира. Интересно, что украсы часто приобретали сильно стилизованный характер как растительных



Рис. 1. Семантика деревянной самарской резьбы, связанная с главными божествами древних славян (фото Н. Масловой с сайта [samara.vsedomarossii.ru\alboms/](http://samara.vsedomarossii.ru/alboms/)):

- а – «хляби небесные» на причелине дома по ул. Садовой, 105;
- б – солярный знак – розетка на доме по ул. Водников, 77;
- в – солярный знак на пилястре дома по ул. Самарской, 108;
- г – громовые знаки на фризе по ул. Арцыбушевской, 147;
- д – петухи-павлины как символ восходящего солнца и его движения на очелье окна по ул. Самарской, 90;
- е – ящеры на лобовой доске окна по ул. Галактионовской, 211;
- ж – змеи-властители Подземного мира в доме по ул. Садовой, 32;
- з – кони-кронштейны, приводящие солнце, в доме по ул. Самарской, 102 а

орнаментов, так и геометрических. Многие исследователи деревянной резьбы ставят под сомнение знание древней семантики плотниками в конце XIX в. Однако в особом использовании мотивов резьбы в разных частях дома чувствуется влияние изобразительных традиций, древних верований славян и других народностей, а также влияние других видов искусств (вышивки, чеканки, росписи посуды).

Согласно исследованиям Б.А. Рыбакова [13, 14], древние верования славян были связаны с культом солнца, воды, земледелия и плодородия. Древние боги славян-язычников, повлиявшие на символику изображений, – это Род и рожаницы, богиня плодородия Макошь (Мокошь), а также Бог-громовик (аналог греческого Зевса и христианского Илии).

Самым загадочным из всех славянских божеств, по мнению Б.А. Рыбакова [14], являлся Род – божество, которому древние язычники приписывали возникновение новой жизни на земле. Для того чтобы родились дети, языческий бог должен был сбрасывать некие «груды». Одно из значений «грудие» – капли; «грудие росное» – капли росы, дождевые капли. Изображение плодородной воды можно видеть на причелинах и подзорах крыш самарских деревянных домов, а также подзорах наличников. Верхний ярус дома был связан с символами воды и неба. Небо делилось на два горизонта: верхние небеса (от конька до причелин крыши) с запасами воды, называемыми «хлябями небесными», и видимое небо с солнцем и тучами (от фронтона до наличников окна). Верхние «хляби небесные» изображались под крышей и карнизом в два-три ряда резных досок-причелин как чередование полукругов и треугольников с круглыми прорезями (рис.1, а). Дождь на фронтоне одного из самарских домов изображался в виде накладных, смещающихся по высоте длинных реек со стрелами, окаймленными сверху волнистыми «тучами» с дырочками (ул. Бр. Коростелевых, 41); на другом – струящийся дождь на фризе (ул. Галактионовская, 241) в виде волнистых дощечек, символизирующих дождь – этнографических просительниц дождя; на ул. Самарской, 145 – в виде длинных прорезей-щелей. Нижний горизонт верхнего яруса неба назывался твердью небесной. Это было видимое небо, отделяющее Верхний и Земной мир. Твердь символизировали карнизные резные доски и своды наличников.

Божество Род в сознании язычников был тесно связан с солнцем и светом. Поэтому часто в верхней и средней части стены дома, наличников, пилястр появляются солярные знаки – круги или круги с лучами – так изображалось солнце в зените. Красивые розетки самарских «деревянных солнц» можно видеть на ул. Галактионовской, 221, ул. Водников, 77 (рис.1, б). На «солнцах» разное количество лучей. Например, на ул. Водников их 25 – столько дней разделяет два сельскохозяйственных срока – день Ивана Купалы (начало цветения яровых) и праздник Перуна (Рода), будущий Ильин день (начало жатвы). Та-

ким образом, «деревянное солнце» являлось своеобразным календарём. Есть солнечные круги и на пилястрах домов по ул. Галактионовской, 211, Агибалова, 44, Самарской, 108. (рис.1, в). Восходящее солнце изображалось в виде полукругов-ушек на очелье наличника (ул. Галактионовская, 153). Круг на фронтоне совместно с ними символизировал движение солнца. Часто во фризе дома изображался громовой знак Бога-громовика в виде шестиугольной звезды, например, на ул. Куйбышева, 141, Арцыбушевской, 147 (рис.1, г), колеса со спицами или круга с шестью лепестками. Они должны были уберечь дом от попадания молнии.

Верхний мир представляли утренние птицы или животные, по славянским верованиям, связанные с солнцем. В Самаре встречается симметричное изображение двухголовых петушков-павлинов на очелье наличников окон по ул. Самарской, 90 (рис.1, д). Парность живых существ отвечала двум видам пожеланий: «во все стороны», «со всех сторон». Кроме этого, по историку Б.А. Рыбакову, исследовавшему древние вышивки и мифологию, двухголовое слияние животных означало выражение идеи движения солнца [13]. В домах на ул. Ленинской, 332 и Галактионовской, 211 (рис.1, е) в верхней части очелья изображены симметричные змеи (ящеры, драконы). Хотя языческие герои относятся к подземно-подводному миру, именно ящер, заглатывающий и изрыгающий солнце, является воплощением той же идеи непрерывной динамики солнца. Изображения ящеров есть и под фартуками наличников на ул. Самарской, 182. Изучая другой вид искусства Древней Руси, Б.А. Рыбаков пришёл к выводу, что «композиция с двумя ящерами по сторонам доживёт до XIX в. и отразится в орнаментике оконных наличников Верхнего Поволжья» [18]. Оттуда мотив и попал на самарскую почву. Почитали славяне ужей и змей. Последним были посвящены два праздника в году. Изящных змей можно увидеть под фартуком окна и внизу боковых наличников на доме по ул. Садовой, 32 (рис.1, ж).

Связанными с восходом солнца были кони, гуси, лебеди. Художественно-стилизованное изображение коней можно встретить в самарских подкарнизных кронштейнах на ул. Арцыбушевской, 67 (рис.1, з). Красивыми кронштейнами в виде лебедей украшен дом на ул. Самарской, 56. Есть «выгибасы» кронштейнов в виде бараньих рогов на ул. Ульяновской, 65. Некоторые историки считают их влиянием традиций мастеров Прикамья и Приуралья.

Богатые купцы, обосновавшиеся в Самаре, своим делом и происхождением ещё были тесно связаны с деревней. Поэтому символика украсов домов, связанная с культом земледелия, была им близка. Земной мир по канонам язычества был связан с засеянными полями и растениями-«кринями». Стилизацию распаханного поля можно наблюдать в средней части дома и его наличниках. Встречается идео-



Рис. 2. Растительные мотивы и загадочные рожаницы на самарских окнах  
(фото Н. Масловой с сайта [samara.vsedomarossii.ru\alboms](http://samara.vsedomarossii.ru/alboms)):

- а – изображение семян, летящих по воздуху на подзоре окна по ул. Галактионовской, 243;
- б – прорастающие семена на подзоре окна по ул. Самарской, 177;
- в – распускающаяся лилия на очелье окна по ул. Самарской, 159;
- г – мальтийский цветок как символ добра «на все четыре стороны» на ул. Самарской, 102 а;
- д – антропоморфная рожаница на очелье окна по ул. Самарской, 109;
- е – стилизованные берегини на подзорах окон на ул. Арцыбушевской, 67;
- ж – рожаница в виде стилизованной лягушки на подзоре окна дома по ул. Самарской, 106;
- з – двоянные рожаницы на детали декора окна по ул. Некрасовской, 59

грамма поля как геометрический узор в виде ромба, квадрата, городков и косога креста, например, на ул. Галактионовской, 153.

Растительно-аграрная символика широко представлена всеми фазами развития стилизованного растения, описанного Б.А. Рыбаковым в результате изучения древних рясен (лент от кокошника) XI – XIII вв. [14]. В самарской архитектурной резьбе встречаются «посеянные» семена в виде ромбов с прорезанными кружочками внутри (ул. Ульяновская, 28); семена сложной овально-заострённой формы, летящие по воздуху (ул. Галактионовская, 243); прорастающие семена – сквозные сердцевидные вырезы остриём вверх и вниз на подзорах крыш (ул. Самарская, 177) (рис.2, а, б). Распускающиеся «крини» лилий можно видеть на подзорах окон по ул. Галактионовской, 221 и на лобовых досках очелья наличников на ул. Самарской, 109 (рис.2, в). На очельях окна дома на ул. Самарской, 102 а увидим и другой древний образ: мальтийский цветок со смягчёнными углами. Четырёхчастная композиция цветка у славян, по Б.А. Рыбакову, символизировала распространение добра «на все четыре стороны» [14] (рис. 2, г). «Древо жизни» часто изображалось на боковых наличниках.

С темой земледелия и плодovitости были связаны резьба стилизованных изображений сельскохозяйственных животных: рогов быков в виде V-образного знака и коровьего вымени на подзорах наличников на ул. Галактионовской, 243.

Другими загадочными богинями, которым поклонялись древние славяне, были рожаницы или берегини, олицетворяющие плодородие и благополучие, предшественницы древней Макоши, по некоторым верованиям, матери и дочери, Лады и Лели. Иногда рожаницы являлись в антропоморфном образе, как на диадеме окна по ул. Самарской, 109 (рис. 2, д).

Но гораздо чаще, согласно традициям, образ рожаящей женщины был сильно стилизован. Часто образам рожаниц сопутствовали растительные мотивы, например, ёлочки, как на фризе по ул. Арцыбушевской, 67 (рис. 2, е). Руки и ноги берегинь превратились в затейливый орнамент на очелье окна по ул. Самарской, 109 и подзоре наличников по ул. Галактионовской, 221. Рожаниц представляли и в образе распластанной лягушки, что можно увидеть на подзорах окон на ул. Самарской, 106 (рис. 2, ж). Нередко изображение принимало симметрично сдвоенную форму, например, в узоре над окном по ул. Некрасовской, 59 (рис. 2, з). Встречаются изображения рожаниц в виде стилизованного дерева на боковых наличниках окон по ул. Самарской, 238.

Кульг язычества просуществовал до середины XIX в., затем значение древних символов стали забывать. Но оставалась традиция изображения, воплощённая в домовой резьбе, которая связывала и продолжает связывать потомков со своими предками.

Таким образом, рассмотрение семантики домовой самарской резьбы позволяет сделать следующие **выводы**.

1. Семантика домовой резьбы Самары уходит глубокими корнями в языческое прошлое. Об этом говорит схожесть символов декоративных украшений домовой резьбы с традициями изображений в других видах искусств XI-XIII вв. Древней Руси, а также более древнего времени энеолита, мезолита и палеолита.

2. Изучение древней мифологии позволяет «прочитать» послания зодчих, оставленные в самарской деревянной архитектуре.

3. Мотивы орнаментики и используемых образов позволяют установить разнообразие географические ареалы влияния на деревянную архитектуру и домовую резьбу Самары. Это влияние мифов русского Севера, нашедшее воплощение в образах рожаниц; влияние финно-угорских верований в образах ящеров; влияние языческих верований Киевской Руси и древнего Новгорода в образах божества Рода и рожаниц.

4. Несмотря на сильное влияние традиций Верхнего Поволжья и выполнение домовой резьбы артелями из этих губерний, декоративные украшения домов Самары имеют свои особенности, отличаются от других поволжских городов по излюбленным мотивам и сюжетам. Образы отличаются высоким уровнем разнообразия и стилизации, практически отсутствием изображений «натуральных» коней и птиц; наличием эзотерических и «благородных» (ящеры, драконы, орлы и ласточки) птиц и животных.

5. Преобладающим видом самарской резьбы является пропильная резьба, распространение которой соответствует времени постройки деревянных зданий. Практически не сохранилась скульптурная резьба. В меньшей степени отдельно представлена глухая, рельефная резьба, обычно она сочетается с пропильной резьбой, присутствует в украшении дверных полотен, ограждений лестниц.

6. Предпочтение заказчиков строительства деревянных и каменно-деревянных зданий отдавалось «русскому» направлению, практически отсутствует классическая, барочная стилистика, характерная для других городов. Простые плоские, декоративные фахверковые конструкции на фасадах говорят о влиянии на деревянное самарское зодчество стиля модерн и эклектики.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гурьянов Е.Ф. Самарские узоры. Домовая резьба Самарского Поволжья. Куйбышев: Куйбышевское книжное издательство, 1982. 88 с.
2. Каркарьян В.Г. Деревянное зодчество Самары, или Осень патриархов. Самара: Издательский дом «Агни», 2002. 152 с.

3. *Сысоева Е.А.* Особенности деревянной архитектуры Самары конца XIX – начала XX веков: дис. ... к. арх. / ННГАСУ. Н. Новгород, 2009. 162 с.
4. *Чёрная Ю.Д.* Каменно-деревянная архитектура Самары конца XIX – начала XX веков: дис. ... к. арх. / ННГАСУ. Н. Новгород, 2011. 192 с.
5. *Котенко И.А., Харитоновна А.С.* Тайна старого самарского дома // Градостроительство и архитектура, 2015. №2(19). С.34–40. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.02.6.
6. *Котенко И.А., Харитоновна А.С.* Каменно-деревянные шатровые здания Самары // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкого, Е.А. Ахмедовой; СГАСУ. Самара, 2015. С. 283–285.
7. *Котенко И.А., Харитоновна А.С., Сержантова А.В.* Шатровая архитектура Самары // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Градостроительство / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкого, Е.А. Ахмедовой; СГАСУ. Самара, 2016. С. 281–285.
8. *Ребайн Т.Я.* Градостроительные теории начала века / КуИСИ. Куйбышев, 1981. 52 с.
9. *Ильина И.А.* Пространственная локализация функции управления на территории Самары в XVIII–XIX вв. // Город в меняющемся мире: межвузовский сборник научных трудов / СамАСИ. Самара, 1992. С.23–31.
10. *Самогоров В.А., Сысоева В.А., Черная Ю.Д.* Деревянная и каменно-деревянная архитектура Самары конца XIX – начала XX века / СГАСУ. Самара, 2011. 400 с.
11. Самарская домовая резьба. Блог самарских краеведов (kraeved-samara.ru/archives, дата обращения: 25.08.2016).
12. Резьба по дереву (ru.m.wikipedia.org) (дата обращения: 25.08.2016).
13. *Рыбаков Б.А.* Язычество древних славян / АН СССР. Отд. истории. Ин-т археологии. М.: Наука, 1981. 607 с.
14. *Рыбаков Б.А.* Язычество Древней Руси / АН СССР. Отд. истории. Ин-т археологии. М.: Наука, 1988. 782 с.

Об авторах:

**КОТЕНКО Ирина Александровна**

кандидат архитектуры, доцент кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: urban64@inbox.ru

**ХАРИТОНОВА Анастасия Сергеевна**

магистрант архитектурного факультета, кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

**KOTENKO Irina A.**

PhD in Architecture, Associate Professor of the Reconstruction and Restoration of Architectural Heritage Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: urban64@inbox.ru

**KHARITONOVA Anastasia S.**

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

Для цитирования: *Котенко И.А., Харитоновна А.С.* Семантика домовая резьбы Самары // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.102-108. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.18.  
For citation: *Kotenko I.A., Kharitonova A.S.* Semantics of the house carving of Samara // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 102-108. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.18.

# ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ



УДК 72.01(470.43)

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.19

Н.А. КОСЕНКОВА  
А.А. СЕРОВА

## ФОРМИРОВАНИЕ ИДЕНТИЧНОСТИ ОБЩЕСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИМЕРЕ САМАРЫ

FORMING THE IDENTITY OF PUBLIC OBJECTS  
ON THE EXAMPLE OF SAMARA

*Цель статьи – выявление влияния системы приоритетных идентификаторов на архитектуру общественных объектов Самары по историческим этапам, начиная с момента основания города (1586 г.) и до настоящего времени. На примере некоторых объектов наследия показано различие архитектурно-исторической среды и её уникальность. Сделан вывод о том, что сохранение идентичности места – это важнейший принцип устойчивого развития архитектурно-исторической среды, так как историко-культурное наследие должно быть перенесено и в будущее. В результате были определены образ самарской жилой застройки на всем пути её развития, характерные типы, стили, воздействия внешнего и внутреннего этноса, а также производительные силы, являющиеся основой развития города на каждом историческом периоде.*

**Ключевые слова:** городская идентичность, образ города, общественные объекты, этнос, историческое развитие города

*The purpose of the article is to identify the influence of the system of priority identifiers on the architecture of public objects in Samara in the historical stages, from the time of the foundation of the city (1586) to the present time. On the example of some heritage objects the difference between the architectural and historical environment and its uniqueness is shown. The conclusion is made that the preservation of the identity of the place is the most important principle of sustainable development of the architectural and historical environment, since the historical and cultural heritage must be transferred to the future. As a result, the image of the Samara residential development along the whole path of its development was determined, the types, styles, impacts of the external and internal ethnos, as well as the productive forces that are the basis for the development of the city in each historical period.*

**Keywords:** urban identity, city image, public objects, ethnos, historical development of the city

Историческое наследие, даже если оно не всегда уникально, раскрывает идентичность собственно того «места», где оно появилось [1]. Понятие идентичности представляет собой совокупность образов, возникающих в нашем сознании в отношении тех или иных регионов, городов, кварталов.

Идентичность архитектурно-исторической среды на разных территориальных уровнях можно выразить следующей системой идентификаторов [2]: архитектурно-исторический, этнографический, ментальный.

**Архитектурно-исторический идентификатор** определяется узнаваемостью и своеобразием за-

стройки городов, её морфологией, плотностью и репрезентативностью [3]. В первую очередь рассматриваемый идентификатор выражается в архитектурных школах соответствующих исторических периодов. Как правило, это типовые и образцовые проекты. Согласно топографическому методу К. Линча, знаковые объекты относятся к точечным ориентирам, в которые житель не вступает. Но при этом именно за счет них формируется определенный образ города в сознании каждого горожанина [4].

**Этнографический идентификатор** выражает многонациональность города. Человек определяет себя через принадлежность к конкретному этносу,

что имеет отношение к психологии восприятия и влияет на ментальные представления о среде.

Например, деревянная жилая архитектура, не представляющая объекты культурного наследия, несет черты русской, малоросской, татарской, мордовской, чувашской, немецкой культур, соседствовавших между собой [3].

Этнографическое наследие многонационального региона можно подразделить на внутреннее, связанное с теми этносами, формирование которых происходило на территории России, и внешнее, появление которого стало благодаря зарубежным переселенцам (колонии менонитов и данцигских немцев, англичан, поляков, болгарского народа) и предпринимателям. Архитектура этих объектов несет характерные черты родины их владельцев.

**Ментальный идентификатор** обусловлен, прежде всего, купеческим менталитетом, сформированным в регионе к XIX в. В это время купеческая гильдия является основой организации населения, занятого в торговле [3]. В.Г. Каркаръян пишет: «Самара была "богата богатыми людьми" – купцами».

Градостроительное развитие города происходило в несколько этапов. Первый этап (с момента основания по 1705 г.) связан с наличием деревянной военно-сторожевой крепости. Второй этап, относящийся к XVIII в., отмечен возведением земляной крепости и дорегулярной слободской застройкой. На третьем этапе (конец XVIII–первая половина XIX в.) Самара развивается как уездный город на регулярной основе. Четвертый этап приходится на вторую половину XIX–начало XX в. и связан с расцветом Самары как губернского города, столицы Самарской губернии, а также крупного торгового и экономического центра. Пятый этап (20-30-е гг. XX в.) – период развития конструктивизма в архитектуре и градостроительстве. Шестой этап охватывает довоенную и послевоенную «сталинскую» архитектуру и характеризуется сменой эстетических установок, отразившихся в городской архитектуре [5]. В данный момент времени Самара находится на современном этапе развития, который начинается с 1951 г. В агломерационной связке с Самарой сложился крупный город Тольятти. Начиная с 1960-х гг. и вплоть до настоящего времени в городе и его пригородах ведется экстенсивное освоение зеленых зон, сельскохозяйственных и дачных территорий под многоэтажное жилое строительство, что сказывается на протяженности инфраструктуры и транспортных коммуникаций. Одновременно с этим исторический центр находится в состоянии упадка, даже несмотря на свои уникальные средовые и архитектурные качества.

Каждый из рассмотренных периодов развития оставил богатое культурное наследие. Характерные исторические особенности в структуре города можно выявить при более детальном анализе каждого из этапов в сопоставлении с системой идентификаторов.

### **Первый этап исторического развития – «Древняя Самара» (1586-1705 гг.)**

Дата основания города – 1586 г., когда по приказу царя Федора Иоанновича и под руководством князя Г.О. Засекина на стрелке рек Волги и Самары началось строительство крепости, расположившейся в стороне от разрушенного городка-пристани Samar. Основное назначение первой крепости состояло в обеспечении защиты Руси от набегов кочевых народов и формировании водного пути от Казани до Астрахани. В 1588 г. крепость была переименована в город, в котором преобладала не только военно-оборонительная функция, но и торговая. Через Самару проходил среднеазиатский торговый путь, связывавший яицкие степи со столицей государства [6]. В конце XVII в. городское поселение состояло из крепости, посада, нескольких монастырей и слобод (Рыбной, Болдырской и Вознесенской). В крепости находились церковь, приказная изба, дом городничего, уездное казначейство, присутственные места, тюрьма, военные и продовольственные склады. Рыночная площадь с торговыми лавками располагалась в остроге. Застройка Самары этого периода носила хаотичный характер. В дальнейшем первая деревянная крепость была полностью уничтожена в процессе крупного пожара.

### **Второй этап исторического развития – «Дорегулярная Самара» (1706-1780 гг.)**

После пожара 1703 г. к северо-востоку от сгоревшего кремля была построена земляная крепость, ставшая основным узлом обороны. В 1736-1744 гг. в Самаре был размещен штаб Оренбургской экспедиции под руководством государственного деятеля и историка В.Н. Татищева. Цель экспедиции состояла в освоении территорий Заволжья и Южного Урала земледельческого, промышленного и военного характера, а также в развитии торговых и политических контактов с народами Средней Азии и Казахстана [6]. В.Н. Татищев начал строительство большого гостиного двора и четырех амбаров для хранения товаров. Вследствие утраты военной функции города и перевода Оренбургской экспедиции в г. Оренбург, в конце 30-х гг. XVIII в. наступает период спада городской жизни. С присвоением статуса города и утверждением в составе Симбирского наместничества, в 1781 г. в Самаре вновь были открыты «присутственные места» – государственные учреждения: нижний земский суд, городническое правление, уездное казначейство, уездный суд и дворянская опека [5]. В этот период времени еще не было необходимости в строительстве крупных общественных зданий, поэтому большинство купеческих домов были адаптированы для общественных функций. В основном в них размещались торговые и ремесленные лавки.

### **Третий этап исторического развития – «Уездная (регулярная) Самара» (1781-1850 гг.)**

В начале этого этапа развития Самаре был возвращен статус города в составе Симбирского наместничества, что послужило основанием для разработки первого регулярного плана города в 1782 г. Согласно новому плану было предложено расширение границ города с привнесением жесткой сетки улиц, образующей прямоугольные кварталы размером 250x125 (150) м. Каждый квартал состоял из домовладений (дворов). Данный генеральный план претерпевал значительные изменения еще в 1804 и 1840 гг. Добавлялись кварталы с северо-восточной стороны города.

Рост и развитие городской торговли и экономики повлекли за собой развитие новых общественных функций [5]. В «Уездной Самаре» появляются крупные и значимые общественные объекты: городническое правление, магистрат, казначейство, дворянская опека, уездный, земский и сиротские суды, коммерческий банк, первые образовательные учреждения, а также целый ряд торговых помещений и лавок (рис. 1). Открытие образовательных учреждений способствовало увеличению культурного уровня в городе.

На протяжении XVIII–XIX вв. деревянная застройка Самары неоднократно уничтожалась опустошительными пожарами, поэтому на данном историческом этапе общественные здания начинают строить каменными.

#### **Четвертый этап исторического развития – «Губернская (регулярная) Самара» (1851-1917 гг.)**

Исторический этап «Губернской Самары» является самым ярким и многоплановым. В середине XIX в. в городе преобладала торговля пшеницей, мукой, продуктами животноводства и леса. Развитие железной дороги способствовало значительному увеличению темпов торговли. Исходя из этого Самара превращается в крупный торговый центр и носит название «Русский Чикаго». Большие объемы торговли в городе повлекли за собой достаточно масштабный прирост населения.

«Русский Чикаго» привлекал внимание не только столичных, но и иностранных купцов. Внешний этнографический идентификатор оказал большое влияние на формирование архитектуры общественных объектов. В них отражаются черты немецкой, финской, датской и английской архитектуры.

Облик Самары второй половины XIX – начала XX в. во многом определили постройки таких ведущих архитекторов, как А.А. Щербачева, З.Б. Клейнермана, В.В. Тепфера, Т.С. Хилинского, А.И. фон Гогена, Э.И. Жиберы, Д.Н. Чичагова, Ф.О. Богдановича, В.А. Шретера, Ф.И. Лидваля, К.П. Головкина, В.П. Петрова, С.В. Смирнова, В.И. Якунина, П.И. Балинского и др. В Самаре в начале XX в. возводятся здания по проектам мастеров модерна Ф.О. Шехтеля, А.У. Зеленко, Д.А. Вернера, М.И. Квятковского, Ф.П. Засухина, Г.Н. Мошкова, П.В. Шаманского [7].

В губернской Самаре было реализовано большое количество зданий общественного назначения.

Во второй половине XIX в. строятся и реконструируются крупные общественные административные здания Городской управы (арх. Ф.А. Черноморченко), Дом губернатора (арх. В.А. Шретер, Де-Рошфор), Окружного суда (Н.Ф. Теплов), Дом полицейского управления и пожарной части. Развитие общественно-культурной жизни в Самаре дало стимул к появлению новых для города типов зданий. В начале XX в. строятся многочисленные банки: Общества взаимного кредита (арх. З.Б. Клейнерман), здание Крестьянского и Дворянского банков (арх. А.И. Фон-Гоген), торгово-промышленного банка (арх. А.А. Щербачев).

Среди торговых зданий можно назвать Новотроицкий торговый корпус (арх. Д.А. Вернер), а также здания торговых домов и торговых лавок. В начале XX в. строятся и реконструируются здания гостиниц. Пятиэтажная гостиница «Метрополь» (Националь) – одно из самых высоких зданий дореволюционной Самары.

Большое значение для культурной жизни города имело строительство в 1887-1895 гг. здания городского драматического театра (арх. Д.Н. Чичагов). В начале XX столетия в Самаре появилось несколько клубных зданий: коммерческий клуб, первые кинотеатры. Наиболее интересным в архитектурном отношении является здание кинотеатра «Фурор» (арх. Г.И. Котов) – образец стиля модерн в архитектуре Самары (рис. 2).

Во второй половине XIX – начале XX столетия в городе строятся многочисленные учебные здания: реального училища, женской и мужской гимназий, духовного училища и епархиальной женской гимназии [9]. Характерным для второй половины XIX – начала XX в. было строительство лечебных учреждений. В этот период реализуются: больница общества Красного Креста (арх. Т.С. Хилинский), первая в мире кумысолечебница, основанная Н.В. Постниковым.

Архитектура общественных объектов исторического этапа «Губернская Самара» относится к таким стилям, как классицизм, русский стиль, модерн, мавританский стиль, неоренессанс, неоготика, неоклассицизм, эклектика.

#### **Пятый этап исторического развития – «Самара эпохи конструктивизма» (1917-1930 гг.)**

20-30-е гг. XX в. – один из наиболее значимых этапов в становлении архитектуры, на протяжении которого произошло развитие конструктивизма. Этот период является исключительным в истории русской культуры, поскольку в указанное время отечественное искусство и архитектура были признаны во всем мире. В Самаре имеется многочисленное и уникальное наследие данного этапа. В исторической части города в период 1917-1930 гг. возводится более 50 отдельных зданий [10]. В эпоху конструктивизма в Самаре работают архитекторы: П.А. Щербачев, В.К. Сухов, Е.Н. Максимова, Л.А. Волков, Н.Г. Тели-

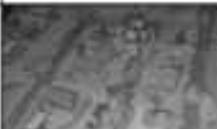
	«ДРЕВНЯЯ САМАРА» (1586-1705 гг.)	«ДОРЕГУЛЯРНАЯ САМАРА» (1706-1780 гг.)	«УЕЗДНАЯ (РЕГУЛЯРНАЯ) САМАРА» (1781-1850 гг.)
АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ ИДЕНТИФИКАТОР	 <p>Деревянная военно-сторожковая крепость, 1586 г.</p>	 <p>Земляная (Петровская) крепость, 1706 г.</p>	 <p>Пожарная часть (бывшая), начало XIX в.</p>  <p>Здание городской Думы и Управы, 1840-е гг.</p>  <p>Самарское реальное училище, 1840-1850 гг.</p>
ЭТНОГРАФИЧЕСКИЙ ИДЕНТИФИКАТОР	 <p>Торговая Фундукия - первые лавки ремесленников и купцов</p>	 <p>Торговые и ремесленные лавки в дорегулярных слободах</p>	 <p>Здание первого Общества взаимного кредита, 1840-е гг.</p>  <p>Азовско-Донской Коммерческий Банк, 1848 г.</p>  <p>Полиатрическая больница, 1850 г.</p>
МЕНТАЛЬНЫЙ ИДЕНТИФИКАТОР	 <p>Военно-оборонительная функция - дозорные башни</p>	 <p>Первый каменный дом при Спасо-Преображенской церкви, начало XVIII в.</p>	 <p>Редакция газеты «Самарские ведомости», 1830-1850 гг.</p>  <p>Дом с. торг. помещицкого купца Головинских, 1839 г.</p>  <p>Дом торгово-промышленного семейства, 1850 г.</p>

Рис.1. Формирование идентичности общественных объектов в период с 1586 по 1850 гг.

цын, А.И. Полев, Н.В. Гофман-Пылаев, Д.Н. Чечулин, А.Л. Каневский, А.И. Ушаков, Н.А. Троицкий, Н.Д. Каценеленбоген.

Главные отличительные особенности общественных объектов рассматриваемого исторического периода заключаются в следующем:

- 1) лаконичность форм;
- 2) монолитность внешнего облика;
- 3) наличие крупных объемов;
- 4) характер остекления проемов и их очертания, вытекающие из организации внутреннего пространства;
- 5) отражение внутреннего содержания на фасаде здания;
- 6) функциональное назначение – конструктивная основа здания.

Иные функциональные потребности повлекли за собой образование новой архитектурной типологии: фабрика-кухня, дома культуры, объекты управления новой власти, крупные комплексы, совмещавшие в себе жилые и общественные функции. В этот период исторического развития в Самаре строятся знаковые монументальные комплексы (рис. 2): Дом промышленности (арх. В.К. Сухов), Клуб имени В.Э. Дзержинского с жилым домом комсостава ОГПУ (арх. Л.А. Волков, Н. Г. Телицын), Дом специалистов и Телеграф (арх. А.И. Полев), Клуб Красной Армии имени К.Е. Ворошилова (Штаб ПриВО) и Дом социалистического сельского хозяйства (арх. П.А. Щербачев). Наличие таких объектов в городе выдвинуло Самару центром регионального конструктивизма. Под воздействием появления большого количества общественных зданий различного функционального назначения Самара превратилась не только в экономический, но и в культурный центр.

Пятый этап «Самара эпохи конструктивизма» оставил уникальный пласт архитектурно-исторического наследия. На данный момент времени объекты культурного наследия сохранились лишь в ряде кварталов. Однако самарский конструктивизм не уступает лучшим российским аналогам. Для большинства архитекторов конструктивизм стал предвзвешенной, более простой формой реализации архитектурного объекта и его совершенствования к более сложной архитектуре на следующих исторических этапах.

#### **Шестой этап исторического развития – «Самара сталинской эпохи» (1930-1950 гг.)**

Именно в годы Великой Отечественной войны город получил высокое политическое и стратегическое значение. В период с 1935 по 1990 гг. Самара носила имя Куйбышева. 15 октября 1941 г. город Куйбышев стал запасной столицей, вследствие чего произошла массовая эвакуация правительственных органов, военных управлений, труппы большого театра, знаменитых деятелей культуры, ряда крупнейших заводов. Это дало мощный толчок для дальнейшего развития города.

В 1935 г. кардинально изменилась обстановка в архитектуре СССР. Произшедшие перемены послужили вектором становления архитектуры и градостроительства в запасной столице. В первую очередь, согласно Постановлению ВЦИК и СНК РСФСР «Об устройстве населенных мест РСФСР» от 01.01.1932 г., изменения затрагивали архитектурно-художественный аспект. Теперь повышенные требования предъявлялись, в частности, к архитектурно-художественному оформлению комплексов кварталов, улиц и площадей, а не к архитектурному образу отдельных зданий, как это было ранее.

Для строительства социалистического города архитектурная классика как нельзя лучше являлась исключительным методом регулирования идеологических задач. Город превратился в целостный архитектурно-художественный организм. Теперь его облик состоял из сочетания композиционных узлов (архитектурных ансамблей и площадей) и композиционных осей (бульваров и магистралей). Архитектурно-градостроительная система композиционных осей являлась основой образования единой городской среды [11].

В архитектуре общественных объектов достаточно четко отражен архитектурный код, служащий для воплощения социалистического Куйбышева.

В этот период основным направлением в архитектурной стилистике стала советская классика. Дореволюционные здания, созданные в стиле самарской эклектики, имели следующие варианты дальнейшего развития: они либо сносились, либо преобразовывались согласно установленному архитектурному образу.

С конца 1920-х гг. в городе было недостаточно площадей для строительства общественных зданий. Решение сложившейся проблемы заключалось в надстройке существующих капитальных зданий конца XIX – начала XX в. В довоенное время этажность зданий увеличилась от двух до четырех этажей.

Большинство эскизных предложений исторического этапа «Самара сталинской эпохи» не было воплощено в жизнь и получило название «Бумажная архитектура». Но при этом все нереализованные идеи дали представление целой картины грядущих градостроительных перемен и способствовали разработке проектов отдельных общественных зданий.

Предложения куйбышевских архитекторов 1930-х гг. были выполнены в соответствии с общей концепцией организации города. Но при этом архитектурные объекты имели отличительную особенность, состоящую в том, что в них все-таки отражались главные черты самарской архитектуры.

В исторический период «Самара сталинской эпохи» в г. Куйбышеве работают архитекторы: П.А. Щербачев, А.Л. Каневский, Л.А. Волков, Д.М. Малахов, А.С. Фисенко, С.А. Трошин, И.Г. Салоникиди, И.Л. Шафран, Н.В. Подовинников, М.Г. Мошкова, В.А. Ларионов и другие.

	«ГУБЕРНСКАЯ (РЕГУЛЯРНАЯ) САМАРА» (1851-1917 гг.)	«САМАРА ЭПОХИ КОНСТРУКТИ- ВИЗМА» (1917-1930 гг.)	«САМАРА СТАЛИНСКОЙ ЭПОХИ» (1930-1950 гг.)	«СОВРЕМЕННАЯ САМАРА» (с 1951 г. до наст. времени)
<b>АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИЙ ИДЕНТИФИКАТОР</b>				
<b>ЭТНОГРАФИЧЕСКИЙ ИДЕНТИФИКАТОР</b>				
<b>МЕНТАЛЬНЫЙ ИДЕНТИФИКАТОР</b>				

Рис.2. Формирование идентичности общественных объектов в период с 1851 г. до настоящего времени

В самарской архитектуре 30-50-х гг. XX в. можно выделить следующие знаковые объекты (см. рис. 2):

1. Театры: академический театр оперы и балета (арх. Н.А. Троцкий, Н.Д. Каценеленбоген), театр кукол.

2. Дом культуры имени С.М. Кирова (арх. А.В. Тарасов), дом культуры «Мир».

3. Здание управления Средневолжского речного пароходства (арх. А.И. Полев, А.И. Ушаков).

4. Здание промышленного банка (арх. С.А. Трошин).

5. Входная группа стадиона «Динамо» (арх. И.Г. Салоникиди).

6. Проектный институт «Гипровостокнефть» (арх. Н.А. Троцкий, И.Г. Салоникиди).

7. Городская клиническая больница №2 имени Н.А. Семашко.

Дворец культуры имени В.В. Куйбышева (современный театр оперы и балета) построен по конкурсному проекту ленинградских архитекторов Н.А. Троцкого и Н.Д. Каценеленбогена в 1934 г. на месте взорванного Кафедрального собора.

На конкурсе, проведенном Управлением по делам архитектуры при Совете Министров РСФСР, застройка военных лет г. Самары была удостоена премии.

Послевоенное развитие города сделало Самару крупнейшим промышленным, культурным, а также научным центром России.

Шестой этап исторического развития оставил довольно значительный слой наследия. Объекты культурного наследия расположены как на территории центральной исторической планировочной зоны, так и за ее пределами. Архитектура данного периода характеризуется совокупностью застройки и возвратом определения «ансамбль» в архитектуру. Для творческих приемов, отражающих социалистический строй, характерно использование следующих элементов архитектурной классики: пилястр, парапетов и балюстрад, рустованных поверхностей, горизонтальных тяг, барельефов на советскую тематику, обрамления оконных и дверных проемов наличниками.

**Седьмой этап исторического развития – «Современная Самара» (с 1951 г. до настоящего времени)**

На сегодняшний день город Самара – крупнейший промышленный и культурный центр Поволжья, а также центр Самарской области. В начале 1991 г. городу было возвращено историческое имя Самара.

В самарской архитектуре 1951-1990 гг. преобладало типовое строительство, распространенное по всей стране. Но даже несмотря на это советские архитекторы находили пути и способы для самовыражения посредством уникальных и знаковых объектов. Зачастую это происходило под видом строительства общественных зданий иной функции. В Самаре примером этому могут послужить дворец

культуры «Звезда» (арх. Ю.В. Храмов), появившийся в процессе реконструкции старого объекта, а также дворец бракосочетаний «Теремок» (арх. В.Г. Каркарьян), официально заявленный в проектной документации как комбинат бытового обслуживания в комплексе с существующим свадебным магазином (см. рис. 2). Подобные меры были приняты во избежание долгих специальных согласований в столице, которые в большинстве случаев моментально отклоняли проекты, не соответствующие жилой функции.

В начале XXI в. строительная отрасль начинает активно развиваться. Среди общественных функций преобладающими становятся торговая и офисная. Впоследствии наблюдается динамичный рост количества многофункциональных зданий, среди которых торгово-офисный центр «Вертикаль» (арх. бюро Studio Bartoli) и торгово-развлекательный комплекс «Амбар» (арх. бюро ESP).

Мировые тенденции зарубежного высотного строительства оказали влияние на формирование самарской архитектуры современных общественных объектов. Исходя из системы идентификаторов, высотное строительство – проявление внешнего этнографического идентификатора. На данном этапе развития можно выделить следующие высотные объекты общественного назначения:

1. Офисное здание «Самаранефтегаз» (арх. А.Г. Головин).

2. Торгово-офисный центр «Вертикаль» (арх. бюро Studio Bartoli).

3. Бизнес-центр «Капитал» (арх. бюро Studio Bartoli).

Главные характерные черты выделенных общественных объектов состоят в применении объемных площадей остекления и новейших материалов, а также неординарности принятых планировочных решений.

Существенный недостаток высотного строительства заключается в том, что такие общественные объекты носят характер точечной застройки. В большинстве случаев подобные здания не имеют принадлежности к определенному стилистическому направлению и являются дисгармонизирующими объектами в сложившейся архитектурно-исторической среде.

На современном этапе развития города Самары четко выраженной основной проблемой является отсутствие общей стратегии развития городской застройки.

**Выводы.** Проанализировав общественные объекты г. Самары по историческим этапам в соответствии с системой идентификаторов, можно наглядно проследить формирование образа общественной застройки с момента основания и до настоящего времени. Последовательно анализируя объекты в контексте одного исторического этапа, видно, как развивалась архитектурно-историческая среда под воздействием внешних и внутренних факторов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Вавилонская Т.В.* Стратегия обновления архитектурно-исторической среды: монография / СГАСУ. Самара, 2008. 368 с.
2. *Косенкова Н.А., Серова А.А.* Теоретические аспекты городской идентичности // Материалы V Международной научно-практической конференции «Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация». Казань: КГАСУ, 2017. С. 162–167.
3. *Вавилонская Т.В., Косенкова Н.А.* Городская идентичность архитектурно-исторической среды Самарского Поволжья // Материалы III Международной научно-практической конференции «Культурное наследие в XXI веке: сохранение, использование, популяризация». Казань: КазГАСУ, 2016. С. 49–55.
4. *Косенкова Н.А., Серова А.А.* К вопросу об исследовании городской идентичности // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сб. ст. 74-й Международной научно-технической конференции. Градостроительство. Самара: АСИ СамГТУ, 2017. С. 226–229.
5. *Каркарьян В.Г.* Река Волга – город Самара: Путешествие сквозь века. Самара: Агни, 2011. 304 с.
6. *Синельник А.К.* Градостроительная история Самарского края / СГАСА. Самара, 2000. 192 с.
7. *Каркарьян В.Г.* По улицам старой Самары. Куйбышев: Кн. изд-во, 1988. 80 с.
8. *Самогоров В.А., Иванов М.О.* Архитектура Александра и Петра Щербачевых в Самаре. Кн. I. Архитектор Александр Щербачев. Т. 1 / СГАСУ. Самара, 2014. 400 с.
9. Самара губернская. 160 лет в зеркале архитектуры. Самара: Книга, 2011. 208 с.
10. *Синельник А.К., Самогоров В.А.* Архитектура и градостроительство Самары 1920-х – начала 1940-х годов / СГАСУ. Самара, 2010. 480 с.
11. *Самогоров А.В., Самогоров В.А.* Образ города Куйбышева в проектах архитекторов второй половины 1930-х годов // Вестник ВРО РААСН. 2015. №18. С. 83–91.
12. *Серова А.А.* Социальный аспект городской идентичности // Актуальные проблемы архитектуры и дизайна: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием. Екатеринбург: УрГАХУ, 2017. С. 364–369.

Об авторах:

**КОСЕНКОВА Наталья Алексеевна**

кандидат архитектуры, доцент кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: kosenkovana@mail.ru

**СЕРОВА Алина Алексеевна**

магистрант кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: alina\_a.s@mail.ru

**KOSENKOVA Natalya A.**

PhD in Architecture, Associate Professor of the Reconstruction and Restoration of Architectural Heritage Chair Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: kosenkovana@mail.ru

**SEROVA Alina A.**

Master's Degree Student of the Faculty of Architecture Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: alina\_a.s@mail.ru

Для цитирования: *Косенкова Н.А., Серова А.А.* Формирование идентичности общественных объектов на примере Самары // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.109-116. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.19.  
For citation: *Kosenkova N.A., Serova A.A.* Forming the identity of public objects on the example of Samara // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 109-116. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.19.

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ



УДК 621.314.222

DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.20

**В.В. ВАХНИНА**  
**А.А. КУВШИНОВ**  
**В.Н. КУЗНЕЦОВ**  
**В.А. ШАПОВАЛОВ**

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОСТОРОННЕГО НАСЫЩЕНИЯ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

SIMULATION OF ONE-SIDED SATURATION OF MAGNETIC SYSTEMS OF ELECTRIC  
POWER SYSTEMS POWER TRANSFORMERS

Разработана методика моделирования магнитных полей силовых трансформаторов в среде программного продукта FEMM 4.2 с учетом конструктивной схемы и реальных геометрических размеров магнитной системы и бака, квазипостоянных составляющих тока в обмотках высокого напряжения, экспериментальных характеристик намагничивания электротехнической и конструкционной стали. Моделирование магнитных полей магнитных систем стержневой и бронестержневой конструкций выполнено на примере серийных силовых трансформаторов ТРДН-63000/115/6,3/6,3 и ТДЦ-400000/242/20. Определены зависимости средних значений индукции в центральных сечениях стержней и боковых ярм от величины квазипостоянных токов. Показано, что насыщение магнитной системы стержневой конструкции начинается с крайних стержней при кратности квазипостоянного тока, равной 2,2 относительно номинального фазного тока обмотки высокого напряжения. Насыщение магнитной системы бронестержневой конструкции начинается с боковых ярм при кратности квазипостоянного тока, равной 2,63 относительно паспортного значения тока холостого хода.

**Ключевые слова:** силовой трансформатор, магнитная система, квазипостоянный ток, одностороннее насыщение

A technique for modeling the magnetic fields of power transformers in the environment of the software product FEMM 4.2 is developed taking into account the design scheme and real geometric dimensions of the magnetic system and tank, quasi-permanent current components in high-voltage windings, and the experimental magnetization characteristics of electrical and structural steel. Modeling of magnetic fields of magnetic systems of rod and armored rod structures is carried out on the example of serial power transformers TRDN-63000/115 / 6.3 / 6.3 and TDTs-400000/242/20. The dependences of the mean values of induction in the central cross sections of the rods and side yokes on the quasi-constant currents are determined. It is shown that the saturation of the magnetic system of the rod structure begins with the outer rods at a multiplicity of quasi-constant current equal to 2.2 relative to the nominal phase current of the high-voltage winding. The saturation of the magnetic system of the armored rod structure begins with the lateral yokes at a multiplicity of the quasi-constant current equal to 2.63 with respect to the idle current rating.

**Keywords:** power transformer, magnetic system, quasi-constant current, one-sided saturation

**Введение.** В электроэнергетических системах (ЭЭС) эксплуатируются силовые трансформаторы

различных мощностей и классов напряжения в трехфазном исполнении или в виде группы

однофазных трансформаторов. При эксплуатации силовых трансформаторов возможно возникновение условий, вызывающих насыщение магнитных систем:

- под воздействием аperiodических составляющих токов, протекающих по обмоткам при включении силового трансформатора под напряжение, при коротких замыканиях в примыкающей ЭЭС [1, 2];

- при воздействии квазипостоянных токов (КПТ), частота которых не превышает 0,1 Гц, природного (геомагнитные бури, геоэлектрические источники) [3, 4] или техногенного (статические преобразователи, дуговые сталеплавильные печи и др.) [5] происхождения. Частота квазипостоянных токов составляет от 0,1 до 0,00001 Гц [3], поэтому при рассмотрении вопросов насыщения магнитных систем силовых трансформаторов ЭЭС можно считать КПТ неизменными на периоде напряжения питающей электрической сети и создаваемые ими магнитные потоки – постоянными.

Процесс насыщения вызывает изменение картины распределения магнитных потоков по элементам магнитной системы силового трансформатора, следствием которого является увеличение потоков рассеяния и токов намагничивания. Последний приобретает однополярный характер и служит источником интенсивных высших гармоник тока [6].

Продолжительность воздействия аperiodических составляющих токов в аварийных режимах и переходных процессах не превышает, как правило, нескольких секунд и не оказывает заметного влияния на тепловой режим работы силового трансформатора. Продолжительность воздействия КПТ и соответственно работы магнитной системы с односторонним насыщением может достигать нескольких часов и даже суток и способно оказать существенное влияние на тепловой режим силового трансформатора. Однако степень влияния КПТ на картину распределения магнитных потоков существенно зависит от конструктивной схемы магнитной системы силового трансформатора. В этой связи актуальной является задача моделирования магнитных потоков и определения величины магнитной индукции в различных элементах (стержни, ярма) магнитной системы силовых трансформаторов электроэнергетических систем для типовых конструктивных схем в условиях одностороннего насыщения. В данной работе поставленная задача решается с использованием программного продукта FEMM 4.2 (Finite Element Method Magnetics. Version 4.2) [7].

**Типовые конструктивные схемы магнитных систем силовых трансформаторов.** Для силовых трехфазных трансформаторов мощностью до 100 МВА используется плоская стержневая магнитная система (рис. 1, а), а для трехфазных трансформаторов мощностью свыше 100 МВА используется, как правило, плоская бронестержневая система (рис. 1, б). На

рис. 1 цифрами обозначены основные конструктивные элементы магнитной системы: 1, 2, 3 – стержни с фазными обмотками, 4 – ярмо, 5 – боковое ярмо [8].

При протекании квазипостоянного тока  $I_{\text{КПТ}}$  в обмотках высокого напряжения силовых трансформаторов для построения картин магнитных полей  $\Phi_0$  (рис.1) и расчета численных значений магнитной индукции  $B_0$  с учётом нелинейности кривых намагничивания электротехнической стали магнитной системы и конструкционной стали бака используется модель в виде плоскопараллельной структуры. Моделирование в среде программного продукта FEMM позволяет рассчитывать магнитные поля методом конечных элементов [9].

Основное уравнение, используемое для численного расчёта стационарного магнитного поля в программном продукте FEMM, формулируется в терминах магнитного потенциала  $A$  [7]. В случае нелинейной связи между индукцией  $B_0$  и напряжённостью  $H_0$  магнитного поля  $\Phi_0$  обусловленной насыщением магнитных материалов при протекании КПТ, основное уравнение векторного потенциала магнитного поля записывается в виде [7, 9]:

$$\text{rot} \left( \frac{1}{\mu_0 \mu_{d(s)}(B_0)} \right) \text{rot} \vec{A} = \vec{\delta}, \quad (1)$$

где  $\vec{\delta}$  – плотность электрического тока сторонних источников;  $\mu_{d(s)}(B_0)$  – относительная дифференциальная магнитная проницаемость электротехнической стали, зависящая от  $B_0$  в случае насыщения магнитных материалов;  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$  – магнитная постоянная.

В случае плоскопараллельного магнитного поля векторный потенциал имеет только одну компоненту, например  $A_y$ , если совместить ось  $y$  декартовой системы координат с направлением электрических токов (вектора  $\vec{\delta}$ ). Тогда (1) превращается в скалярное дифференциальное уравнение в частных производных эллиптического типа

$$\frac{\partial^2 A_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_y}{\partial z^2} - \frac{1}{\mu_{d(s)}} \left( \frac{\partial \mu_{d(s)}}{\partial x} \frac{\partial A_y}{\partial x} + \frac{\partial \mu_{d(s)}}{\partial y} \frac{\partial A_y}{\partial y} \right) = -\mu_0 \mu_{d(s)} \delta_y, \quad (2)$$

решением которого является компонента  $A_y$  векторного потенциала магнитного поля. Затем простым дифференцированием компоненты  $A_y$  могут быть определены индукция  $B_0$  и напряжённость  $H_0$  магнитного поля  $\Phi_0$ .

При решении уравнений в частных производных методом конечных элементов строится сеть конечных элементов [9]. В случае двумерной задачи конечные элементы чаще всего имеют форму треугольников или прямоугольников, которые не перекрывают друг друга. При расчете двумерного магнитного поля методом конечных элементов потенциал  $A_y$  каждого  $i$ -го конечного треугольного элемента представляется в виде полинома первого порядка с постоянными в пределах этого элемента коэффициентами

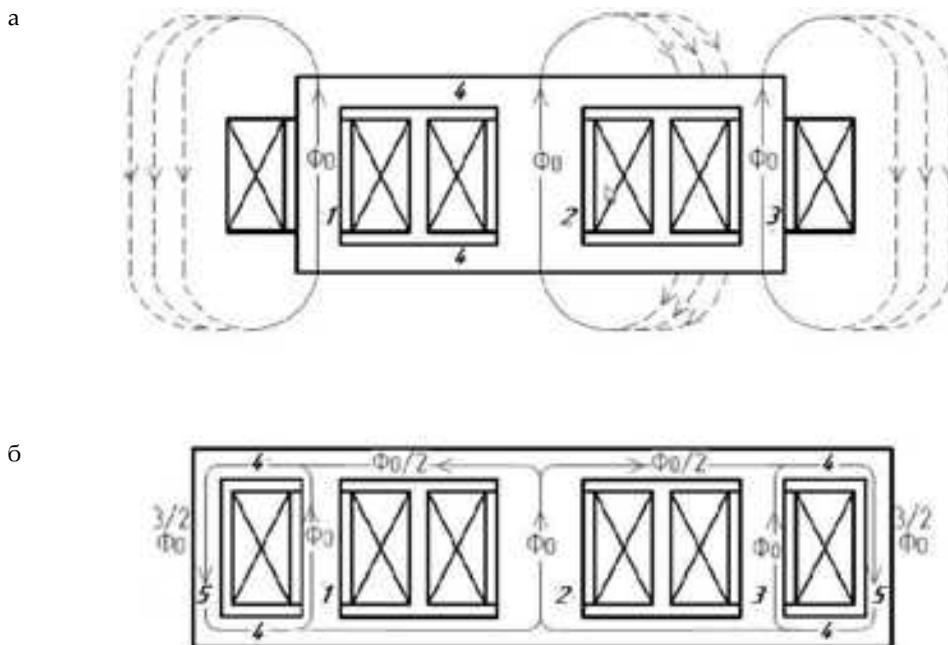


Рис.1. Стержневая (а) и бронестержневая (б) конструктивные схемы магнитных систем силовых трансформаторов

$A_{y(i)} = a_{(i)} + b_{(i)} \cdot x + c_{(i)} \cdot z,$  (3)  
 где  $a_{(i)}, b_{(i)}, c_{(i)}$  – неизвестные постоянные коэффициенты.

Определив коэффициенты  $a_{(i)}, b_{(i)}, c_{(i)}$  в полиноме (3) для всех конечных элементов, получаем возможность расчета магнитного потенциала в любой точке исследуемой области.

Сведение задачи расчета магнитного поля к системе линейных алгебраических уравнений в методе конечных элементов основано на принципе минимума энергии, запасенной в поле. Полученная система уравнений позволяет рассчитать искомые коэффициенты полиномов всех конечных элементов [9]. Для решения системы уравнений применяется итерационный метод сопряжённых градиентов, поскольку получаемые матрицы являются симметричными и весьма разреженными. Учитываются только ненулевые элементы матриц, расположенные на главной диагонали и выше главной диагонали. При расчёте магнитного поля на основе векторного потенциала используется специальная сглаживающая методика, позволяющая восстановить точность, теряемую при дифференцировании линейных функций.

**Моделирование магнитного поля силовых трансформаторов при одностороннем насыщении.** Задача нахождения векторного потенциала является краевой и требует задания граничных условий. Программный продукт FEMM [7] располагает несколькими способами решения проблемы открытых границ. Здесь имеется в виду ограничение размеров модели системы, поле которой простирается на бесконечность. Самый простой способ решения этой проблемы – создать модель с границами, рас-

положенными достаточно далеко от самой системы. Тогда на этих внешних границах можно принять как условие Дирихле (равенство потенциала нулю), так и условие Неймана (равенство нулю нормальной производной от потенциала). Однако этот способ требует построения конечно-элементной сетки на значительном удалении от магнитной системы. Чем больше расстояние от внешних точек системы до границы, тем точнее будет расчет, но для него потребуется больше ресурсов компьютера.

Второй способ решения проблемы открытых границ состоит в приложении к границе в виде окружности асимптотических граничных условий

$$\frac{\partial A_y}{\partial r} + \frac{n}{r} A_y = 0, \quad (4)$$

где  $r$  – радиус окружности, удалённой от внешних точек исследуемой системы;  $n$  – номер главной гармоники пространственного разложения векторного потенциала (обычно  $n = 1$ ).

Поскольку программный продукт FEMM поддерживает смешанные граничные условия вида

$$\frac{1}{\mu_{d(s)}\mu_0} \frac{\partial A_y}{\partial r} + c_0 A_y + c_1 = 0, \quad (5)$$

то условие Неймана будет выполняться на окружности радиуса  $r_0$  ( $\mu_{d(s)} = 1$ ), если положить константы  $c_0, c_1$  равными

$$c_0 = \frac{n}{\mu_0 r_0}, \quad c_1 = 0. \quad (6)$$

При моделировании магнитного поля силового трансформатора использован второй способ решения проблемы открытой границы.

На рис. 2 приведены модели для расчёта магнитного поля  $\Phi_0$ , созданные в программном продукте FEMM, для серийных силовых трансформаторов со стержневой конструкцией магнитной системы ТРДН-63000/115/6,3/6,3 (а) и бронестержневой конструкции магнитной системы ТДЦ-400000/242/20 (б). В силу горизонтальной симметрии размер модели уменьшен в два раза, и на рис. 2 показаны только верхние части силовых трансформаторов. При моделировании магнитного поля  $\Phi_0$  принято:

- для ТРДН-63000/115/6,3/6,3 –  $r_0 = 3$  м,  $c_0 = 265258 \Phi^{-1}$ ;
- для ТДЦ-400000/242/20 –  $r_0 = 5$  м,  $c_0 = 159155 \Phi^{-1}$ ;

На рис. 2 видна сетка из треугольных конечных элементов, созданная программой-триангулятором.

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

[Current-pl:320], [Current-pl:173] – ток первой фазы, текущий в положительном направлении; 320

и 173 – половина числа витков обмоток ВН соответственно ТРДН-63000/115/6,3/6,3 и ТДЦ-400000/242/20;

[Current-m1:320], [Current-m1:173] – ток первой фазы, текущий в отрицательном направлении;

[Current-p2:320], [Current-p2:173];

[Current-m2:320], [Current-m2:173] – соответствующие обозначения для токов второй фазы;

[Current-p3:320], [Current-p3:173];

[Current-m3:320], [Current-m3:173] – соответствующие обозначения для токов третьей фазы;

Air – немагнитный материал.

Моделирование магнитных полей  $\Phi_0$  силовых трансформаторов, создаваемых КПП, протекающими в фазных обмотках, проведено с использованием экспериментальных кривых намагничивания электротехнической S7 и конструкционной S8 стали, изображенных на рис. 3. При значениях  $H > 60000$  А/м

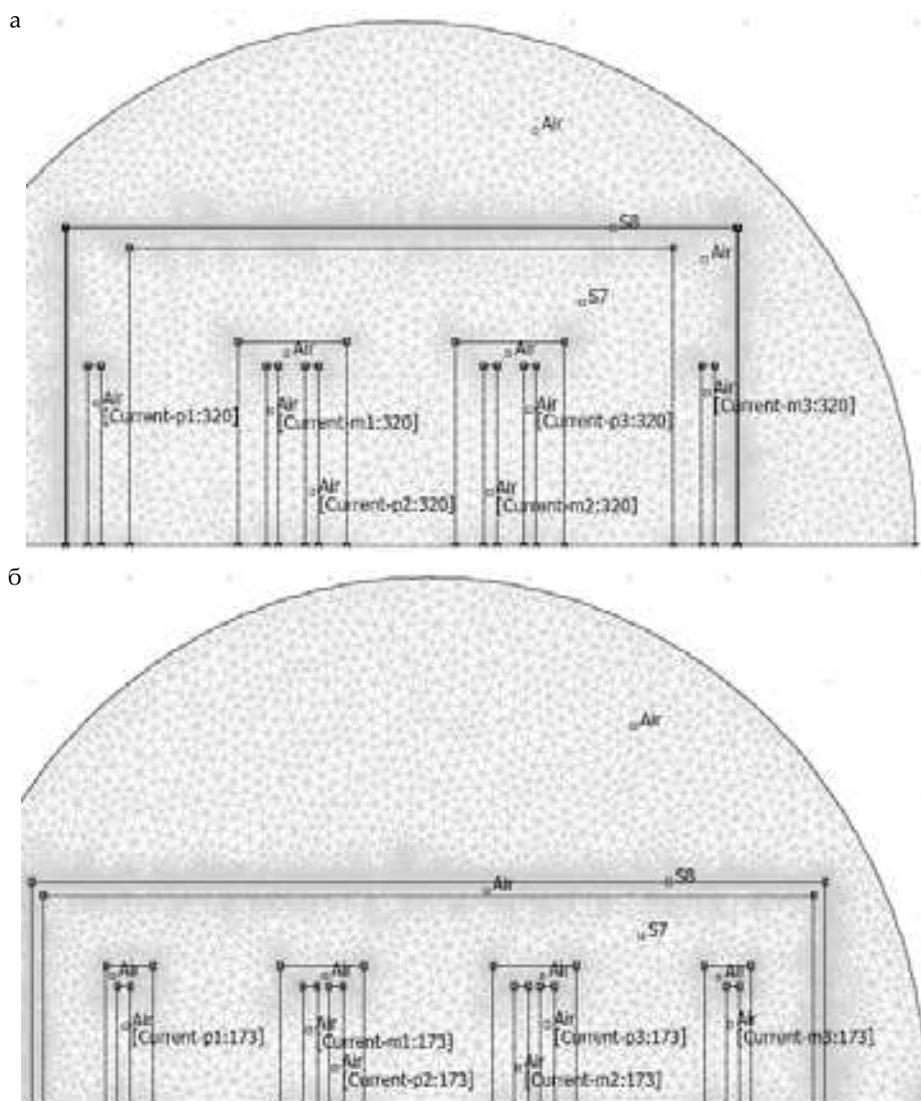


Рис. 2. Модели силовых трансформаторов ТРДН-63000/115/6,3/6,3 (а) и ТДЦ-400000/242/20 (б) для расчёта магнитного поля  $\Phi_0$  в программном продукте FEMM

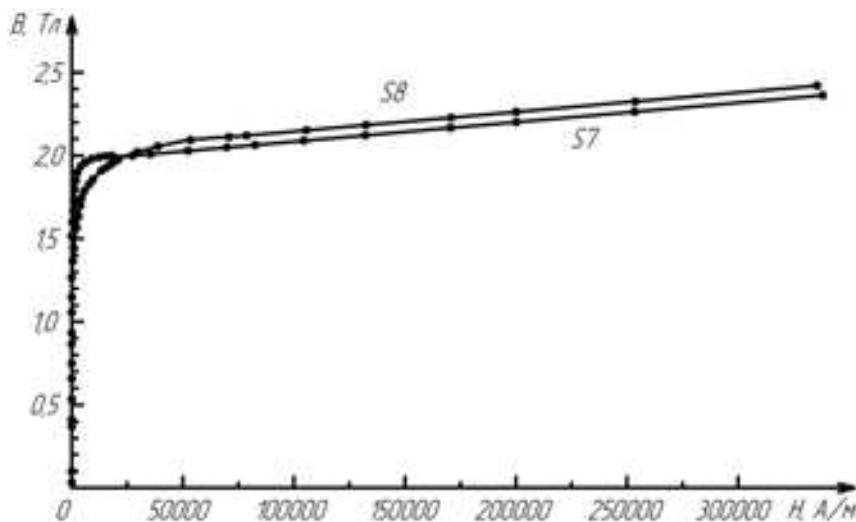


Рис. 3. Кривые намагничивания электротехнической S7 и конструкционной S8 стали ( $H = 0 \div 320000$  А/м)

кривые намагничивания становятся прямыми параллельными линиями с углом наклона, равным  $\mu_0$ .

Картины силовых линий магнитных полей  $\Phi_0$  для ТРДН-63000/115/6,3/6,3 и ТДЦ-400000/242/20 приведены на рис. 1. Одинаковые КПП создают намагничивающие силы одной величины и одного направления, поэтому в случае ТРДН-63000/115/6,3/6,3 создаваемые этими токами магнитные потоки не могут замыкаться через сердечник силового трансформатора и вытесняются друг друга, замыкаясь через бак и окружающее воздушное пространство (рис. 1, а).

В ТДЦ-400000/242/20 имеется возможность для замыкания силовых линий магнитного поля  $\Phi_0$  внутри магнитной системы силового трансформатора,

поэтому магнитные потоки таких токов сосредоточены почти целиком в сердечнике (рис. 1, б). Соответствующие магнитные потоки пропорциональны средним значениям индукции  $B_{oi}$ , которые могут быть определены для каждого поперечного сечения стержня и ярма магнитной системы силового трансформатора.

В качестве примера в таблице представлены смоделированные зависимости средних значений магнитной индукции  $B_{oi}$  от величины  $I_{КПП}$  в центральных поперечных сечениях стержней 1, 2, 3 для силового трансформатора ТРДН-63000/115/6,3/6,3 и стержней 1, 2, 3 и бокового ярма 5 для силового трансформатора ТДЦ-400000/242/20.

Значения средней магнитной индукции  $B_{oi}$  в отдельных конструктивных элементах магнитных систем силовых трансформаторов при вариациях квазипостоянного тока  $I_{КПП}$

$I_{КПП}$ А	$B_{oi}$ Тл				
	ТРДН-63000/115/6,3/6,3		ТДЦ-400000/242/20		
	1,3	2	2	1,3	5
0	0	0	0	0	0
1	0,002	0,0018	0,019	0,074	0,167
2	0,005	0,0046	0,04	0,147	0,334
4	0,01	0,008	0,078	0,295	0,669
6	0,015	0,01	0,116	0,442	1,002
8	0,019	0,015	0,155	0,59	1,336
10	0,024	0,018	0,194	0,737	1,67
12	0,028	0,021	0,198	0,746	1,691
14	0,032	0,024	0,203	0,754	1,712
16	0,035	0,027	0,207	0,763	1,733
18	0,039	0,0285	0,212	0,771	1,754
20	0,043	0,031	0,216	0,78	1,774
30	0,063	0,045	0,231	0,788	1,794
40	0,077	0,055	0,246	0,796	1,814
50	0,095	0,065	0,261	0,804	1,834

В силовых трансформаторах со стержневой магнитной системой (ТРДН-63000/115/6,3/6,3) магнитные силовые линии постоянного потока замыкаются через немагнитные зазоры и бак трансформатора, как показано на рис. 1, а. Наличие на пути постоянного магнитного потока большого магнитного сопротивления немагнитных зазоров многократно снижает величину индукции. Индукция магнитного поля в крайних стержнях 1 и 3 магнитной системы одинакова и возрастает практически линейно со скоростью  $0,2 \cdot 10^{-2}$  Тл/А, достигая примерно 0,095 Тл при величине КПП, равной 50 А. Величина индукции в центральном стержне 2 значительно меньше индукции в крайних стержнях 1 и 3, например, на 20 % при КПП величиной 20 А и уже на 37 % при КПП величиной 50 А. Такая неравномерность в распределении постоянных магнитных потоков в плоской стержневой магнитной системе объясняется более близким расположением крайних стержней 1 и 3 к стенкам бака, чем центрального стержня 2. При практически одинаковых характеристиках намагничивания электротехнической и конструкционной стали (рис. 3) магнитные силовые линии центрального стержня 2 замыкаются по значительно более протяженным немагнитным промежуткам. Угол наклона зависимости  $B_m(I_{\text{КПП}})$  для крайних стержней 1 и 3 определяется практически линейным магнитным сопротивлением немагнитных промежутков, геометрия которых остается неизменной. Поэтому среднее значение индукции в стержнях 1 и 3 достигает порога насыщения ( $\approx 1,67$  Тл) при увеличении КПП примерно до 700 А (превышает номинальный фазный ток обмотки ВН в 2,2 раза). Для полного насыщения стержневой магнитной системы, включая и центральный стержень 2, величина КПП должна возрасти до 1186 А (превышает номинальный фазный ток в 3,7 раза). Это вполне согласуется с количественными оценками, полученными в [10] на основе кусочно-линейной аппроксимации характеристики намагничивания электротехнической стали.

В силовых трансформаторах с бронестержневой магнитной системой (ТДЦ-400000/242/20) силовые линии постоянного магнитного поля в основном замыкаются через боковые ярма, как показано на рис. 1, б. Магнитные потоки, проходящие через боковые ярма 5, складываются из потоков крайних стержней 1 и 3 и половины потока центрального стержня 2 ( $3/2 \Phi_0$ ). Поэтому уже при КПП величиной 10 А (в 2,63 раза превышает паспортное значение тока холостого хода) среднее значение магнитной индукции в центральных сечениях боковых ярм 5 достигает значения насыщения (1,67 Тл). До насыщения магнитной системы при увеличении КПП на 1 А среднее значение индукции в боковых ярмах 5 возрастало на 0,166 Тл, а после насыщения только на 0,0049 Тл, т. е. медленнее почти в 33 раза. Поэтому при дальнейшем увеличении КПП до 50 А среднее

значение индукции в боковых ярмах 5 возрастает только до 1,834 Тл, т. е. только на 0,164 Тл. Кроме того, в крайних стержнях 1 и 3 среднее значение индукции при указанной величине КПП достигает только 0,804 Тл, а в центральном стержне 2 – 0,261 Тл.

Насыщение крайних стержней 1 и 3 произойдет при величине КПП, равной 450 А (составляет 0,47 номинального фазного тока обмотки ВН), а полное насыщение магнитной системы, включая и центральный стержень 2, наступит при величине КПП, равной 1130 А (составляет 1,18 номинального фазного тока обмотки ВН). Таким образом, насыщение бронестержневой магнитной системы начинается (боковые ярма) при величине КПП, соизмеримой с паспортным значением тока холостого хода, а заканчивается (боковые ярма и все стержни) при величине КПП, соизмеримой с номинальным фазным током обмотки ВН.

**Выводы.** 1. Моделирование магнитных потоков в магнитных системах силовых трансформаторов с различными конструктивными схемами позволяет отметить общую характерную особенность, которая заключается в том, что под воздействием КПП насыщение магнитной системы происходит в несколько этапов. На каждом этапе происходит насыщение одного (или двух симметричных относительно распределения магнитных потоков) из неразветвленных участков магнитной системы. Поэтому существуют два характерных значения КПП – минимальное, при котором начинается насыщение одного из участков магнитной системы, и максимальное, при котором происходит полное насыщение магнитной системы, т. е. всех неразветвленных участков.

2. В магнитной системе стержневой конструкции первоначально происходит насыщение крайних стержней при кратности КПП относительно номинального фазного тока, равной 2,2, а затем полное насыщение, включая и центральный стержень, при кратности КПП, равной 3,7. Величину КПП, не превышающую номинальный фазный ток обмотки ВН, можно считать безопасной для силовых трансформаторов со стержневой конструкцией магнитной системы.

3. В магнитной системе бронестержневой конструкции первоначально происходит насыщение боковых ярм при кратности КПП относительно паспортного значения тока холостого хода, равной 2,63, а затем происходит насыщение крайних стержней при кратности КПП относительно номинального фазного тока, равной 0,47. Полное насыщение магнитной системы, включая центральный стержень, произойдет при кратности КПП, равной 1,18 относительно номинального фазного тока. Величина КПП, не превышающая удвоенное паспортное значение тока холостого хода, может считаться безопасной для силовых трансформаторов с бронестержневой конструкцией магнитной системой.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ушаков И.И. Устройства безударного включения силовых трансформаторов – современный инструмент повышения надежности электроснабжения // Энерго-эксперт. 2016. № 6. С. 36–39.
2. Электродинамическая стойкость трансформаторов и реакторов при коротких замыканиях: сб. статей / под ред. А.И. Лурье. М.: Знак, 2005. 520 с.
3. Viljanen A., Pirjola R., Pracser E, Katkalov J, Wik M. Geomagnetically induced currents in Europe // Journal of Space Weather and Space Climate. 2014. Vol. 4.
4. Сурков В.В. Электромагнитные эффекты при землетрясениях и взрывах. М.: Изд. Моск. гос. инж.-физ. ин-та (техн. ун-та), 2000. 238 с.
5. Чаплыгин Е.Е., Ковырзина О.С. Компенсация неактивных составляющих полной мощности дуговых сталеплавильных печей // Электричество. 2009. №11. С. 30–38.
6. Vakhmina V.V., Shapovalov V.A., Kuznetsov V.N., Kretov D.A. The influence of geomagnetic storms on thermal processes in the tank of a power transformer // Power Delivery, IEEE Transactions on. 2015. Vol. №30. Issue: 4. P. 1702–1707.
7. Meeker D.C. Finite Element Method Magnetics. Version 4.2 (03 Nov 2013 Build). - URL: <http://www.femm.info> (дата обращения: 18.02.2018).
8. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. М.: Ленанд, 2014. 528 с.
9. Буль О.Б. Методы расчёта магнитных систем электрических аппаратов. М.: Academia, 2005. 336 с.
10. Кувшинов А.А., Вахнина В.В., Самолина О.В., Дубинин М.В. Особенности воздействия квазипостоянных токов на силовые трансформаторы систем электроснабжения // Промышленная энергетика. 2015. №9. С. 2–8.

Об авторах:

**ВАХНИНА Вера Васильевна**

доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой электроснабжения и электротехники Тольяттинский государственный университет 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел. +7 927-214-17-00  
E-mail: VVvahnina@yandex.ru

**VAKHNINA Vera V.**

Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Power Supply and Electrical Engineering Chair Togliatti State University 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14, tel. +7 (927)2141700  
E-mail: VVvahnina@yandex.ru

**КУВШИНОВ Алексей Алексеевич**

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электроснабжения и электротехники Тольяттинский государственный университет 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел. +7 929-713-39-98  
E-mail: alekseikuvshinov@yandex.ru

**KUVSHINOV Aleksey A.**

Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Power Supply and Electrical Engineering Chair Togliatti State University 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14, tel. +7 (929)7133998  
E-mail: alekseikuvshinov@yandex.ru

**КУЗНЕЦОВ Владимир Николаевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения и электротехники Тольяттинский государственный университет 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел. +7 (8482) 53-92-82  
E-mail: eie3@tltsu.ru

**KUZNETSOV Vladimir N.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Power Supply and Electrical Engineering Chair Togliatti State University 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14, tel. +7 (8482) 53-92-82  
E-mail: eie3@tltsu.ru

**ШАПОВАЛОВ Владимир Андреевич**

кандидат технических наук, заместитель ректора – директор института энергетики и электротехники Тольяттинский государственный университет 445020, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14, тел. +7 (8482) 53-92-22  
E-mail: elektrik@tltsu.ru

**SHAPOVALOV Vladimir A.**

PhD in Engineering Science, Vice-Rector – Director of the Institute of Energy and Electrical Engineering Togliatti State University 445020, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14, tel. +7 (8482) 53-92-22  
E-mail: elektrik@tltsu.ru

Для цитирования: Вахнина В.В., Кувшинов А.А., Кузнецов В.Н., Шаповалов В.А. Моделирование одностороннего насыщения магнитных систем силовых трансформаторов электроэнергетических систем // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.117-123. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.20.

For citation: Vakhmina V.V., Kuvshinov A.A., Kuznetsov V.N., Shapovalov V.A. Simulation of one-sided saturation of magnetic systems of electrical power systems power transformers // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 117-123. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.20.

**А.И. ДАНИЛУШКИН****И.А. ДАНИЛУШКИН**

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА УСТАНОВКИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

### OPTIMIZATION OF ELECTROTECHNICAL POWER CONSUMPTION OF GAS COOLING SYSTEM COMPLEX

Рассматривается задача оптимального распределения нагрузки между электроприводами вентиляторов в многосекционной установке охлаждения газа по критерию минимума энергозатрат на охлаждение. Задача оптимизации решается на базе полученной аналитической модели для температуры газа на выходе установки охлаждения. Модель учитывает взаимное влияние режимов работы всех вентиляторов установки. Разработана методика решения задачи оптимального распределения нагрузки между электроприводами вентиляторов для линеаризованной модели процесса с помощью процедуры целочисленного программирования. Методика оптимизации учитывает индивидуальные характеристики аппаратов.

**Ключевые слова:** энергетическая эффективность, моделирование, оптимизация, теплообмен, температура, регулирование, линейное программирование

Повышение эффективности функционирования всех звеньев газотранспортного комплекса на предприятиях Газпрома базируется на новейших достижениях научно-технического прогресса, связанных с использованием оптимальных технологий подготовки и транспортировки газа. Совершенствование газотранспортной системы предполагает, в частности, создание оптимальных систем управления установкой охлаждения газа с электроприводными вентиляторами, суммарная мощность которых составляет от 800 до 1500 кВт.

В технологической цепи комплексной подготовки газа к транспортировке эксплуатационные расходы в звене охлаждения газа на электропривод вентиляторов, капитальные затраты на оборудование парка аппаратов воздушного охлаждения, а также затраты энергии на создание необходимого давления в магистрали с помощью газотурбинного или электрического привода газового компрессора составляют главные статьи себестоимости. Одним из направлений работ по снижению эксплуатационных издержек за счёт уменьшения энергетической составляющей является оптимизация режимов работы установки охлаждения газа после компримирования [1–3]. Оптимизация режимов работы энергетического оборудо-

*The problem of the optimal load distribution between electric drives of fans in a multi-section gas cooling unit is considered based on the minimum energy expenditure for cooling. The optimization problem is solved on the basis of the obtained analytical model for the gas temperature at the outlet of the cooling unit. The model takes into account the mutual influence of the operating modes of all fans of the installation. A technique for solving the problem of optimal load sharing between electric drives of fans for a linearized process model is developed using the procedure of integer programming. The optimization technique takes into account the individual characteristics of the devices.*

**Keywords:** energy efficiency, modeling, optimization, heat exchange, temperature, regulation, linear programming

ования предусматривает минимизацию потребления электроэнергии, затрачиваемой на транспортировку газа, за счет выбора компромиссного варианта работы энергетического оборудования.

Повышение экономической эффективности технологического процесса транспортировки газа осуществляется за счет ужесточения требований к стабилизации технологических параметров процесса, в частности, температурного режима газа после компримирования. Допустимое отклонение температуры газа на выходе аппаратов воздушного охлаждения не должно превышать одного-двух градусов [4]. Соответственно возникают вопросы обеспечения необходимой точности регулирования температуры при условии минимизации энергозатрат на транспортировку газа. В связи с этим появляется необходимость в создании оптимальных алгоритмов и систем управления аппаратами воздушного охлаждения.

Типовое решение по охлаждению газа после компримирования представляет собой установку охлаждения газа из нескольких расположенных параллельно аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа [5, 6] (рис.1). Каждый аппарат представляет собой теплообменник с перекрёстным направлением потоков. Поток охлаждающего воздуха сквозь несколько

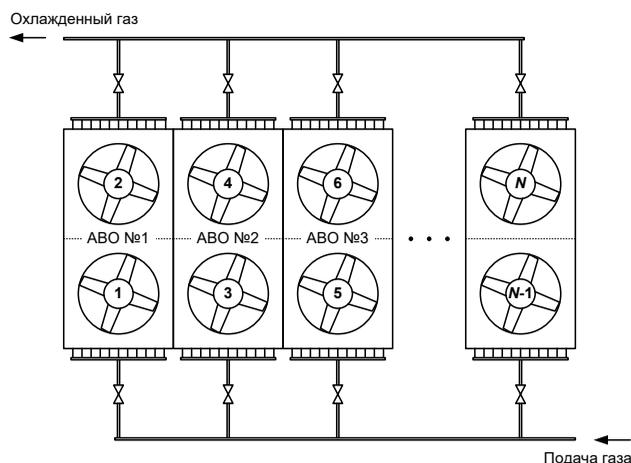


Рис.1. Типовая схема включения АВО в установке охлаждения газа

слоёв оребренных труб, по которым прокачивается охлаждаемый газ, создается за счёт работы вентиляторов. Каждый вентилятор включается независимо.

В процессе эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения эксплуатационные характеристики изменяются [7–9]. В связи с этим возникает необходимость выбора оптимального количества вентиляторов с учетом их индивидуальных эксплуатационных характеристик.

Возможность управления отдельными вентиляторами установки охлаждения позволяет говорить о необходимости поиска такой конфигурации включаемых аппаратов, чтобы требуемый отбор тепла обеспечивался с минимальным расходом электроэнергии. Эту задачу можно сформулировать в терминах теории математического программирования как задачу оптимального распределения взаимозаменяемых ресурсов [10].

Высокие скорости потока газа обуславливают турбулентный характер течения, а незначительная толщина стенки и высокая теплопроводность материала трубки позволяют пренебречь постоянной времени трубки и рассматривать процесс теплообмена между потоком воздуха и потоком газа, характеризую интенсивность теплообмена некоторым приведенным коэффициентом  $\alpha(x, t)$  теплопередачи от газа к воздуху. Экспериментально доказано [7], что зависимость коэффициента от координаты  $x$  для каждого ряда трубок можно пренебречь, поэтому в качестве сосредоточенного управляющего воздействия рассматривается

эквивалентный коэффициент  $\alpha(t)$  теплоотдачи от газа к воздуху в аппарате воздушного охлаждения, определяемый как функция температур воздуха и газа. Тогда уравнение теплообмена для каждого  $i$ -го блока в стационарном режиме принимает вид [11]:

$$v_g \frac{d\theta_{gi}(x)}{dx} = \beta \cdot (\theta_B(x) - \theta_{gi}(x)), \quad (1)$$

где  $\theta_{gi}(x)$  – средняя по сечению потока температура газа;  $\theta_B(x)$  – температура воздуха на входе блока, одинаковая для всех блоков установки;  $x$  – аксиальная координата газового потока;  $v_g$  – скорость газового потока;  $\beta$  – приведенный коэффициент теплообмена между потоком газа и воздухом, учитывающий геометрию поверхностей теплообмена между потоками воздуха и газа.

Решение уравнения (1) с учетом начальных условий для каждого блока имеет вид

$$\theta_{gi}(x) = \theta_{gi0}(0) \cdot e^{-\frac{\beta x}{v_g}} - \frac{\beta}{v_g} \theta_B \left( 1 - e^{-\frac{\beta x}{v_g}} \right). \quad (2)$$

Для анализа принято, что блоки с нечетными номерами располагаются в первом ряду, с четными – во втором ряду установки. Температура газа на входе каждого аппарата соответствует температуре на входе его первого блока, а температура газа на выходе каждого аппарата соответствует температуре на выходе второго блока. С учетом прохождения через  $(i-1)$ -й блок первого ряда температура  $\theta_{gi}(x)$  газа на выходе  $i$ -х (четных) блоков АВО описывается выражением

$$\theta_{gi} = \theta_{gi0} \cdot \exp \left[ - \left( \beta_{i-1,0} + \sum_{j=1}^N b_{i-1,j} h_j \right) \frac{L}{v} \right] - \left( \beta_{i0} + \sum_{j=1}^N b_{ij} h_j \right) \frac{L}{v_g} + \theta_B \cdot \left( 1 - \exp \left[ - \left( \beta_{i-1,0} + \sum_{j=1}^N b_{i-1,j} h_j \right) \frac{L}{v} \right] - \left( \beta_{i0} + \sum_{j=1}^N b_{ij} h_j \right) \frac{L}{v_g} \right], \quad i \in \{2, 4, \dots, N\}. \quad (3)$$

Здесь  $\theta_{gi0}$  – температура газа на входе установки охлаждения;  $N$  – количество блоков в установке;  $N/2$  –

количество аппаратов в установке воздушного охлаждения;  $L$  – длина оребренных труб блока АВО;

$v$  – скорость потока газа;  $\beta_i = \beta_{i0} + \sum_{j=1}^N b_{ij} h_j$  – приведенный коэффициент конвективного теплообмена для  $i$ -го блока установки;  $\beta_{i0}$  – значение коэффициента  $i$ -го блока при выключенном вентиляторе;  $b_{ij}$  – коэффициенты, учитывающие влияние остальных блоков установки на коэффициент  $\beta_i$ ,  $i, j \in \{1, 2, \dots, N\}$ ;  $h_i$  – показатель режима работы  $i$ -го блока (включен/выключен),  $h_i = \overline{0, 1}$ .

Температура  $\theta_{out}$  газа на выходе установок воздушного охлаждения

$$\theta_{out} = \frac{1}{N/2} \sum_{k=1}^{N/2} \theta_{2,k}. \quad (4)$$

Математическая модель (1) – (2) процесса теплообмена в установке охлаждения газа может быть линеаризована с помощью разложения экспоненты в ряд Тейлора [12]. После несложных преобразований получим для температуры газа на выходе установки воздушного охлаждения:

$$\theta_{out} = \theta_{gi0} + (\theta_B - \theta_{gi0}) \cdot \frac{L}{v} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \left( \sum_{i=1}^N \beta_{i0} + \sum_{j=1}^N h_j \sum_{i=1}^N b_{ij} \right). \quad (5)$$

Выражение (5) используется при формулировке условия для решения задачи бинарного целочисленного линейного программирования [13–15]. В качестве варьируемых переменных выступают переменные  $h_i$  – признаки режима работы вентилятора  $i$ -го блока, которые принимают только два значения: 0 и 1.

Задача оптимального распределения нагрузки для модели (3), (4) может быть сформулирована следующим образом. Требуется обеспечить минимальный расход электроэнергии для охлаждения газа с учётом энергетической эффективности каждого блока установки охлаждения газа при условии, что температура газа на выходе  $\theta_{out}$  не превышает заданную  $\theta_{given}$ . В тер-

минах теории математического программирования такая постановка может быть записана как

$$\min \left( \sum_{j=1}^N h_j \mid \mathbf{A}\mathbf{h} \leq \mathbf{C}, \quad h_j = \overline{0, 1}, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\} \right), \quad (6)$$

где ограничения заданы в векторном виде:  $\mathbf{A}\mathbf{h} \leq \mathbf{C}$ , а матрицы коэффициентов принимают следующие значения:

$$\mathbf{A} = (\theta_B - g_{inp}) \cdot \frac{L}{V_g} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \left[ \sum_{i=1}^N b_{i1} \quad \sum_{i=1}^N b_{i2} \quad \sum_{i=1}^N b_{i3} \quad \dots \quad \sum_{i=1}^N b_{iN} \right]_{1 \times N}, \quad (7)$$

$$\mathbf{h} = [h_j]_{N \times 1}, \quad (8)$$

$$\mathbf{C} = \left[ \theta_{given} - g_{inp} - (\theta_B - \theta_{gi0}) \cdot \frac{L}{V_g} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \sum_{i=1}^N b_{i0} \right]_{1 \times 1}. \quad (9)$$

В такой постановке задача решается известными методами решения задач целочисленного программирования [13].

В качестве метода для решения бинарной задачи линейного программирования (5), (6)–(9) используется алгоритм, предложенный английскими математиками Лэнд и Дойг [14, 15].

Для того чтобы воспользоваться предложенным алгоритмом, необходимо привести выражение (6) к виду

$$\min \left( \sum_{j=1}^N w_j h_j \mid \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{h} \geq \tilde{\mathbf{C}}, \quad h_j \in \{0, 1\}, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\} \right), \quad (10)$$

где  $w_j$  – весовые коэффициенты, которые в данном случае имеют смысл мощности энергопотребления электропривода вентилятора  $j$ -го блока.

С этой целью обе части неравенства (6) умножаются на «-1». Умножая  $\mathbf{A}$  и  $\mathbf{C}$ , получим

$$\tilde{\mathbf{A}} = -\mathbf{A} = (g_{inp} - \theta_B) \cdot \frac{L}{v} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \left[ \sum_{i=1}^N b_{i1} \quad \sum_{i=1}^N b_{i2} \quad \sum_{i=1}^N b_{i3} \quad \dots \quad \sum_{i=1}^N b_{iN} \right]_{1 \times N}; \quad (11)$$

$$\tilde{\mathbf{C}} = -\mathbf{C} = \left[ g_{inp} - \theta_{given} + (\theta_B - g_{inp}) \cdot \frac{L}{v} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \sum_{i=1}^N b_{i0} \right]_{1 \times 1}. \quad (12)$$

В такой постановке задача (6)–(9) полностью соответствует исходной постановке задачи алгоритма Лэнд и Дойг. Алгоритм с учетом принятых обозначений описывается следующей последовательностью действий.

1. Выполняется ввод исходных данных.
2. Снимается ограничение на целочисленность переменных и решается задача линейного программирования:

$$\min \left( \sum_{j=1}^N w_j h_j \mid \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{h} \geq \tilde{\mathbf{C}}, \quad 0 \leq h_j \leq 1, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\} \right). \quad (13)$$

3. Если полученное решение  $\mathbf{h}^1$  удовлетворяет условию целочисленности, то задача решена.

4. Если решение не является целочисленным, выбирается компонента вектора  $\mathbf{h}$  с индексом 1, или выбирается такая нецелочисленная компонента решения  $\mathbf{h}^1$ , которая имеет самое близкое значение к границе своей области определения. Так как в рассматриваемой ситуации все компоненты  $h_j$  имеют область определения  $[0, 1]$ , выбирается нецелочисленная компонента, величина которой ближе всего к 0 или к 1:

$$r1 = j: \quad \min(h_j^1, 1 - h_j^1) \rightarrow \min, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\}. \quad (14)$$

5. Выбранная нецелочисленная компонента  $h_{r1}^1$  фиксируется, и исходная задача (10) делится на две подзадачи:

– при  $h_{r1}^1 = 0$

$$\min \left( \sum_{j=1}^N w_j h_j \left| \begin{array}{l} \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{h} \geq \tilde{\mathbf{C}}, \\ 0 \leq h_j \leq 1, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus \{r1\}, \\ h_{r1} = 0 \end{array} \right. \right); \quad (15)$$

$$J_1 = 100,51, \quad \mathbf{h}^1 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0,13 \\ 1 \\ 0,13 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

– при  $h_{r1}^1 = 1$

$$\min \left( \sum_{j=1}^N w_j h_j \left| \begin{array}{l} \tilde{\mathbf{A}}\mathbf{h} \geq \tilde{\mathbf{C}}, \\ 0 \leq h_j \leq 1, \quad j \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus \{r1\}, \\ h_{r1} = 1 \end{array} \right. \right). \quad (16)$$

Следовательно, размерность каждой из задач уменьшается на единицу.

6. Результатом решения задач (15), (16) являются значения  $\mathbf{h}^2$  и  $\mathbf{h}^3$ . Для дальнейшего поиска принимается тот из результатов, у которого сумма  $\sum_{j=1}^N w_j h_j^k$  минимальна.

7. Если полученный результат  $\mathbf{h}^k$  является целочисленным, поиск заканчивается.

В качестве примера рассмотрим задачу оптимального распределения нагрузки в установке охлаждения газа, включающей в себя три аппарата воздушного охлаждения с двумя вентиляторами каждый (рис. 2).

Пусть для режима работы установки, характеризующегося следующими параметрами (табл. 1), известны коэффициенты взаимного влияния блоков  $\beta_{ij}$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, N\}$ ,  $j \in \{0, 1, 2, \dots, N\}$ ,  $N=6$  (табл. 2). Потребляемая мощность двигателей вентиляторов приведена в табл. 3.

Требуется из числа имеющихся аппаратов с известными энергетическими характеристиками выбрать количество и оптимальное сочетание вентиляторов установки, которые обеспечат минимальный расход электроэнергии для поддержания температуры газа на выходе из установки охлаждения на уровне  $\theta = 34$  °С, если температура газа на входе равна  $g_{inp} = 42$  °С, а температура воздуха  $T = 0$  °С.

Рассчитаем входные данные алгоритма.

Матрица  $\tilde{\mathbf{A}}$ , согласно выражению (8)

$$\tilde{\mathbf{A}} = -\mathbf{A} = (\theta_{g0} - \theta_B) \cdot \frac{L}{V_g} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \left[ \sum_{i=1}^N b_{i1} \quad \sum_{i=1}^N b_{i2} \quad \sum_{i=1}^N b_{i3} \quad \dots \quad \sum_{i=1}^N b_{iN} \right]_{1 \times N},$$

принимает значения

$$\tilde{\mathbf{A}} = 28 \cdot [0,06928 \quad 0,0702 \quad 0,06887 \quad 0,06894 \quad 0,06928 \quad 0,06979], \\ \tilde{\mathbf{A}} = [1,940 \quad 1,966 \quad 1,928 \quad 1,930 \quad 1,940 \quad 1,954].$$

Матрица  $\tilde{\mathbf{C}}$ , согласно выражению (10)

$$\tilde{\mathbf{C}} = -\mathbf{C} = \left[ g_{inp} - \theta_{given} + (\theta_B - g_{inp}) \cdot \frac{L}{V_g} \cdot \frac{1}{N/2} \cdot \sum_{i=1}^N b_{i0} \right]_{1 \times 1},$$

принимает значения  $\tilde{\mathbf{C}} = [6,32]$ .

В результате решения релаксированной задачи с исходными данными электроприводов вентиляторов (см. табл. 3) симплекс-методом получаем решение

Решение не является целочисленным. Согласно алгоритму (шаг 5), выбираем для фиксации компоненту вектора  $\mathbf{h}$  с индексом 1. Компонент с граничными значениями несколько, поэтому начинаем с первого по порядку:

$$\mathbf{R} = \{1\}.$$

Решаем две подзадачи линейного программирования путём варьирования пяти переменных  $h_j$ ,  $j \in \{2, 3, 4, 5, 6\}$ . Для этого модифицируем формулу расчёта целевой функции:

$$J_{21} = 0 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6, \quad J_{22} = 1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6,$$

а также ограничение:

$$\tilde{\mathbf{A}}^1 = [1,966 \quad 1,928 \quad 1,930 \quad 1,940 \quad 1,954], \\ \tilde{\mathbf{C}}^1 = [6,32 - \tilde{a}_1 \cdot h_1] = [6,32 - 1,940 \cdot h_1].$$

В результате после итерационного решения подзадач найдено целочисленное решение при  $h_4 = 1$ :

$$J_{final} = 132,50, \quad \mathbf{h}^{final} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, решение задачи целочисленного программирования для параметров, приведенных в табл. 2, 3, дает однозначный результат, согласно которому оптимальное сочетание будет иметь место при работе АВО № 1, № 3, № 4, № 6. Такое сочетание работающих аппаратов, учитывающее индивидуальные коэффициенты эффективности, обеспечивает минимальный суточный расход электроэнергии.

**Выводы.** На газоперекачивающих станциях магистральной газопроводной системы количество аппаратов воздушного охлаждения составляет от 18 до 24 при единичной мощности электроприводного вентилятора от 37 до 75 кВт. Предлагаемый подход позволит существенно сократить расход электроэнергии по сравнению с обычной практикой включения вентиляторов в предположении равенства коэффициентов эффективности аппаратов воздушного охлаждения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поршаков Б.П., Козаченко А.Н., Никишин В.И. 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.

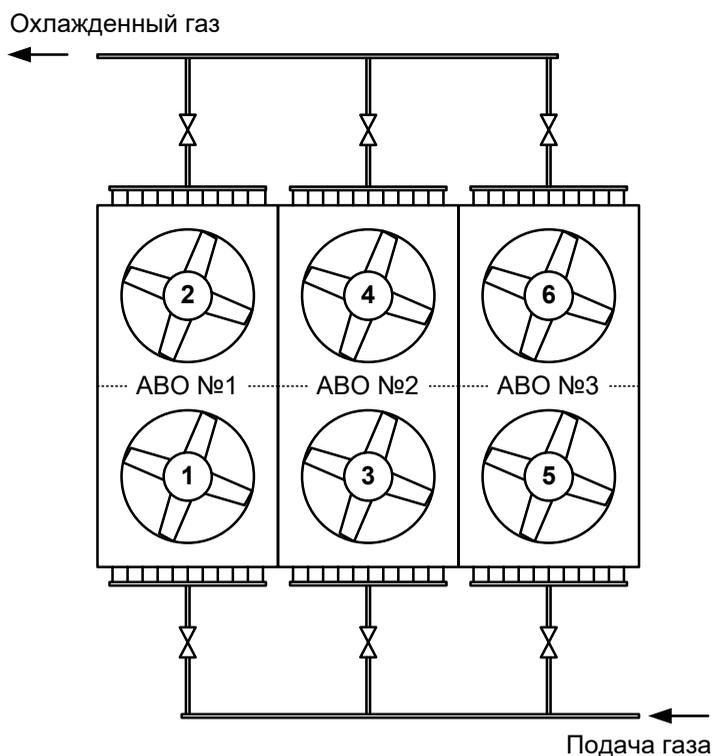


Рис. 2. Схема установки охлаждения газа для иллюстрации расчёта

Таблица 1

Исходные данные для расчёта

Параметр	Обозначение	Ед. изм.	Значение
Избыточное давление на входе АВО	$P_a$	кПа	64,9
Расход газа через один АВО	$q_{ABO}$	тыс. н.м <sup>3</sup> /ч	185,8
Длина участка теплообмена АВО	$L_{ABO}$	м	12
Количество труб АВО	$N_{мп}$	шт.	540
Внутренний диаметр трубы АВО	$d_{мп}$	м	0,025

Таблица 2

Значения коэффициентов взаимного влияния блоков АВО

№ блока	$b_{i0}$	$b_{i1}$	$b_{i2}$	$b_{i3}$	$b_{i4}$	$b_{i5}$	$b_{i6}$
1	0,01	0,07	-0,00042	-0,00031	-0,00001	0	0
2	0,0098	-0,00032	0,071	0	-0,00029	0	0
3	0,0103	-0,00035	-0,00007	0,07	-0,00039	-0,00031	-0,00009
4	0,0097	-0,00005	-0,00031	-0,00037	0,07	-0,00003	-0,00034
5	0,0096	0	0	-0,00039	-0,00002	0,0699	-0,00028
6	0,0106	0	0	-0,00006	-0,00035	-0,00028	0,0705

Таблица 3

Потребляемая мощность двигателей вентиляторов блоков

№ блока	1	2	3	4	5	6
Мощность, кВт	26,8	43,8	33,0	43,1	46,2	29,6

3. Данилушкин А.И., Крайнов В.Г., Мигачева Л.А. Оптимизация стационарного распределения нагрузки аппаратов воздушного охлаждения газа // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. 2011. Вып. №3(31). С. 159–165.
4. Бикчентай Р. Н., Козаченко А.Н., Поршаков Б.П. Влияние температуры транспортируемого газа на топливно-энергетические затраты КС // Газовая промышленность. 1991. №2. С. 19–21.
5. Меньшов Б.Г., Еришов М.С., Яризов А.Д. Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности М.: Недра, 2000. 487 с.
6. 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.
7. Абакумов А.М., Алимов С.В., Мигачева Л.А. Аналитическое и экспериментальное исследование стационарных режимов работы установок охлаждения газа компрессорных станций магистральных газопроводов // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. «Технические науки». 2010. №7. С. 113–117.
8. Габдрахманов А., Гаррис Н. Влияние эксплуатационного загрязнения на тепловые характеристики аппаратов воздушного охлаждения газа // Нефтегазовое дело. Уфа. 2003. С. 1–6.
9. Микаэлян Э.А. Топливо-энергетические затраты в магистральном транспорте газа // Газовая промышленность. 2002. № 5. С. 82–85.
10. Лутманов С.В. Линейные задачи оптимизации Ч.1. Линейное программирование. Пермь: Перм. ун-т, 2004. 128 с.
11. Алимов С.В., Данилушкин И.А., Мосин В. Н. Моделирование установившихся процессов теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения газа // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. «Технические науки». 2010. № 2 (26). С. 178–186.
12. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М.: Наука, 1974. 832 с.
13. Ковалёв М.М. Дискретная оптимизация (целочисленное программирование). Минск: Изд-во БГУ, 1977. 192 с.
14. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации: учеб. пособие. 2-е изд. М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2005. 368 с.
15. Land A.H., Doig A.G. An automatic method of solving discrete programming problems // "Econometrica". 1960. V.38, №3. Pp. 497–520.

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, тел. 89272014736  
E-mail: aidanilushkin@mail.ru

**DANILUSHKIN Alexander I.**

Doctor of Engineering Science, Professor of the Energy Supply of Industrial Enterprises Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244, tel. +79272014736  
E-mail: aidanilushkin@mail.ru

**ДАНИЛУШКИН Иван Александрович**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматического управления в технических системах Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, тел. 89277514177  
E-mail: idanilushkin@mail.ru

**DANILUSHKIN Ivan A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Automatic Control in Technical Systems Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244, tel. +79277514177  
E-mail: idanilushkin@mail.ru

Для цитирования: Данилушкин А.И., Данилушкин И.А. Оптимизация электропотребления электротехнического комплекса установки охлаждения газа // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.124-129. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.21.

For citation: Danilushkin A.I., Danilushkin I.A. Optimization of electrotechnical power consumption of gas cooling system complex // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 124-129. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.21.



Е.А. КРЕСТИН

## К ВОПРОСУ О ТЕОРЕТИЧЕСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОЙ НЕСЖИМАЕМОЙ ЖИДКОСТИ В ЗАЗОРАХ ПЕРЕМЕННОЙ ВЫСОТЫ

ON THE THEORETICAL STUDY OF THE HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF VISCOUS  
INCOMPRESSIBLE FLUID FLOW IN GAPS OF VARIABLE HEIGHT

*Приведен анализ работы прецизионных пар при наличии перекосов и несоосностей между плунжером и обоймой. Рассмотрено течение вязкой несжимаемой жидкости при пульсации перепада давления и осцилляции плунжера по периодическим произвольным законам в кольцевых щелевых зазорах с переменным по длине канала эксцентриситетом. Рассмотрен плоский канал, заполненный вязкой несжимаемой жидкостью, с углом наклона верхней стенки к нижней. Верхняя стенка совершает произвольные периодические движения в своей плоскости, перепад давления на концах канала изменяется также по произвольному периодическому закону, но с некоторым другим периодом. Задача решена в полярной системе координат. Так как краевая задача не имеет точного аналитического вывода, то найдено приближенное аналитическое решение.*

**Ключевые слова:** плунжерные пары, зазор бесконтактного уплотнения, прецизионные пары, плоский канал, осцилляция стенки, пульсация перепада давления

Как известно, нестационарные гидродинамические процессы в гидродинамике представляют интерес со стороны прикладной гидромеханики. В работах автора [1–4] было отмечено, что в реальных условиях плунжеру в гильзе обычно ничто не препятствует перемещаться в радиальном направлении. Там же были указаны и другие причины нарушения соосности и перекоса подвижных элементов. Например, в механическом толкателе газораспределительного устройства такой причиной является сила трения между кулачком и цилиндрическим плунжером толкателя. Поэтому плунжер в гильзе может занять либо эксцентрич-

*The analysis of the operation of precision pairs is given in the presence of distortions and misalignments between the plunger and the cage. The flow of a viscous incompressible fluid during the pulsation of the pressure drop and the oscillation of the plunger by periodic arbitrary laws in annular gap gaps with a variable eccentricity along the channel length is considered. A plane channel filled with a viscous incompressible fluid with an angle of inclination of the upper wall to the lower one is considered. The upper wall performs arbitrary periodic motions in its plane, the pressure difference at the ends of the channel also varies according to an arbitrary periodic law, but with some other period. The problem is solved in the polar coordinate system. Since the boundary-value problem does not have an exact analytic derivation, an approximate analytic solution is found*

**Keywords:** plunger pairs, contactless seal gap, precision pairs, flat channel, wall oscillation, differential pressure pulsation

ное положение, либо установиться с перекосом, тогда эксцентриситет будет переменным по длине канала. В варианте постоянного эксцентриситета задача для стационарного течения жидкости в кольцевом щелевом зазоре подробно рассмотрена в работах [5–7].

В настоящей работе исследуется более общий случай: течение вязкой несжимаемой жидкости при пульсации перепада давления и осцилляции плунжера по периодическим произвольным законам в кольцевых щелевых зазорах с переменным по длине канала эксцентриситетом (рис. 1). Как правило, в таком варианте течение вязкой несжимаемой



вокруг плунжера составляет менее 2 % от скорости меридиального течения жидкости (вдоль образующей плунжера). В работах [8, 9] применительно к плунжерным парам выполнено численное решение полного уравнения Навье-Стокса на ЭВМ для двумерной задачи и установлено, что в конусных щелях при  $L/D < 1$  (где  $L$  – длина плунжера,  $D$  – его диаметр) градиент периферийного давления вокруг плунжера пренебрежимо мал по сравнению с градиентом давления вдоль плунжера [10–12].

Таким образом, в работе рассмотрен плоский канал с углом наклона  $\alpha$  верхней стенки к нижней (см. рис. 2), заполненный вязкой несжимаемой жидкостью. Верхняя стенка выполняет произвольные периодические движения в своей плоскости, разница давления на концах канала изменяется также по произвольному периодическому закону, но с некоторым другим периодом.

Задача решена в полярной системе координат (рис. 3).

Из геометрических соображений получили:

$$\left. \begin{aligned} L &= R_1 - R_2, \\ h_{\text{эф}} &= \alpha \frac{R_1 + R_2}{2} = \alpha R_*, \\ R_* &= \frac{R_1 + R_2}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Таким образом, зазор переменной высоты привели к каналу с некоторой эффективной высотой зазора  $h_{\text{эф}}$ , проходящей через середину канала.

При решении задачи использованы следующие допущения:

- массовые силы пренебрежимо малы;
- нижняя стенка неподвижная;
- величина зазора  $h$  много меньше его длины  $h \ll L$ ;

– концевые эффекты пренебрежимо малы по сравнению с общей длиной канала;

– угол наклона мал, т.е.  $\Delta h \ll h_2$  (см. рис. 2), тогда  $\text{tg} \alpha \cong d$ , причем  $\text{tg} \alpha \cong 1$ ;

– жидкость несжимаема и вязкость ее достаточно велика, так что конвективными членами инерции можно пренебречь;

– процесс изотермический.

Уравнения движения и неразрывности в полярных координатах с учетом принятых допущений имеют вид:

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left( \nabla^2 v_r - \frac{v_r}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} \right), \quad (2)$$

$$\frac{\partial v_\varphi}{\partial t} = -\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \nu \left( \nabla^2 v_\varphi - \frac{v_\varphi}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} \right), \quad (3)$$

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_\varphi}{\partial \varphi} = 0. \quad (4)$$

Граничные условия, с учетом прилипания жидкости к стенкам канала, следующие:

$$\varphi = 0, v_r = v_\varphi = 0; \quad (5)$$

$$\varphi = \alpha, v_r = V(t)_c, v_\varphi = 0, \quad (6)$$

где  $V(t)_c$  – заданная периодическая скорость осцилляции стенки с периодом  $2 \frac{\pi}{\omega_1} = T_1$ ;

$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}$  – оператор Лапласа;

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости;

$\rho$  – плотность жидкости.

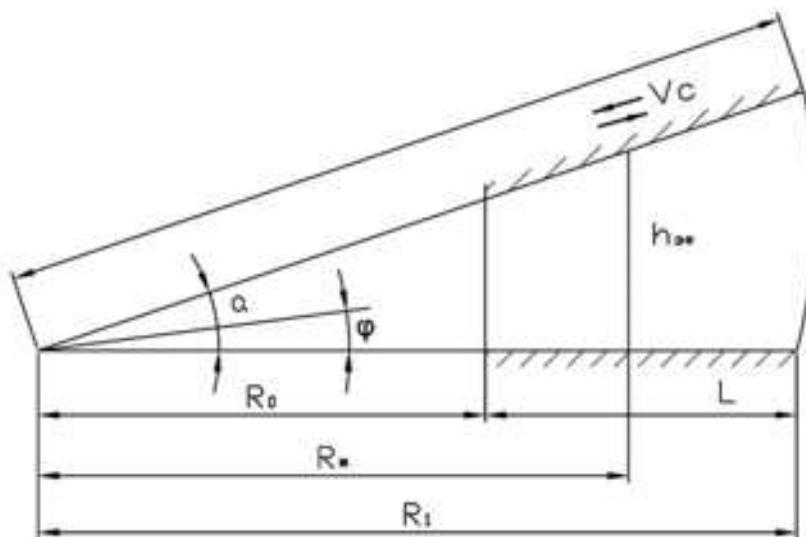


Рис. 3. Схема плоского канала переменной высоты в полярной системе координат

В силу того, что граничные условия для составляющей скорости  $v_\varphi$  при этом являются однородными, задача решена в предложении  $v_\varphi = 0$  во всем поле течения. Для давления и радиальной скорости получили следующие уравнения:

$$\frac{\partial v_r}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left( \nabla^2 v_r - \frac{v_r}{r^2} \right), \quad (7)$$

$$-\frac{1}{\rho r} \frac{\partial p}{\partial \varphi} + \frac{2\nu}{r^2} \frac{\partial v_r}{\partial \varphi} = 0, \quad (8)$$

$$\frac{\partial v_r}{\partial r} + \frac{v_r}{r} = 0 \quad (9)$$

с граничными условиями

$$\varphi = 0, v_r = 0; \quad (10)$$

$$\varphi = \alpha, v_r = V(t)_c. \quad (11)$$

Для обобщения результатов расчетов и удобства построения графических зависимостей решение задачи выполнено в безразмерном виде.

Тогда уравнения (7) – (11) в безразмерном виде запишем в виде:

$$\frac{\partial \bar{v}_r}{\partial \bar{t}} = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{r}} + \frac{\partial^2 \bar{v}_r}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}} \frac{\partial \bar{v}_r}{\partial \bar{r}} + \frac{1}{\alpha^2 \bar{r}^2} \frac{\partial^2 \bar{v}_r}{\partial \bar{\varphi}^2} - \frac{\bar{v}_r}{\bar{r}^2}, \quad (12)$$

$$-\frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{\varphi}} + \frac{2}{\bar{r}} \frac{\partial \bar{v}_r}{\partial \bar{\varphi}} = 0, \quad (13)$$

$$\frac{\partial \bar{v}_r}{\partial \bar{r}} + \frac{\bar{v}_r}{\bar{r}} = 0, \quad (14)$$

а граничные условия в виде:

$$\bar{\varphi} = 0, \bar{v}_r = 0; \quad (15)$$

$$\bar{\varphi} = 1, \bar{v}_r = \bar{V}(\bar{t})_c. \quad (16)$$

Краевая задача (12) – (16) не имеет точного аналитического решения. Чтобы построить приближенное аналитическое решение, заменим не зависящее от  $r$  граничное условие (16) следующим граничным условием:

$$\bar{\varphi} = 1, \bar{v}_r = \frac{\bar{R}_*}{\bar{r}} \bar{V}(\bar{t})_c. \quad (17)$$

На рис. 4 показано, как точное граничное условие (16) в некоторый момент времени отличается от приближенного граничного условия (17). Сравнение осуществлено на интервале  $\bar{R}_2 \leq \bar{r} \leq \bar{R}_1$ .

Чтобы показать, что граничные условия (16) и (17) на самом деле близки на интервале  $\bar{R}_2 \leq \bar{r} \leq \bar{R}_1$ , определим относительное отклонение этих двух функций:

$$\begin{aligned} \delta &= \left| \frac{\frac{\bar{R}_*}{\bar{r}} \bar{V}(\bar{t})_c - \bar{V}(\bar{t})_c}{\bar{V}(\bar{t})_c} \right| = \left| \frac{\bar{R}_*}{\bar{r}} - 1 \right| = \left| \frac{\bar{R}_* - \bar{r}}{\bar{r}} \right| \leq \max \left\{ \frac{\bar{R}_* - \bar{R}_1}{\bar{R}_1}, \frac{\bar{R}_* - \bar{R}_2}{\bar{R}_2} \right\} = \\ &= \frac{1}{2} \frac{\bar{R}_1 - \bar{R}_2}{\bar{R}_2} = \frac{\bar{L}}{2\bar{R}_* - \bar{L}} \leq \frac{\bar{L}}{2(\bar{R}_* - \bar{L})} = \frac{1}{2} \frac{1}{\frac{\bar{R}_*}{\bar{L}} - 1} \approx \frac{1}{2} \frac{\bar{L}}{\bar{R}_*} \leq 1. \end{aligned}$$

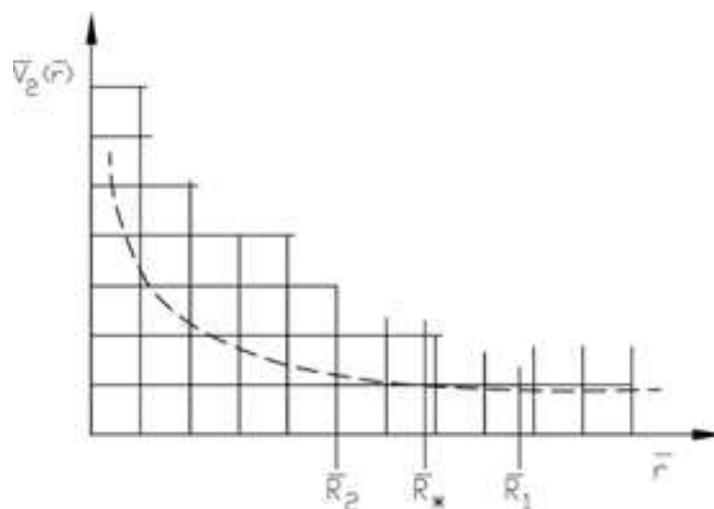


Рис. 4. Сравнение точного граничного условия с приближенным:  
 ————— точное условие (16)  
 - - - - - приближенное условие (17)

Следовательно, граничные условия (16) и (17) действительно близки на интересующем нас интервале  $\bar{r} \in [\bar{R}_2, \bar{R}_1]$ .

Таким образом, математически задача сформулирована.

**Выводы.** 1. Проведен анализ существующих решений о движении вязкой жидкости в щелевых зазорах плунжерных пар.

2. Указаны причины несоосности и перекоса прецизионных пар при работе подвижных бесконтактных уплотнений.

3. Рассмотрено течение вязкой несжимаемой жидкости при пульсации перепада давления и осцилляции плунжера по периодическим произвольным законам в кольцевых щелевых зазорах с переменным по длине канала эксцентриситетом.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

Об авторе:

#### КРЕСТИН Евгений Александрович

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

#### KRESTIN Evgeny A.

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

Для цитирования: Крестин Е.А. К вопросу о теоретическом исследовании гидродинамических характеристик течения вязкой несжимаемой жидкости в зазорах переменной высоты // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.130–134. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.22.

For citation: Krestin E.A. On the theoretical study of the hydrodynamic characteristics of viscous incompressible fluid flow in gaps of variable height // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 130-134. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.22.

А.А. КУДИНОВ  
Ю.Э. ДЁМИНА

## РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТВОДА УХОДЯЩИХ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ЧЕРЕЗ БАШНЮ ГРАДИРНИ

CALCULATION OF THE DRAINAGE SYSTEM OF LEAVING FLUE GASES FROM THE TURBINE THROUGH THE COOLING TOWER

*Приводятся результаты исследования системы отвода уходящих газов газотурбинной установки, работающей в парогазовом цикле, в атмосферу через вытяжную башню градирни с естественной вентиляцией воздуха. Применение подобной схемы удаления дымовых газов позволяет снизить температуру циркуляционной воды на выходе из градирни, что обеспечивает более глубокий вакуум в конденсаторе паровой турбины парогазовой установки с одновременным снижением капитальных затрат на строительство дымовых труб. В результате применения данной схемы достигается повышение абсолютного электрического коэффициента полезного действия турбин. Изложенная методика расчёта систем удаления уходящих дымовых газов от котла-утилизатора газотурбинной установки с перфорированным кольцевым распределителем позволяет на инженерном уровне определять конструктивные и массо-габаритные параметры данных систем.*

**Ключевые слова:** градирня, дымовые газы, газотурбинная установка, охлаждение, котел-утилизатор

Современные тепловые электрические станции должны отвечать жестким экономическим и экологическим требованиям. Необходимо повышать коэффициент полезного действия (КПД), эффективность работы котельного и вспомогательного оборудования. Энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2030 г. в области отечественной энергетики предусматривается строительство и ввод в эксплуатацию на тепловых электрических станциях (ТЭС) парогазовых установок утилизационного типа (ПГУ-У) [1, 2]. Одной из приоритетных задач совершенствования ПГУ-У является повышение абсолютного электрического КПД газовых и паровых турбин. В целях повышения экономичности парогазовых тепловых электрических станций предлагается осуществлять отвод уходящих газов в атмосферу через башню градирни [3, 7].

В статье приводится методика и результаты расчета башенной градирни с естественной вентиляцией воздуха, размещенной на парогазовой установке ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ. Применение отвода уходящих газов котла-утилизатора ГТУ в атмосферу через вытяжную башню градирни с есте-

*The article presents result of a research a system of the venting of exhaust gases of the recovery boiler the gas turbine plant through the natural draft cooling tower in the environment. The use of this scheme allows the flue gases to lower the temperature of the circulating water at the outlet of the cooling tower to provide a deeper vacuum in the condenser steam turbine combined cycle power plant with simultaneous reduction of capital to build chimneys. As a result of the application of this scheme, an increase in the absolute electric efficiency of turbines is achieved. As stated in Article method of calculating the removal of exhaust flue gas systems with a perforated distributor ring allows to determine the level of engineering design and volume requirements of these systems.*

**Key words:** cooling tower, exhaust gases, gas-turbine installation, cooling, radiation, waste-heat recovery unit

ственной вентиляцией воздуха позволяет повысить эффективность работы градирни и паротурбинной установки, избежать затрат на строительство и эксплуатацию дымовой трубы. Принципиальная схема системы отвода дымовых газов представлена на рис. 1.

Система удаления дымовых газов может иметь различное конструктивное исполнение. Предлагаются следующие варианты решения:

- дымовая труба, установленная внутри башни градирни [4];
- трубчатый газораспределитель с выходом через щелевое отверстие;
- трубчатый газораспределитель с выходными соплами;
- трубчатый газораспределитель с выходом из боковой грани;
- система с кольцевым распределителем.

Проведенные исследования показали, что наиболее оптимальной из представленных вариантов является система дымоудаления с кольцевым распределителем [5].

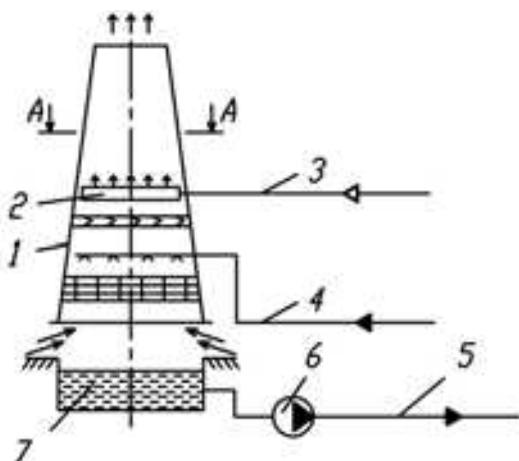


Рис. 1. Принципиальная схема

отвода дымовых газов через башню градирни:

- 1 – вытяжная башня градирни; 2 – коллектор системы отвода дымовых газов; 3 – уходящие газы от котла-утилизатора; 4 – сливной напорный трубопровод циркуляционной воды от конденсатора; 5 – напорный трубопровод охлажденной циркуляционной воды; 6 – циркуляционный насос; 7 – водосборный бассейн градирни

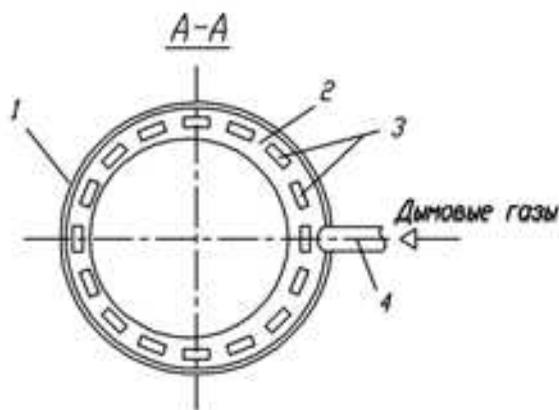


Рис. 2. Конструктивное решение

системы удаления дымовых газов:

- 1 – корпус башни градирни; 2 – кольцевой газораспределитель; 3 – отверстия для выхода дымовых газов; 4 – коллектор уходящих дымовых газов

В данной работе предлагается методика расчета подобной системы, конструктивное решение которой показано на рис. 2.

Далее представлена методика и дан пример расчета системы удаления дымовых газов для башенной градирни, установленной на Сызранской

ТЭЦ. Исходные данные для расчета представлены в табл. 1.

Результаты проведенного расчета эффективности охлаждения оборотной воды при удалении дымовых газов через башню градирни [3] представлены в табл. 2.

Анализ результатов расчетов показал, что при отводе уходящих газов самотяга возрастает на 32 %, при этом температура циркуляционной воды на выходе из градирни снижается на 6,9 % – с 29 до 27, что обеспечивает более глубокий вакуум в конденсаторе паровой турбины парогазовой установки.

Следующим этапом работы является разработка инженерной методики для расчета конструктивных параметров системы распределения дымовых газов внутри градирни, которая базируется на принципах расчета воздухопроводов равномерной раздачи, применяемых при проектировании систем вентиляции [6]. Так как рациональной оказалась система с кольцевым распределителем, в данной работе в качестве примера представлен расчет такой конструкции с кольцевым распределителем для башенной градирни с естественной вентиляцией воздуха, установленной на ПГУ-200 Сызранской ТЭЦ.

Пример расчета

1. Площадь поперечного сечения газораспределителя:

$$F = \frac{L_r}{3600v_n 2} = \frac{498740}{3600 \cdot 20 \cdot 2} = 3,46 \text{ м}^2. \quad (1)$$

2. Диаметр газораспределителя:

$$d = \sqrt{\frac{F \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{3,46 \cdot 4}{3,14}} = 1,86 \text{ м}. \quad (2)$$

3. Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_n d}{v_{кин}} = \frac{20 \cdot 1,86}{1,5 \cdot 10^{-5}} = 24,8 \cdot 10^5. \quad (3)$$

4. Коэффициент сопротивления трения:

$$\lambda = 0,114 \sqrt{\frac{K_s}{d} + \frac{68}{Re}} = 0,114 \sqrt{\frac{0,0004}{1,86} + \frac{68}{24,8 \cdot 10^5}} = 0,01044, \quad (4)$$

для листовой стали  $K_s = 0,1 \text{ мм} = 0,0001 \text{ м}$ .

5. Безразмерный параметр воздуховода:

$$\lambda \bar{l} = \frac{\lambda l}{2d} = \frac{0,01044 \cdot 144}{2 \cdot 1,86} = 0,40413. \quad (5)$$

6. Значение комплекса величин:

$$\frac{2d}{\lambda} = \frac{2 \cdot 1,86}{0,01044} = 356 \text{ м}.$$

Полученное значение больше  $l/2 = 72 \text{ м}$ , поэтому параметр отверстия определяется по следующим зависимостям:

Таблица 1

## Исходные данные для расчета системы удаления дымовых газов

Исходные данные	Обозначение	Единица измерения	Значение
Площадь оросителя	$F_{op}$	м <sup>2</sup>	2350
Высота оросителя	$H_{op}$	м	1
Высота градирни	$H_{гр}$	м	74,4
Диаметр основания башни	$D_{осн}$	м	60,4
Диаметр устья	$D_{уст}$	м	35,85
Высота воздухоходных окон	$H_{ок}$	м	6,5
Площадь воздухоходных окон	$F_{ок}$	м <sup>2</sup>	1029,28
Температура воздуха	$\vartheta_1$	°С	21
Относительная влажность воздуха	$\varphi_1$	%	54
Барометрическое давление	$p_b$	мм рт. ст.	745
Температура охлаждаемой воды	$t_1$	°С	38
Расход воды	$G_ж$	м <sup>3</sup> /ч	14000
Расход уходящих газов	$L_г$	м <sup>3</sup> /ч	498740
Длина перфорированного кольцевого коллектора	$l$	м	144
Количество отверстий	$n$	шт.	7
Скорость газов в кольцевом коллекторе	$v_H$	м/с	20

Таблица 2

## Результаты расчета системы удаления дымовых газов

Расчетные данные	Обозначение	Единица измерения	Значение показателя при удалении уходящих газов	
			через дымовую трубу	через градирню
Гидравлическая нагрузка	$q_ж$	м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·ч)	5,96	5,96
Самотяга градирни	$\Delta p$	Па	24,8	32,8
Расход воздуха	$G_в$	кг/с	1943	2227
Удельный расход воздуха	$\lambda$	-	0,50	0,61
Принятая температура воды на выходе из градирни	$t_2$	°С	29	27
Средняя температура воды в градирне	$t_{cp}$	°С	33,5	32,5
Разность температур воды в градирне	$\Delta t$	°С	9	11
Температура охлажденной воды	$t'_2$	°С	29,3	27,3

$$\mu\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{2 \cdot r_{\max}}{0,25\lambda\bar{l}(n-1)^2 + \frac{0,4(n-1)}{n} - 0,167(4n+1)(n-1)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 0,05}{0,25 \cdot 0,40413(7-1)^2 + \frac{0,4(7-1)}{7} - 0,167(4 \cdot 7 + 1)(7-1)}} = 0,068. \quad (6)$$

$$\mu\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{2 \cdot r_{\max}}{0,167(2n+1)(n+1) - 1 - 0,083\lambda\bar{l}(n^2-1) - 0,2(n-1)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 0,05}{0,167(2 \cdot 7 + 1)(7+1) - 1 - 0,083 \cdot 0,40413(7^2-1) - 0,2(7-1)}} = 0,0989. \quad (7)$$

Из двух полученных значений принимается меньшее

$$\mu\bar{\sigma} = 0,068.$$

7. Проверка выполнения условия:

$$n\mu\bar{\sigma} = 7 \cdot 0,068 = 0,476 < 1. \quad (8)$$

Условие применения зависимостей выполнено.

8. Площадь единичного отверстия:

$$\sigma = \frac{\mu\bar{\sigma}F}{\mu} = \frac{0,068 \cdot 3,46}{0,6} = 0,39 \text{ м}^2, \quad (9)$$

где коэффициент расхода  $\mu = 0,6$  – при острых краях выходного отверстия.

**Выводы.** Результаты расчета показали возможность применения системы отвода уходящих газов в атмосферу через вытяжную башню градирни с естественной вентиляцией воздуха. Это позволяет повысить эффективность работы градирни и паротурбинной установки ПГУ, а также избежать затрат на строительство и эксплуатацию дымовой трубы. Предложена методика расчета кольцевого перфорированного распределителя, что позволяет определять конструктивные характеристики данной инженерной системы.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 № 1715-р.

2. *Novopashina N., Puring S.* The use of energy saving technology as the basis for the state program implementation // MATEC Web of Conferences Editor V. Murgul. 2017. С. 06023.

Об авторах:

#### **КУДИНОВ Анатолий Александрович**

доктор технических наук, профессор кафедры тепловых электрических станций, зав. кафедрой тепловых электрических станций  
Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,  
тел. (846) 332-42-31

#### **ДЁМИНА Юлия Эрнестовна**

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции  
Самарский государственный технический университет  
Академия строительства и архитектуры  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,  
тел. (846) 337-81-03

3. *Кудинов А.А., Зиганшина С.К., Горланов С.П.* Повышение эффективности парогазовой ТЭС путем отвода уходящих газов котла-утилизатора ГТУ в атмосферу через вытяжную башню градирни с естественной вентиляцией воздуха // Промышленная энергетика. 2017. № 3. С. 33-38.

4. Патент 1813869 А1 СССР, Е 04 Н 12/28, 5/12. Дымовая труба – градирня / Демидов В.М., Куликов В.Д., Лаушин Н.Г.; заявл. 10.02.88; опубл. 07.05.93, Бюл. № 17. 3 с.

5. *Линник А.В., Случанинов Н.Н.* Исследование влияния системы совмещенного паро-газоудаления на работу градирни ТЭЦ // Современные наукоемкие технологии. 2013. № 8-1. С. 128-129.

6. *Гримитлин М.И.* Распределение воздуха в помещениях. СПб.: Авок Северо-Запад, 2004. 319 с.

7. Пат. 2453712 РФ, МПК7 F01K23/10. Парогазовая установка электростанции / Кудинов А.А., Зиганшина С.К., Горланов С.П.; заявл. 20.08.10; опубл. 20.06.12, Бюл. № 17. 3 с.

#### **KUDINOV Anatoly A.**

Doctor of Engineering Science, Professor Head of the Thermal Power Stations Chair  
Samara State Technical University  
443001, Russia, Samara, Pervomayskaya str., 18,  
tel. (846) 332-42-31

#### **DEMINA Yulia E.**

Senior Lecturer of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair  
Samara State Technical University  
Academy of Civil Engineering and Architecture  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,  
tel. (846) 337-81-03

Для цитирования: *Кудинов А.А., Дёмина Ю.Э.* Расчет системы отвода уходящих дымовых газов газотурбинной установки через башню градирни // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.135-138. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.23.  
For citation: *Kudinov A.A., Demina Yu.E.* Calculation of the drainage system of leaving flue gases from the turbine through the cooling tower // Urban construction and architecture. 2018. V.8, 1. Pp. 135-138. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.23.

# ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ

Приём статей для публикации в научно-техническом журнале «Градостроительство и архитектура» осуществляется в постоянном режиме.

1. В редакцию журнала необходимо вместе с рукописью статьи представить следующие документы:

- Сопроводительное письмо, подписанное руководителем организации, из которой представляется рукопись статьи. Для аспирантов, соискателей и работников СамГТУ сопроводительное письмо представлять не требуется.

- Рекомендацию кафедры, отдела, научно-технического совета или иного правомочного органа (заверенную выписку из протокола заседания) о публикации статьи в журнале.

- Экспертное заключение из организации, представляемой рукописью статьи, о возможности опубликования в открытой печати.

- Внешняя рецензия на рукопись статьи, оформленная по установленному редакцией образцу и заверенная по месту работы рецензента. Факт наличия рецензии не отменяет процедуры экспертной оценки, организованной редакцией: все статьи подлежат обязательному независимому рецензированию.

- Лицензионный договор.

**Статьи должны быть оформлены в соответствии со следующими правилами:**

1. Рукопись статьи оформляется в программе Microsoft Word для Windows.

2. Общие требования к оформлению документа:

- Формат страницы – А4, ориентация книжная
- Размеры полей страниц: верхнее, нижнее, левое – по 20 мм, правое – 10 мм
- Нумерация страниц – в нижней правой части
- Абзацный отступ – 1,25 см
- Шрифт текста рукописи – Times New Roman

Сут, размер 14pt

- Междустрочный интервал – 1,0

- Общий объём рукописи (включая иллюстрации и таблицы) – не более 10 страниц. Указанное ограничение объёма рукописи не распространяется на сведения об авторах.

3. Формулы следует полностью набирать с использованием редакторов формул MathType 6 или MS Equation 3.0. Запись формулы выполняется автором(ами) с использованием всех возможных способов упрощения и не должна содержать промежуточные преобразования.

4. Иллюстрации выполняются черно-белыми (с хорошей проработкой деталей) в программах Corel Draw (с расширением \*.cdr) или других редакторах (с расширением \*.jpeg или \*.tiff). Подписи к иллюстрациям набираются шрифтом Times New Roman Сут,

размер 14pt. Общее количество иллюстраций в статье, как правило, не более четырёх. Все графические материалы должны быть доступны для редактирования, поэтому необходимо представлять их в исходном формате.

5. Таблицы оформляются на отдельных листах формата А4, шрифт – Times New Roman Сут, размер 12pt. Названия таблиц размещаются в правом верхнем углу над таблицей. Все наименования, представленные в таблицах, даются без сокращений.

6. Библиографический список литературных источников размещается в конце текста статьи, при этом нумерация дается в порядке последовательности ссылок. На все литературные источники должны быть ссылки в тексте статьи [в квадратных скобках]. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати на момент представления рукописи статьи в редакцию. При ссылках на нормативные документы, например СНиП, номер и название документа указываются непосредственно в тексте статьи. Библиографический список должен быть оформлен в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008.

7. Для оформления англоязычной части статьи (сведения об авторе(ах), название статьи, аннотация) необходимо соблюдать следующие требования:

- сведения об авторах последовательно для каждого: фамилия, имя, отчество полностью, транслитерированные в латинские символы (смотри «Правила транслитерации» на сайте <http://translit.net.ru>); ученая степень (Doctor – доктор наук, PhD – кандидат наук, MSc – магистр, с указанием научного направления); ученые звания (Professor – профессор, Associate Professor – доцент, Academician of ... – академик ..., Cor. Member of ... – член-корреспондент ..., Senior Researcher – старший научный сотрудник, Junior Researcher – младший научный сотрудник, Senior lecturer – старший преподаватель, Engineer – инженер, post-graduate student – аспирант, applicant – соискатель, master student – магистрант, student – студент); официальное англоязычное название организации (учреждения), города, страны;

- название статьи, аннотация и ключевые слова должны быть идентичны русскому варианту.

8. Структура размещения основных частей статьи:

- индекс УДК
- инициалы, фамилии автора(ов)
- название статьи на русском языке
- название статьи на английском языке
- аннотация статьи на русском языке (10 строк)
- аннотация статьи на английском языке
- ключевые слова на русском языке (до 10 словосочетаний)

- ключевые слова на английском языке
- текст статьи (предпочтительно с выводами)
- библиографический список
- полные сведения об авторе(ах) на русском языке: фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность, контактные телефоны (с кодом города), e-mail автора(ов); наименование организации (с указанием почтового адреса учреждения), в которых работает автор(ы), на русском языке

- полные сведения об авторе(ах) на английском языке (см. выше).

9. Рукопись статьи, иллюстрации и таблицы должны быть представлены в редакцию:

- распечатанными с одной стороны на листах формата А4. Автор(ы) расписывается на обороте последней страницы и указывает дату;

- в электронном виде по электронной почте на адрес редакции [vestniksgasu@yandex.ru](mailto:vestniksgasu@yandex.ru), [uc-arch@yandex.ru](mailto:uc-arch@yandex.ru) или на электронном носителе (CD, DVD или USB флеш-накопителе). Наименование файлов для отправки: рукописи статьи – «Фамилия автора\_Название статьи»; иллюстраций – «Фамилия автора\_номер рисунка»; таблиц – «Фамилия автора\_номер таблицы». Названия файлов для отправки иллюстраций и таблиц должны совпадать с порядковым номером материала в рукописи статьи. Печатный и электронный варианты рукописи статьи должны быть идентичны.

**10. Обращаем Ваше внимание на то, что рукописи, не соответствующие требованиям редакции, не рецензируются, не публикуются и не возвращаются авторам, при этом редакция по собственной инициативе в переговоры с авторами не вступает.**

11. Публикации в журнале подлежат только оригинальные статьи, соответствующие тематическим направлениям журнала и ранее не публиковавшиеся в других изданиях.

12. При положительном решении редакции об опубликовании научной статьи с автором(ами) заключается лицензионный договор. Вознаграждение (гонорар) за опубликованные научные статьи не выплачивается.

13. Редакция имеет право представлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования, а также размещать данные материалы на Интернет-сайте журнала <http://journal.samgasu.ru>.

14. Авторский коллектив несет ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права или «ноу-хау» в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

15. Авторские права на каждый номер журнала (в целом) принадлежат учредителю журнала – СамГТУ. Перепечатка материалов журнала без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

**16. Плата с аспирантов (единственный автор) за публикацию статей не взимается.**

17. На платной основе в журнале и на сайте могут быть опубликованы материалы рекламного характера, имеющие прямое отношение к энергетике, архитектурно-строительной деятельности и образованию.

Подготовленные с учетом всех вышеперечисленных требований материалы научной статьи (рукопись статьи и сопроводительные документы к ней в печатном и электронном видах) должны быть запечатаны в конверт формата А4, на котором указывается адрес редакции: *Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194. ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», Академия строительства и архитектуры. Ответственному секретарю научно-технического журнала «Градостроительство и архитектура».*

Конверт с материалами может быть отправлен по почте, доставлен службой курьерской доставки или лично автором(ами) или доверенным лицом автора(ов). В случае отправки лично или с использованием курьерской доставки, конверт необходимо сдать в редакцию журнала «Градостроительство и архитектура» по адресу: *г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194, АСА СамГТУ, корпус II, каб. 632.*

По всем вопросам, связанным с публикацией статей в научно-техническом журнале «Градостроительство и архитектура», обращаться к ответственному секретарю Досковской Марии Сергеевне по телефону (846) 242-36-98 или по e-mail: [vestniksgasu@yandex.ru](mailto:vestniksgasu@yandex.ru), [uc-arch@yandex.ru](mailto:uc-arch@yandex.ru).