

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ISSN 2542-0151

№ 4 Т. 9
2019

URBAN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



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

ISSN 2542-0151

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

URBAN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Т.9, № 4

САМАРА
2019

УДК 71+72

Градостроительство и архитектура=Urban construction and architecture. 2019. Т.9, № 4. 170 с.

Учредитель:

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия:

И.И. АРТЮХОВ, д.т.н., профессор (Саратов)
Е.А. АХМЕДОВА, д. арх., профессор
Ю.П. БОЧАРОВ, д. арх., профессор (Москва)
А.Л. ВАСИЛЬЕВ, д.т.н., доцент (Н. Новгород)
В.В. ВАХНИНА, д.т.н., профессор (Тольятти)
С.Я. ГАЛИЦКОВ, д.т.н., профессор
А.Л. ГЕЛЬФОНД, д. арх., профессор (Н. Новгород)
В.П. ГЕНЕРАЛОВ, к. арх., профессор
А.И. ДАНИЛУШКИН, д.т.н., профессор
В.В. ЕЛИСТРАТОВ, д.т.н., профессор (С.-Петербург)
В.Н. ЗЕНЦОВ, д.т.н., профессор (Уфа)
Т.В. КАРАКОВА, д. арх., профессор
А.А. КУДИНОВ, д.т.н., профессор
И.В. ЛИПАТОВ, д.т.н., доцент (Н. Новгород)
Г.В. МУРАШКИН, д.т.н., профессор (Тольятти)
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
Д.А. ШАБАНОВ, к.т.н., профессор
Д.А. ШЛЯХИН, д.т.н., доцент
А. БОРОДИНЕЦ, D.Sc., профессор (Рига, Латвия)
З. ВОЙЧИЦКИ, D.Sc., профессор (Вроцлав, Польша)
Г. РАДОВИЧ, D.Sc. arch., профессор (Подгорица, Черногория)
М. КНЕЗЕВИЧ, D.Sc., профессор (Подгорица, Черногория)
Я. МАТУШКА, Ph.D, доцент (Пардубице, Чешская Республика)
А. МОЧКО, PhD, доцент (Вроцлав, Польша)
С. ОГНЕНОВИЧ, Ph.D, профессор (Скопье, Македония)
М. ПРЕМРОВ, D.Sc., профессор (Марибор, Словения)
Д. САФАРИК, главный редактор STVUN Journal (Чикаго, США)

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

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

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

Executive Secretary – PhD in Philology M.S. DOSKOVSKAYA

Editorial Board

I.I. ARTYUKHOV, D. Eng., Prof. (Saratov)
E.A. AKHMEDOVA, D. Arch., Prof.
Y.P. BOCHAROV, D. Arch., Prof. (Moscow)
A.L. VASILYEV D. Eng., Ass. Prof. (N. Novgorod)
V.V. VAKHINA, D. Eng., Prof. (Tolyatti)
S.Ya. GALITSKOV, D. Eng., Prof.
A.L. GELFOND, D. Arch., Prof. (N. Novgorod)
V.P. GENERALOV, PhD in Architecture, Prof.
A.I. DANILUSHKIN, D. Eng., Prof.
V.N. ELISTRATOV, D. Eng., Prof. (Sa. Petersburg)
V.N. ZENTSOV, D. Eng., Prof. (Ufa)
T.V. KARAKOVA, D. Arch., Prof.
A.A. KUDINOV, D. Eng., Prof.
I.V. LIPATOV, D. Eng., Ass. Prof. (N. Novgorod)
G.V. MURASHKIN, D. Eng., Prof. (Tolyatti)
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. SHLYKHIN, D. Eng., Ass. Prof.
A. BORODINECS, D.Sc., Prof. (Riga, Latvia)
Z. WOJCICKI, D.Sc., Prof. (Wroclaw, Poland)
G. RADOVIC, D.Sc. arch., Prof. (Podgorica, Montenegro)
M. KNEZEVIC, D.Sc., Prof. (Podgorica, Montenegro)
J. MATUŠKA, Ph.D., Ass. Prof. (Pardubice, Czech Republic)
A. MOCZKO, Ph.D., Ass. Prof. (Wroclaw, Poland)
S. OGNJENOVIC, Ph.D., Prof. (Skopje, Macedonia)
M. PREMROV, D.Sc., prof., (Maribor, Slovenia)
D. SAFARIK (Chicago, the USA)

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

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

в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций

на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

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

Каждой статье присваивается идентификатор цифрового объекта DOI

Индекс журнала в Объединенном каталоге «Пресса России»: 70570

Научное издание

Редактор Г.Ф. Конопина

Корректор, дизайн обложки М.В. Веселова

Подписано в печать 15.12.2019. Выпуск в свет 24.01.2020.

Формат 60х90 1/8. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Печ. л. 21,25. Тираж 300 экз. Заказ № 1861

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

Телефон: (846) 278-44-81

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

Отпечатано в типографии ООО «Слово»:

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

Содержание

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

- 4 Бутенко С.А., Залякаева Д.Р. Оценка качества и прочности бетона в условиях реального строительства
- 11 Гайсин А.З., Крутяев С.А., Глазачев А.О. Исследование влияния диаметра буронабивной сваи на изменение коэффициента постели при расчете на горизонтальные нагрузки
- 16 Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Колеснев Н.А., Силантьев И.А. Оценка проектной огнестойкости двухпролетной железобетонной балки здания
- 22 Кизимова О.В., Зобкова Н.В. Анализ дефектов перекрытий здания – объекта культурного наследия

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

- 27 Баландина О.А., Пуринг С.М. Исследование влияния температуры воздуха на уровень выделения оксидов азота в дымовых газах котельных установок
- 33 Монаркин Н.Н., Лукин С.В., Кочкин А.А. Влияние геометрических, теплофизических и режимных параметров на тепловую эффективность регенеративного теплоутилизатора
- 39 Никитин М.Н., Соловьева Т.С., Шляхтина О.В. Решения в явной форме для определения коэффициента гидравлического сопротивления турбулентному потоку

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- 47 Курмангалиева А.Р. Модель ливнедренажной канализации футбольного поля с искусственным покрытием
- 53 Михайлова И.Ю. Определение расчетных расходов во внутренних централизованных системах хозяйственно-питьевого водоснабжения многоквартирных домов
- 61 Стрелков А.К., Теплых С.Ю., Быстранова А.О. Современные методы очистки масложиродержащих сточных вод
- 66 Халтурина Т.И., Третьяков С.Г., Чурбакова О.В., Козлова С.А. Электрокоагуляционная обработка совместных маслоэмульсионных и хромсодержащих сточных вод предприятий металлообработки

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

- 74 Доладов Ю.И., Зорина М.А., Хабур И.В., Бокарева Е.Н., Додонова Д.А. Особенности монтажа пространственного решетчатого металлического покрытия производственного здания в условиях ограниченного пространства

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

- 82 Карелин Д.В., Чмир Ю.Э. Архитектоника растений в аспекте формирования природоподобных объектов
- 91 Косенкова Н.А., Литвинов Д.В., Косенкова Е.В. Ретроспективный анализ исторически сложившихся градостроительных доминант

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- 99 Вологодина Н.Н., Александрова О.Ю. Морфологическая парадигма историко-генетической реконструкции природного объекта как императив в исследовании и проектировании

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

- 109 Астафьева Н.С., Лагута И.В., Кукарина Е.Е., Емельянова Я.О. Тенденции «зеленого» строительства в мире и современной России
- 118 Данилина Н.В., Привезенцева С.В. Разработка планировочного решения пешеходно-коммуникационного каркаса в транспортно-пересадочных узлах с учетом организации движения маломобильных групп граждан
- 124 Калинин Н.А., Жданова И.В., Кузнецова А.А. Систематизация видов естественного освещения зданий
- 132 Кукина И.В., Чуй Я.В., Горша А.А. Ключевые аспекты формирования открытых общественных пространств на жилых территориях
- 140 Волкова Л.А., Литвяк Т.В. Преимущества квартальной застройки в формировании комфортной жилой среды
- 148 Филиппов В.Д. Линейные города: независимые американские проекты

ЭНЕРГЕТИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- 156 Крестин Е.А. Оптимизация энергозатрат на стадии проектирования и доводки толкателя газораспределительного механизма двигателя

ПРОМЫШЛЕННАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

- 163 Парамонов А.М., Мостовенко Л.В. Вариативные граничные условия для решения задачи движения запыленного потока в инерционно-вакуумном золоудловителе
- 170 ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ
И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ



УДК 691.32:620.1

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.1

С. А. БУТЕНКО
Д. Р. ЗАЛЯКАЕВА

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В УСЛОВИЯХ РЕАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ASSESSMENT OF QUALITY AND STRENGTH OF CONCRETE IN CONDITIONS OF REAL CONSTRUCTION

Определение фактического класса бетона в монолитных железобетонных конструкциях является важнейшим фактором, определяющим качество и прочность конструкций. На практике фактический класс бетона может отличаться от проектного значения. Если это отличие происходит в сторону снижения фактического класса бетона, то соответственно снижаются нормативные и расчетные характеристики бетона, несущая способность и жесткость конструкций и возникает необходимость усиления конструкций. Действующие нормативные документы позволяют определять фактический класс бетона как при сплошном, так и при выборочном обследовании конструкций. В статье рассмотрены конкретные примеры по определению фактического класса бетона и сделаны выводы о рациональном применении сплошного или выборочного обследования конструкций разного типа на конкретных примерах.

Ключевые слова: партия бетона, неразрушающие методы контроля прочности, средняя прочность, фактический класс бетона

При возведении зданий и сооружений из монолитного бетона нередко возникают споры между поставщиком и потребителем бетонной смеси. Суть разногласий заключается в том, что класс бетонной смеси, указанный поставщиком, не соответствует классу бетона в конструкции в возрасте 28 суток. Как правило, он ниже. При этом следует учитывать тот

The determination of the actual class of concrete in monolithic reinforced concrete structures is the most important factor determining the quality and strength of structures. In practice, the actual grade of concrete may differ from the design value. If this difference occurs in the direction of decreasing the actual concrete class, then the normative and design characteristics of concrete, the bearing capacity and rigidity of the structures, respectively, decrease and there is a need to strengthen the structures. Current regulatory documents allow you to determine the actual class of concrete in both continuous and spot inspection of structures. The article discusses specific examples to determine the actual class of concrete and draws conclusions about the rational use of a continuous or selective examination of structures of various types with specific examples.

Keywords: batch of concrete, non-destructive methods of strength control, average strength, actual grade of concrete

фактор, что поставщик бетонной смеси гарантирует поставку бетона одного класса, одного состава и по одной технологии. Возникает вопрос – чем объяснить снижение класса бетона, как и какими способами его определять? В условиях реального строительства на качество бетонной смеси влияет множество факторов [1], в том числе:

- правильность подбора состава бетонной смеси;
- точность и достоверность дозировки компонентов бетонной смеси;
- сроки и условия транспортировки бетонной смеси;
- сроки и качество укладки бетонной смеси;
- условия твердения бетонной смеси.

Все эти факторы влияют на прочность бетона и соответственно на класс бетона. В настоящее время определение класса бетона регламентируется ГОСТ 18105–2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности», который был введен взамен ГОСТ 53231–2001 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности». По поводу целесообразности такой замены ведется достаточно острая дискуссия [2–5], где мнения авторов расходятся. Например, в статье Л.М. Дерюгина [2] отмечено, что «введенный ГОСТ 53231–2001 не прошел широкое предварительное рассмотрение с участием заинтересованных в нем организаций, в первую очередь строительных, которые являются основными потребителями монолитного бетона». Автор статьи указывает на несовершенство и на неоднозначную трактовку термина партии монолитного бетона – «партии БСГ» и высказывает сомнение в целесообразности применения сплошного контроля прочности бетона неразрушающими методами, аргументируя свою позицию следующими соображениями:

- неточность неразрушающих методов;
- недостаточность инструментальной базы и квалифицированного персонала;
- невозможность применения данных методов для большеобъемных конструкций (от 400 м³);
- значительные технические и организационные сложности и высокая стоимость этих работ, не предусмотренных в сметах на строительство.

В итоге автор делает вывод, что ГОСТ 53231–2001 «нуждается в серьезной доработке и сверке с другими действующими документами».

Данную позицию разделяют и авторы работы [3], по мнению которых:

- « – понятие «класс бетона» необходимо лишь при расчете конструкций по первому предельному состоянию при назначении нормативного сопротивления бетона;
- отказ от «класса бетона» и возвращение к понятию «марка бетона» исключит большое количество ненужных вычислений и повысит надежность контроля прочности бетона;
- контроль прочности бетона в конструкциях по результатам испытания контрольных кубов из той же партии бетона должен быть полностью запрещен;

- отмена понятия «класс бетона» упростит правила контроля прочности бетона без какой-либо оценки его однородности».

В итоге авторы статьи [3] делают вывод, что «действующий в настоящее время ГОСТ Р-18105 является одним из самых некачественных нормативных документов. Он содержит множество ошибок, противоречий и надуманных правил. В лабораториях и других подразделениях, контролирующих прочность бетона при монолитном строительстве, многие считают, что ГОСТ специально написан так, чтобы для его осмысления необходимо было проводить специальное обучение».

Рассмотренная точка зрения авторов [2, 3] по поводу несовершенства действующего ГОСТ 18105–2010 достаточно аргументированно опровергается в статье [4], где понятие «класс бетона» неразрывно связано с обеспечением определенного уровня надежности конструкций и с возможностью заводов железобетонных изделий экономить цемент за счет повышения однородности бетонной смеси на стадии его изготовления. Автор данной статьи [4] совершенно справедливо замечает по поводу критики ГОСТ 18105 в статье [3], что «вводу класса бетона и разработке принятых сейчас статистических методов контроля прочности бетона предшествовала многолетняя работа большого коллектива под руководством проф. А.А. Гвоздева. Проводился анализ работы бетонных заводов, процесс контроля моделировался на ЭВМ. Промежуточные результаты неоднократно обсуждались на заседаниях секций научно-технического совета НИИЖБ. В подготовке ГОСТ 18105 участвовали десятки специалистов различных организаций. Иногда дискуссии длились часами.

Авторы без какой-либо аргументации отрицают важность и полезность этой работы, называя «никому не нужными» статистические вычисления для контроля прочности бетона при изготовлении. Они игнорируют тот факт, что применяемый контроль обеспечивает необходимую надежность конструкций. Такая позиция ничего, кроме удивления, вызывать не может».

Вопросы контроля и оценки качества бетона и его свойств на всех стадиях изготовления, укладки и твердения рассматриваются также в статье [6].

Следует отметить, что при обследовании монолитных железобетонных конструкций одним из важнейших факторов является правильность и точность определения фактического класса бетона $B_{ф}$ на основании которого определяется необходимость проведения поверочных расчетов и усиления конструкций, сни-

жается возможность возникновения аварийных ситуаций. В ГОСТ 18105 фактический класс бетона V_f связан с фактической прочностью бетона R_m в партии бетона и коэффициентом требуемой прочности K_T , который зависит от среднего коэффициента вариации \bar{V} , $V_f = R_m / K_T$. Зависимость коэффициента K_T от среднего коэффициента вариации \bar{V} в существующих нормативных документах трактуется неоднозначно, что показано на рис. 1.

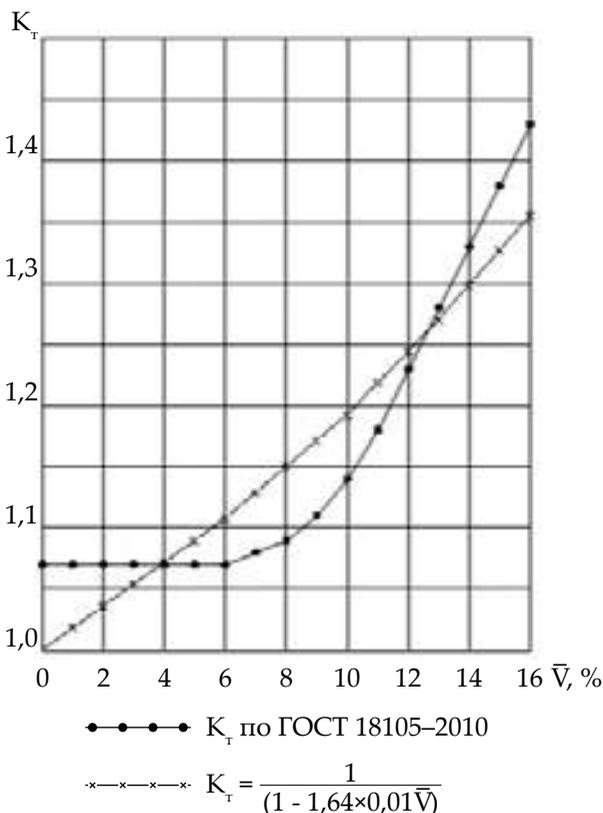


Рис. 1. Зависимость K_T от \bar{V}

Для обычного тяжелого бетона при определении класса бетона при обеспеченности (показателе надежности) 0,95 по закону нормального распределения зависимость K_T от \bar{V} рассчитывается по формуле

$$K_T = \frac{1}{(1 - 1,64 \times 0,01 \bar{V})},$$

из которой определяется класс бетона и соответствующие нормативные и расчетные характеристики тяжелого бетона, заложенные в действующих строительных нормах по расчету бетонных и железобетонных конструкций.

В ГОСТ 18105–2010 коэффициент K_T определяется по табл. 2. Из приведенных на рис. 1 зависимостей K_T от \bar{V} видно, что при значении

\bar{V} от 0 до 4 и от 13 до 16 % действующий ГОСТ 18105–2010 приводит к заниженному значению класса бетона по сравнению с зависимостью, заложенной в действующих нормативных документах по расчету железобетонных конструкций. При коэффициенте вариации \bar{V} от 4 до 13 % действующий ГОСТ 18105–2010 приводит к завышению класса бетона по сравнению со СНиПом и СП по расчету конструкций. Такое противоречие указывает на актуальность вопроса по определению фактического класса бетона в монолитных конструкциях. Вследствие того, что в действующем ГОСТ 18105–2010 класс бетона связан с фактической средней прочностью бетона в партии бетона, возникает вопрос, что считать партией бетона, от определения которой зависит и коэффициент вариации. В данном ГОСТе понятие «партия бетона» для монолитных конструкций трактуется недостаточно четко. В соответствии с данным ГОСТом объем партии бетона трактуется следующим образом: объем бетонной смеси, готовой к применению (БСГ) одного номинального состава, приготовленный по одной технологии и уложенный в течение не менее одних суток и не более одной недели.

В условиях реального строительства бетонирование нескольких конструкций из БСГ одного состава и от одного поставщика может быть произведено в течение одной смены. Таким образом, объем партии БСГ может трактоваться как объем бетона, уложенный в течение от трех смен (одни сутки) до 21 смены (одна неделя). Такой широкий диапазон трактовки объема партии бетона позволяет в зависимости от требований заказчика и его финансовых возможностей включить в понятие «партия бетона» от одной до нескольких монолитных конструкций, что позволяет вести выборочный или сплошной контроль прочности бетона монолитных конструкций неразрушающими методами в соответствии с ГОСТ 22690–2015 «Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля». Вопросы определения прочности бетона неразрушающими методами посвящено множество работ [6–10], среди которых следует отметить работы, выполненные в НИИЖБ (г. Москва) и НИИСК (г. Киев), где проанализированы существующие методы испытаний и даны рекомендации по статистической обработке результатов испытаний. Действующий ГОСТ 18105–2010 разработан с учетом результатов исследований, выполненных в этих организациях.

Авторами настоящей статьи были проанализированы и апробированы различные методы неразрушающего контроля прочности бетона (базовые и косвенные) в лабораторных и построчных условиях.

Были проанализированы и апробированы два базовых метода:

- метод отрыва со скалыванием (фундаментные плиты, колонны);
- выбуривание кернов из фундаментных плит и их испытание на сжатие;
- четыре косвенных метода:
 - метод упругого отскока;
 - метод пластических деформаций;
 - метод упругого импульса;
 - ультразвуковой импульсный метод.

При выполнении этой работы использовалось оборудование и приборы, имеющиеся на кафедрах СК и ПСМИК АСА СамГТУ.

Из анализа полученных результатов наиболее оптимальными, достоверными и наименее трудозатратными были признаны:

- базовый метод отрыва со скалыванием с использованием прибора ПОС-30МГ 4 «Скол» (рис. 2);
- косвенный метод ударного импульса с использованием прибора ИПС МГ 4.03 (рис. 3).

Прочность бетона конструкций, определяемая через коэффициент K_c , связывающий базовый и косвенный методы, составляет для обследованных конструкций от $K_c=0,97$ до $K_c=1,12$ для разных партий конструкций, что не выходит за

пределы значений, установленных ГОСТ 22690–2015. Перечень конструкций, на которых проведены испытания, представлен в табл. 1 и 2.

В работе приведены результаты выборочного и сплошного контроля фундаментных плит и колонн на 5 зданиях на 4–х объектах и проанализированы результаты по одной партии конструкций. На пятом объекте (школа в с. Елховка) проанализированы результаты по трем партиям конструкций.

При обследовании фундаментных плит индексом «п» в (табл. 2) обозначено количество участков испытаний при базовом и косвенном методах.

Выборочный контроль требует значительно меньше технических и финансовых затрат, но существует реальная опасность не учесть выявить конструкции, требующие усиления вследствие недостаточной прочности бетона. Сплошной контроль более трудоемкий и затратный, но позволяет выявить конкретные конструкции, обладающие недостаточной несущей способностью вследствие того, что фактический класс бетона $V_{ф}$ ниже проектного значения $V_{пр}$. При обследовании первоначально выявлялись косвенным (оценочным) методом конструкции, имеющие наименьшую проч-



Рис. 2. Измеритель прочности бетона ПОС-30 МГ 4 «Скол»



Рис. 3. Электронный измеритель прочности ИПС МГ 4.03

Таблица 1

Результаты определения фактического класса бетона
в монолитных железобетонных конструкциях

№ п/п	Показатель	Жилое здание, г. Самара, ул. Ново-Садовая, 106 Б	ТЦ «Hoff», г. Самара, Московское шоссе, 106	Школа, с. Елховка	Школа, с. Елховка	Школа, с. Елховка
1	Вид конструкции	Колонны	Колонны	Колонны	Колонны	Колонны
2	Класс бетона по проекту $B_{пр}$	B25	B20	B25	B25	B25
3	Количество конструкций в партии	14	18	12	11	12
4	Средняя прочность бетона в партии $\bar{R}_{мр}$, МПа	33,0	21,7	25,1	27,9	16,9
5	Коэффициент вариации в партии бетона V , %	15,6	27	32,3	23,5	31,3
6	Фактический класс бетона в партии $B_{ф}$	B23,4	B11	B10,8	B16,2	B7,6
7	Количество конструкций, где $B_{ф} < B_{пр}$	14	18	12	11	12
8	Средняя прочность бетона в конструкциях, МПа	27,3–0,7	15,0–37,1	8,5–36,7	17,1–41,9	8,0–25,1
9	Коэффициент вариации бетона в конструкциях из одной партии V_i , %	6–29	11–29	9–36,1	12–26	16–35,4
10	Фактический класс бетона в конструкциях из одной партии $B_{ф}$	B14–B33	B8,1–B26	B7–B29	B12,5–B33	B5,5–B19,8
11	Количество конструкций в одной партии, где $B_{ф} < B_{пр}$	5	10	9	3	12

ность бетона, наибольшую прочность бетона и среднюю прочность бетона в одной партии конструкций. Далее, посредством базового метода (отрыв со скалыванием), вычислялось среднее значение коэффициента K_c .

Конкретные примеры по результатам выбора того или иного способа контроля прочности бетона в монолитных конструкциях на объектах Самарской области приведены в табл. 1 и 2. Были проанализированы результаты определения фактического класса бетона конструкций одной серии и одного возраста от 30 до 60 сут. Определив фактический класс бетона, можно, при необходимости, определить деформативные и жесткостные характеристики

конструкций в соответствии с действующими нормативными документами (СНиП, СП).

В таблицах в графах 2–6 показаны результаты при выборочном контроле прочности бетона, в графах 7–10 – при сплошном контроле прочности бетона. Из приведенных результатов видно, что при менее затратном выборочном контроле прочности бетона в линейных элементах, в частности в колоннах, возможно принятие экономически не обоснованных решений о проведении поверочных расчетов и об усилении конструкций всей партии бетона. Для таких конструкций следует проводить сплошной контроль прочности бетона, что приведет к сокращению «проблемных» конструкций,

Таблица 2

Результаты определения фактического класса бетона
в монолитных железобетонных конструкциях

№ п/п	Показатель	Цех 1А, г. Самара, ПАО «Кузнецов»	Жилой дом, г. Самара, ул. А. Толстого, 100
1	Вид конструкции	Силовая плита пола	Фундаментная плита
2	Класс бетона по проекту $B_{пр}$	B22,5	B25
3	Количество конструкций в партии	3200 м ²	403 м ²
4	Средняя прочность бетона в партии \bar{R}_m , МПа	23,2 (n=6)	29,9 (n=7)
5	Коэффициент вариации в партии бетона \bar{V} , %	23,0	10,4
6	Фактический класс бетона в партии $B_{ф}$	B14	B25,8
7	Количество конструкций, где $B_{ф} < B_{пр}$	3200 м ²	0
8	Средняя прочность бетона в конструкциях, МПа	24,4 (n=27)	30,6 (n=21)
9	Коэффициент вариации бетона в конструкциях из одной партии V_i , %	31,0	12,5
10	Фактический класс бетона в конструкциях из одной партии $B_{ф}$	B11	B24,5
11	Количество конструкций в одной партии, где $B_{ф} < B_{пр}$	3200 м ²	0

в которых $B_{пр} < B_{ф}$. При контроле прочности бетона плоских конструкций, в данном случае фундаментных плит, целесообразно проводить выборочный контроль прочности и лишь при получении отрицательного результата дополнить его сплошным контролем.

Выводы. При контроле прочности бетона плоских конструкций (фундаментные плиты, плиты перекрытий и др.) возможен менее трудоемкий и менее затратный выборочный контроль прочности бетона.

При контроле прочности бетона линейных конструкций (колонны, балки) целесообразно проводить сплошной контроль прочности бетона, позволяющий выявить конкретные конструкции, имеющие фактический класс бетона ниже проектного и возможно требующие усиления.

Введение понятия «класс бетона» вполне целесообразно, так как стимулирует повышение культуры производства на всех стадиях строительства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пиманов С.И., Ибрагимов Р.А. Влияние выдерживания бетонной смеси на физико-технические свойства бетона // Известия ВУЗов. Строительство. 2018. № 11. С. 58–68.

2. Дерюгин Л.М. К вопросу оценки качества и прочности бетона // Бетон и железобетон. 2014. № 1. С. 23–27.

3. Гончаров А.А., Свиридов В.Н. О правилах контроля прочности бетона // Бетон и железобетон. 2015. № 3. С. 26–27.

4. Краковский М.Б. О статье А.А. Гончарова и В.Н. Свиридова «О правилах контроля прочности бетона» // Бетон и железобетон. 2015. № 5. С. 26–27.

5. Коревицкая М.Г., Кузеванов Д.В. Совершенствование нормативной базы для механических методов неразрушающего контроля прочности бетона // Бетон и железобетон. 2016. № 1. С. 18–20.

6. Старчуков Д.С., Козин П.А., Сватовская Л.Б., Юров О.В., Кабанов А.А. Метод оценки свойств бетона по показателю индекса качества // Бетон и железобетон. 2015. № 3. С. 5–7.

7. Методические рекомендации по статистической оценке прочности бетона при испытании неразрушающими методами. МДС 62–1.2000. М.: ГУП «НИИЖБ». 2001. С. 11.

8. Указание по испытанию прочности бетона в конструкциях и сооружениях неразрушающими методами с применением приборов механического действия. РУ 171–67. Киев: Будивельник, 1968. 79 с.

9. Золотухин Ю.Д. Испытание сооружений: справочное пособие. Минск: Высшая школа, 1992. 272 с.

10. Соколов Б.С., Зенин С.А., Крылов С.Б. Железобетонные конструкции высотных зданий // Бетон и железобетон. 2016. № 2. с. 2–5.

REFERENCES

1. Pimanov S.I., Ibragimov R.A. The effect of aging concrete mixture on the physical and technical properties of concrete. *Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo* [News of Higher Education Institutions. Construction], 2018, no. 11, pp. 58–68. (in Russian)

2. Deryugin L.M. On the issue of assessing the quality and strength of concrete. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2014, no. 1, pp. 23–27. (in Russian)

3. Goncharov A.A., Sviridov V.N. About concrete strength control rules. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2015, no.3, pp. 26–27. (in Russian)

4. Krakovskiy M.B. About the article of A.A. Goncharov and V.N. Sviridov «About concrete strength control rules». *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2015, no.5, pp. 26–27. (in Russian)

5. Korevitskaya M.G., Kuzevanov D.V. Improving the regulatory framework for mechanical methods of non-destructive testing of concrete strength. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2016, no.1, pp. 18–20. (in Russian)

6. Starchukov D.S., Kozin P.A., Svatovskaya L.B., Yurov O.V., Kabanov A.A. Method for assessing concrete properties by quality index. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2015, no.3, pp. 5–7. (in Russian)

7. MDS 62–1.2000. *Metodicheskie rekomendatsii po statisticheskoy otsenke prochnosti betona pri ispytanii nerazrushayushchimi metodami*. Moscow, GUP «NIIZhB», 2001. 11 p.

8. *Ukazanie po ispytaniyu prochnosti betona v konstruktsiyakh i sooruzheniyakh nerazrushayushchimi metodami s primeneniem priborov mekhanicheskogo deystviya*. RU 171–67. Kiev, Budivel'nik, 1968. 79 p.

9. Zolotukhin Yu.D. *Ispytanie sooruzheniy. Spravochnoe posobie* [Testing Facilities: A Reference Guide]. Minsk «Vysshaya shkola», 1992. 272 p.

10. Sokolov B.S., Zenin S.A., Krylov S.B. Reinforced concrete structures of high-rise buildings. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete], 2016, no.2, pp. 2–5. (in Russian)

Об авторах:

БУТЕНКО Сергей Александрович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций, доцент кафедры строительных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: m.s.ivanova79@mail.ru

BUTENKO Sergey A.

PhD in Engineering Science, Senior Researcher of the Production of Building Materials, Products and Structures Chair, Associate Professor of the Building Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: m.s.ivanova79@mail.ru

ЗАЛЯКАЕВА Динара Робертовна

магистрант кафедры строительных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: zalyackaewa@yandex.ru

ZALYAKAEVA Dinara R.

Master's Degree Student Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: zalyackaewa@yandex.ru

Для цитирования: Бутенко С.А., Зальякаева Д.Р. Оценка качества и прочности бетона в условиях реального строительства // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 4. С. 4–10. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.1. For citation: Butenko S.A., Zalyakaeva D.R. Assessment of Quality and Strength of Concrete in Conditions of Real Construction. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 4–10. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.1.

А. З. ГАЙСИН
С. А. КРУТЯЕВ
А. О. ГЛАЗАЧЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИАМЕТРА БУРОНАБИВНОЙ СВАИ НА ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОСТЕЛИ ПРИ РАСЧЕТЕ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ

**STUDY OF THE INFLUENCE OF A BORED PILE DIAMETER ON CHANGE
 OF COEFFICIENT OF SUBGRADE REACTION AT CALCULATION
 FOR HORIZONTAL LOADS**

Показана проблема проектирования фундаментов с использованием длинных буронабивных свай большого диаметра. Такие сваи чаще всего применяются при строительстве зданий и сооружений, на фундаментах которых передаются большие нагрузки, причем такие здания часто строятся на площадках со сложными грунтовыми условиями. При проектировании фундаментов с применением таких свай возникает необходимость их расчета на горизонтальную нагрузку и изгибающий момент. Статья посвящена исследованиям зависимости коэффициента постели от диаметра сваи при расчете длинных буронабивных свай большого диаметра в глинистых грунтах. При проектировании фундаментов с применением таких свай возникает необходимость их расчета на горизонтальную нагрузку и изгибающий момент. Для определения закономерности изменения коэффициента постели от диаметра сваи выполнены численные исследования в трехмерной постановке. По полученным результатам построены графики «нагрузка – перемещение». Показана методика расчета коэффициента постели при известных перемещениях оголовка сваи и приложенной нагрузки. Выявлены закономерности изменения деформативности грунтового основания при увеличении диаметра сваи и предложен коэффициент, учитывающий эту зависимость.

Ключевые слова: буронабивная свая, коэффициент постели, горизонтальная нагрузка

Сегодня все больше строится зданий и сооружений со значительными нагрузками на фундаменты. Наиболее рациональным решением является использование буронабивных свай. Изготовление таких свай требует немало финансовых затрат, поэтому важной задачей для проектировщика является использование максимально несущей способности основания при недопущении излишней материалоемкости. Для этого требуется применение соответствующих методик расчета усилий в свае и ее деформации. Этот вопрос является наиболее

The problem of designing foundations using long bored piles of large diameter is shown. Such piles are most often used in the construction of buildings and structures, on the foundations of which large loads are transferred, and such buildings are often built on sites with difficult soil conditions. When designing foundations using such piles, it becomes necessary to calculate them for horizontal load and bending moment. The article is devoted to studies of the dependence of the coefficient of subgrade reaction on the diameter of piles when calculating long bored piles of large diameter in clay soils. To determine the patterns of changes in the coefficient of subgrade reaction from the diameter of the piles, numerical studies in a three-dimensional setting were performed. Based on the results obtained, the graphs «load – displacement» are constructed. The method of calculating the coefficient of subgrade reaction with known movements of the pile head and the applied load is shown. The regularities of changes in the deformability of the soil base with an increase in the diameter of the pile are revealed and a coefficient taking into account this dependence is proposed.

Keywords: bored pile, coefficient of subgrade reaction, horizontal load

важным при расчете буронабивных свай большого диаметра и большой длины. Вопрос взаимодействия наиболее часто применяемых свай с грунтовым основанием довольно хорошо изучен [1–8], чего нельзя сказать о большеразмерных сваях.

При проектировании фундаментов с применением таких свай возникает необходимость их расчета на горизонтальную нагрузку и изгибающий момент. Однако существующие методы расчета, в том числе изложенные в нормативных документах, малоприменимы для таких

свай, поскольку расчетные параметры их работы в грунте несколько отличаются от свай с небольшим поперечным сечением. Одним из таких факторов является малая изученность зависимости коэффициента постели от диаметра сваи.

Проблема расчета буронабивных свай большого диаметра на горизонтальную нагрузку в первую очередь представляет собой решение задачи выбора модели грунта и составление расчетной схемы. Наибольшее распространение и широкое применение на данный момент нашла модель местных деформаций Фусса-Винклера, при использовании которой свая рассматривается как балка на линейно-деформируемом основании. В этой модели в качестве расчетного параметра грунта принят коэффициент постели C_z , характеризующий деформационные свойства грунта.

Эта модель достаточно хорошо и многосторонне проработана математически, имеет замкнутые решения для различных закономерностей изменения коэффициента постели по глубине. Она достаточно точно отражает деформационные явления при нагружении балок относительно малого постоянного по длине поперечного сечения, например, горизонтально нагруженных свай массового применения сечением 30x30 см. Поэтому для решения задачи расчета односвайных фундаментов из свай большого диаметра целесообразно использовать модель местных деформаций с экспериментальным обоснованием определяющих ее параметров.

Для получения формулы определения коэффициента постели предположим, что при вдавливании в грунт сваи развитого поперечного сечения происходит деформация грунта не только непосредственно перед сваей, но и за ее пределами, как это описывает теория упругого полупространства.

Тогда в соответствии с М.И. Горбуновым-Посадковым [5] из равенства осадок по двум теориям – теории местных деформации и теории упругости получим для определения коэффициента постели формулу

$$C_z = \frac{E_0}{(1-\mu^2) \cdot b \cdot \omega}, \quad (1)$$

где E_0 – модуль деформации;

μ – коэффициент Пуассона;

b – ширина контактной поверхности сваи;

ω – коэффициент, зависящий от соотношения сторон контактной поверхности сваи.

Здесь формула дана для свай, имеющих прямоугольное поперечное сечение с соотношением сторон l/b . В нашем же случае для буронабивных свай, имеющих круглое поперечное сечение, необходимость применения коэффициента, зависящего от соотношения

сторон прямоугольника, отпадает. Однако для корректного определения коэффициента постели для свай с развитым поперечным сечением возникает целесообразность применения дополнительного масштабного коэффициента ψ , учитывающего зависимость коэффициента постели от диаметра сваи.

Тогда формула (1) запишется в виде:

$$C_z = \frac{E_0 \cdot \psi}{(1-\mu^2) \cdot d}. \quad (2)$$

Для определения закономерности изменения коэффициента постели от диаметра сваи выполнены численные исследования с использованием программного пакета «Plaxis 3D» в трехмерной постановке. Исследование выполнено для условной одиночной сваи в однослойном грунтовом основании с размерами расчетной области 50x50x15(г) м (рис. 1).

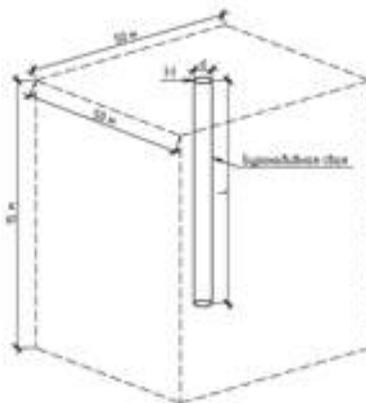


Рис. 1. Расчетная схема буронабивной сваи

Основание представлено глиной полутвердой консистенции со следующими характеристиками: удельный вес 19 кН/м³, модуль деформации 15 МПа, коэффициент поперечной деформации 0,42, удельное сцепление 15 кПа, угол внутреннего трения 15°. При расчете принята упруго-пластическая модель грунта Кулона-Мора.

Серии расчетов выполнены для буронабивных свай длиной 10 м и диаметрами от 400 до 1200 мм с шагом изменения диаметра 200 мм. Для минимизации влияния изгиба ствола сваи и перевода его в работу по «жесткой» схеме модуль упругости материала сваи принят равным $E = 3 \cdot 10^{13}$ кПа, что превышает показатели для бетона в 10^6 раз.

Действующая на оголовок сваи горизонтальная нагрузка принимается возрастающей с шагом 50 кН до возникновения в основании значительных зон пластических деформаций. Полученные результаты расчета представлены на рис. 2.

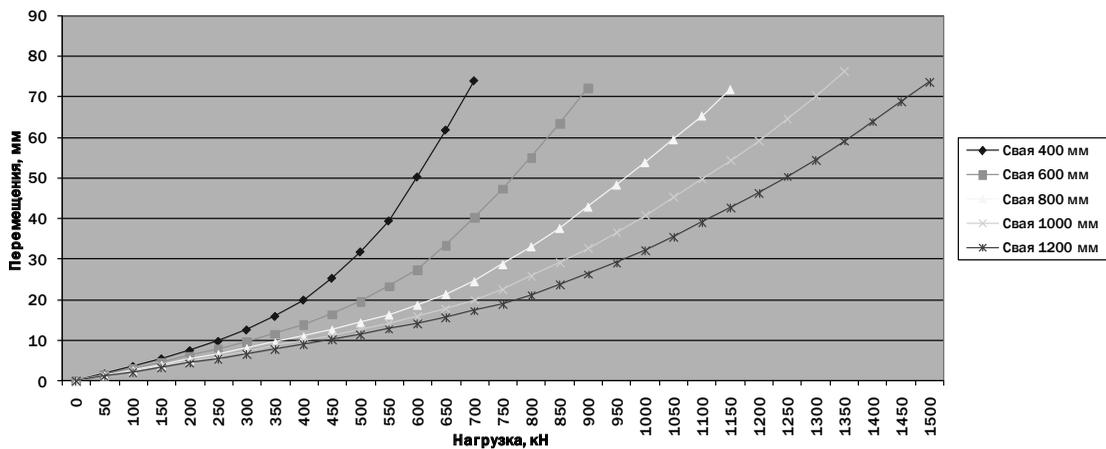


Рис. 2. График «нагрузка-перемещение» свай

Так как коэффициент постели характеризует линейные деформации грунта от приложенной нагрузки, выделим из полученных графиков участки с линейной зависимостью, т. е. до начала развития зон пластических деформаций грунта вокруг сваи. Из анализа графиков «нагрузка-перемещение» можно отметить, что до смещения головы сваи в пределах 10 мм зависимость линейно зависит от нагрузки. Для дальнейших расчетов в указанном диапазоне принимаем перемещение головы сваи в 10 мм и определим соответствующие принятому перемещению нагрузки. Для сваи диаметром 400 мм смещение оголовка в 10 мм происходит при горизонтальной нагрузке 54,24 кН, для сваи 600 мм – 64,92 кН, 800 мм – 188 кН, 1000 мм – 376 кН и для сваи 1200 мм – 450,8 кН.

Для полученных пар «нагрузка-перемещение» выполним расчет коэффициента постели C_z по методике, предложенной проф. А.Л. Готманом [9], путем выполнения обратного расчета, т. е. определение C_z при известных перемещениях оголовка сваи и приложенной на сваю нагрузке.

Расчетная схема предлагаемой методики представлена на рис. 3.

При выводе формул по данной методике приняты следующие предположения.

1. Основание по глубине в пределах длины сваи неоднородное, многослойное, разбито на n слоев с постоянными в пределах каждого i -го слоя коэффициентами постели K_i (C_z).

2. Размер сечения сваи по глубине d – постоянный, жесткость на изгиб принята бесконечной.

3. Изменение горизонтального перемещения сваи U_z по глубине принимаем как для жесткого стержня в упругой среде в виде

$$U_z = U_0(1 - z/l_0), \tag{3}$$

где U_0 – горизонтальное перемещение сваи в уровне поверхности грунта;

l_0 – глубина расположения точки нулевых перемещений, $l_0 = U_0/\varphi_0$;

φ_0 – угол поворота сваи в уровне поверхности грунта.

4. Давление грунта q_z на единицу длины сваи пропорционально ее горизонтальному перемещению U_z и коэффициенту постели K_z :

$$q_z = dK_z U_z. \tag{4}$$

Из условия равновесия действующих и реактивных сил, в соответствии с расчетной схемой на рис. 3 запишем поперечную силу Q_z и изгибающий момент M_z в произвольном сечении сваи на глубине z при действии внешних

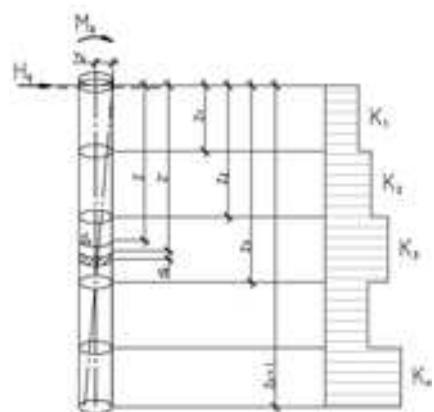


Рис. 3. Расчетная схема буронабивной сваи

горизонтальной нагрузки H_0 и изгибающего момента M_0 :

$$\begin{aligned} Q_0 &= H_0 - Q_z^p; \\ M_z &= M_0 + H_0 z - M_z^p. \end{aligned} \quad (5)$$

Исходя из принятых выше предпосылок, запишем сопротивление грунта q_z на глубине z :

$$q_z = d \cdot U_0 \cdot K_z \cdot \left(1 - \frac{z}{l_0}\right), \quad (6)$$

где K_z – коэффициент постели i -го слоя грунта, соответствующего глубине z .

Тогда поперечная сила Q_z^p и изгибающий момент M_z^p в произвольном сечении сваи z от сопротивления грунта q_z i -го слоя будет:

$$\begin{aligned} Q_z^p &= U_0 \cdot K_i \cdot d \int_{z_{i-1}}^z \left(1 - \frac{\bar{z}}{l_0}\right) \cdot d \cdot \bar{z}; \\ M_z^p &= U_0 \cdot K_i \cdot d \int_{z_{i-1}}^z \left(1 - \frac{\bar{z}}{l_0}\right) (z - \bar{z}) \cdot d \cdot \bar{z}. \end{aligned} \quad (7)$$

После интегрирования выражений (7), суммирования по длине сваи до слоя j , в котором расположено сечение z , и преобразований с учетом значения 6, выражения (5) будут иметь вид:

$$\begin{aligned} Q_z &= H_0 + U_0 \cdot \Phi_1 + \varphi_0 \cdot \Phi_2, \\ M_z &= M_0 + H_0 \cdot z + U_0 \cdot \Phi_3 + \varphi_0 \cdot \Phi_4, \end{aligned} \quad (8)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1 &= -d \cdot a_z; \quad \Phi_2 = -d \cdot \frac{b_z}{2} \\ \Phi_3 &= \frac{d}{12} (-12a_z + 6b_z) = \frac{d}{2} (b_z - 2a_z \cdot l) \\ \Phi_4 &= \frac{d}{12} (6b_z - 4d_z) = \frac{d}{6} (3b_z l - 2d_z) \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} a_z &= \sum_{i=1}^j K_i (z_i - z_{i-1}); \quad b_z = \sum_{i=1}^j K_i (z_i^2 - z_{i-1}^2) \\ d_z &= \sum_{i=1}^j K_i (z_i^3 - z_{i-1}^3) \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

j – количество слоев выше сечения z ;
 K_i – коэффициент постели i -го слоя грунта.

Принимая в (8) $z = l$, а в (10) $j = n$, с учетом граничных условий на нижнем конце сваи $Q_l = 0$ и $M_l = 0$, получим систему двух уравнений, из решения которой получим формулы для определения перемещения U_0 и угла поворота φ_0 сваи в уровне поверхности грунта

$$\left. \begin{aligned} U_0 &= H_0 \cdot \delta_{nn} + M_0 \cdot \delta_{mn} \\ \varphi_0 &= H_0 \cdot \delta_{nm} + M_0 \cdot \delta_{mm} \end{aligned} \right\}, \quad (11)$$

где δ_{nn} и δ_{mn} – горизонтальное перемещение и угол поворота сваи в уровне поверхности грунта от $H_0 = 1$; δ_{nm} и δ_{mm} – горизонтальное перемещение и угол поворота сваи в уровне поверхности грунта от $M_0 = 1$.

Значения δ_{nn} , δ_{mn} , δ_{nm} и δ_{mm} определяются по формулам

$$\delta_{nn} = \frac{\Phi_4 - l\Phi_2}{\eta}; \quad \delta_{nm} = \delta_{mn} = -\frac{\Phi_2}{\eta}; \quad \delta_{mm} = \frac{\Phi_1}{\eta}, \quad (12)$$

где $\eta = \Phi_2 \cdot \Phi_3 - \Phi_1 \cdot \Phi_4$.

Значения Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 и Φ_4 определяются по формулам (9) и (10), причем в формулах (10) суммирование производится по всей длине сваи l .

Расчетный изгибающий момент M_z и поперечная сила Q_z в сечении сваи на глубине z вычисляются по формулам (8). При этом в формулах (10) суммирование производится от первого слоя до слоя, в котором находится сечение z .

По результатам выполненных расчетов получен график зависимости масштабного коэффициента ψ от диаметра сваи (рис. 4).

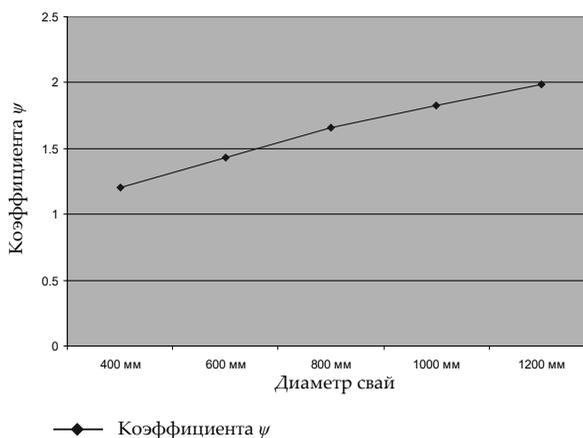


Рис. 4. Зависимость масштабного коэффициента от диаметра сваи

Как видно из полученного графика, наблюдается рост масштабного коэффициента ψ от 1,2 для сваи диаметром 400 мм до 2,0 для сваи 1200 мм. Следовательно, при расчете буронабивных свай, особенно большого диаметра, необходимо учитывать этот фактор.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шахирев В.Б. Новый метод расчета коротких жестких свай на горизонтальную нагрузку // Строительство и архитектура Белоруссии. 1987. № 1. С. 35–36.
2. Шахирев В.Б. Расчет пирамидальных свай на горизонтальную нагрузку // Вопросы строительства и архитектуры (Минск). 1989. № 17. С. 87–90.
3. Буслев А.С. Работа свай на горизонтальную нагрузку за пределами упругости в связных грунтах. Ташкент: Фан, 1979. 106 с.
4. Березанцев В.Г. Расчет одиночных свай и свайных кустов на действие горизонтальных сил // Сб. тр. ЛИИЖТа. Вып. 136. Теоретический. М.: Гострансжелдориздат, 1947. С. 62–78.

5. Горбунов-Посадов М.Н., Маликова Г.А., Соломин В.И. Расчет конструкций на упругом основании. М.: Стройиздат, 1984. 680 с.

6. Reese L.C., Van Impe W.F. Single piles and pile groups under lateral loading. Netherlands: A.A. Balkema Publishers, 2001. 507 с.

7. Davies T.G., Budhu M. Non-linear analysis of laterally load-ed piles in heavily overconsolidated clays // Geotechnique. 1986. Vol. 36 (4). P. 527–538.

8. Brown D.A., Morrison C., Reese L.C. Lateral load behavior of a pile group in sand // Journal of Geotechnical Engineering, ASCE. 1988. Vol. 114 (11). P. 1261–1276.

9. Готман А.Л., Гайсин А.З. Исследование работы крупномасштабных буронабивных свай на горизонтальную нагрузку и их расчет // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2018. Т. 9, № 3. С. 14–27.

REFERENCES

1. Shahirev V.B. New method of calculation of short rigid piles for horizontal load. *Stroitel'stvo i arkhitektura Belorussii* [Construction and Architecture of Belarus], 1987, no. 1, pp. 35–36. (in Russian)

2. Shahirev V.B. Calculation of pyramidal piles on horizontal load. *Voprosi stroitel'stva i arkhitekturi* [Construction and Architecture Issues]. Minsk, 1989, no. 17, pp. 87–90. (in Russian)

3. Buslov A.S. *Rabota svai na gorizontol'nyu nagruzku za predelami uprugosti v svyaznih gruntah* [Work of piles for horizontal load beyond the limits of elasticity in cohesive soils]. Tashkent, Fun, 1979. 106 p.

4. Berezantsev V.G. Calculation of single piles and pile bushes on the action of horizontal forces. *Trudy LIIZhT «Teoreticheskiy»* [Proc. of the LIRE "Theoretical"], 1947, no. 136, pp. 62–78. (in Russian)

5. Gorbunov-Posadov M.N., Malikova G.A., Solomin V.I. *Raschet konstruktсий na uprugom osnovanii* [Calculation of structures on an elastic base]. Moscow, Stroyizdat, 1984. 680 p.

6. Reese L.C., Van Impe W.F. Single piles and pile groups under lateral loading. Netherlands, A.A. Balkema Publishers, 2001. 507 p.

7. Davies T.G., Budhu M. Non-linear analysis of laterally load-ed piles in heavily overconsolidated clays. *Geotechnique*, 1986, vol. 36 (4), pp. 527–538.

8. Brown D.A., Morrison C., Reese L.C. Lateral load behavior of a pile group in sand. *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 1988, vol. 114 (11), pp. 1261–1276.

9. Gotman A.L., Gaisin A.Z. Study of the large-scale bored piles on the horizontal load and their calculation. *Vestnik PNIPIU Stroitel'stvo i arkhitektura* [PNRPU Construction and Architecture Bulletin], 2018, no. 3, pp. 14–27. (in Russian)

Об авторах:

ГАЙСИН Айрат Закиевич

аспирант кафедры строительного производства и геотехники

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29
E-mail: ikafedraig@mail.ru

GAISIN Airat Z.

Postgraduate Student of the Construction Production and Geotechnics Chair

Perm National Research Polytechnic University
614990, Russia, Perm, Komsomolsky av., 29
E-mail: ikafedraig@mail.ru

КРУТЯЕВ Сергей Алексеевич

инженер

ООО НПП «ЭкспертГеоПроект»
450006, Республика Башкортостан, г. Уфа,
ул. Цюрупы, 151, корпус 1
E-mail: sergkrut22@gmail.com

KRUTYAEV Sergey A.

Engineer

Ltd. NPP «ExpertGeoProjekt»
450006, Russia, Ufa, Tsyurupy str., 151/1
E-mail: sergkrut22@gmail.com

ГЛАЗАЧЕВ Антон Олегович

кандидат технических наук, доцент кафедры комплексного инжиниринга и компьютерной графики Уфимский государственный нефтяной технический университет

450080, Россия, г. Уфа, ул. Менделеева, 195
E-mail: anton.glazachev@mail.ru

GLAZACHEV Anton O.

PhD in Engineering Sciences, Associate Professor at the Comprehensive Engineering and Computer Graphics Chair

Ufa State Petroleum Technological University,
450080, Russia, Ufa, Mendeleev str., 195
E-mail: anton.glazachev@mail.ru

Для цитирования: Гайсин А.З., Крутяев С.А., Глазачев А.О. Исследование влияния диаметра буронабивной сваи на изменение коэффициента постели при расчете на горизонтальные нагрузки // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 11–15. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.2.

For citation: Gaisin A.Z., Krutyaev S.A., Glazachev A.O. Study of the Influence of a Bored Pile Diameter on Change of Coefficient of Subgrade Reaction at Calculation for Horizontal Loads. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 11–15. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.2.

Н. А. ИЛЬИН
Д. А. ПАНФИЛОВ
Н. А. КОЛЕСНЕВ
И. А. СИЛАНТЬЕВ

ОЦЕНКА ПРОЕКТНОЙ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДВУХПРОЛЕТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ ЗДАНИЯ

EVALUATION OF DESIGN FIRE RESISTANCE OF A REINFORCED CONCRETE BEAM WITH CENTRAL PROP

В статье изложена сущность технологического способа испытания двухпролётной железобетонной балки здания на огнестойкость без разрушения, по комплексу единичных показателей качества бетона и арматуры. Исследовано влияние геометрических размеров двухпролётной железобетонной балки, схемы обогрева расчетного сечения в условиях пожара, размещения арматуры в расчетном сечении, глубины заложения и степени её огнезащиты, коэффициента термодиффузии бетона, величины испытательной нагрузки на балку и интенсивности напряжения в стержнях продольной рабочей арматуры на предел огнестойкости. Предел огнестойкости двухпролётной балки определяют по признаку потери несущей способности. Применение нового предлагаемого технологического способа позволяет определить фактическую огнестойкость двухпролётной железобетонной балки без натурного огневого воздействия, упрощает инженерные расчеты, повышает достоверность статического контроля качества материалов и неразрушающих испытаний, снижает экономические затраты.

Ключевые слова: здания и сооружения, двухпролётные балки, неразрушающие огневые испытания, потеря несущей способности, оценка проектной огнестойкости, технологический эффект, упрощение инженерного решения, снижение затрат

В основу контроля над обеспечением пожарной защиты строительного объекта на стадии проектирования положена проверка качества проектной документации, в которую включают обоснование показателей огнестойкости строительных конструкций, зданий и сооружений [1–3].

Фактический предел огнестойкости железобетонных конструкций может быть определен натурными испытаниями или инженерным расчетом [4–6]. Классические методы расчета огнестойкости железобетонных конструкций трудоемки и дороги. Следовательно, разработка научного описания способа

The article describes the essence of the technological method of testing a reinforced concrete beam with central prop for fire resistance without destruction, based on a set of individual indicators of the quality of concrete and reinforcement. The influence of the geometrical dimensions of a reinforced concrete beam with central prop, the heating pattern of the calculated cross section under fire conditions, the placement of the reinforcement in the calculated cross section, the depth and degree of fire protection of the concrete, the coefficient of thermal diffusion of concrete, the magnitude of the test load on the beam and the stress intensity in the bars of the longitudinal working reinforcement were investigated. The fire resistance limit of a beam with central prop is determined by the sign of loss of bearing capacity using the analytical equation (1). The use of the new proposed technological method allows to determine the actual fire resistance of a two-span reinforced concrete beam without full-scale fire impact, simplifies engineering calculations, increases the reliability of static material quality control and non-destructive testing, reduces economic costs.

Keywords: buildings and structures, beams with central prop, non-destructive fire tests, loss of bearing capacity, design fire resistance assessment, technological effect, simplified engineering solution, cost reduction

оценки проектной огнестойкости строительной конструкции, в частности двухпролётной железобетонной балки, по аналитическим зависимостям весьма актуальна, перспективна и экономически выгодна.

Научная значимость работы заключается в исследовании закономерности поведения изгибаемых статически неопределимых железобетонных балок в условиях стандартного пожара.

Задачи научно-исследовательской работы:
1) разработка аналитической зависимости для оценки проектной огнестойкости неразрезной железобетонной конструкции по признаку потери несущей способности в условиях пожара;

2) обоснование основных параметров, определяющих огнестойкость неразрезных железобетонных конструкций;

3) оценка проектного предела огнестойкости двухпролётной балки;

4) оценка возможности использования балки в здании соответствующей степени огнестойкости.

Необходимость оценки показателей проектной огнестойкости двухпролётных железобетонных балок возникает при реконструкции здания, усилении его элементов, приведении проектной огнестойкости конструкций здания в соответствие с требованиями современных норм [7–9].

При реконструкции здания возможно переустройство и перепланировка помещений, изменение их назначения, замена балочных конструкций и оборудования. Это влияет на изменение требуемой и фактической степени огнестойкости здания.

Предложенный авторами метод оценки огнестойкости железобетонной балочной конструкции состоит в установлении показателей пожарной защиты здания в части гарантированной длительности сопротивления неразрезной двухпролётной железобетонной балки в условиях пожара, а также в упрощении оценки определения проектного предела огнестойкости двухпролётной неразрезной железобетонной балки по признаку потери несущей способности [10–12].

Технологический и экономический эффект при осуществлении технического решения достигается тем, что в качестве балочной конструкции здания принимают двухпролётную железобетонную балку прямоугольного сечения. Для сопряжения балки и железобетонной колонны предусматривают жесткий узел, а стык свободного конца балки со стенкой здания принимают шарнирным. При таком решении каркаса здания проектный предел огнестойкости двухпролётной железобетонной балки по признаку потери несущей способности ($F_{U(R)}$ мин) определяют, используя аналитическое уравнение

$$F_{U(R)} = \frac{(2,15|\ln J_{\sigma s}|)^{6,6/n} \cdot e^C \cdot k_m}{(425/t_{cr})^{6,6}}, \quad (1)$$

где $J_{\sigma s}$ – интенсивность напряжений в рабочей арматуре балки в пролёте; C – степень огнезащиты бетоном продольной рабочей арматуры, см; k_m – показатель неразрезной двухпролётной балки ($k_m > 1$); t_{cr} – критическая температура нагрева рабочей арматуры, °C; n – эмпирический показатель класса рабочей арматуры; \ln – натуральный логарифм; $e = 2,72$ – натуральное число.

Интенсивность напряжений в рабочей арматуре в пролёте балки вычисляют по алгебраической зависимости

$$J_{\sigma s} = \frac{q_{n,qn}}{q} \cdot \frac{A_{s,mp}}{A_s} \cdot \frac{R_s}{R_{su}}, \quad (2)$$

где $q_{n,qn}$ и q – нормативная длительная и соответственно расчетная полная нагрузка на 1 п. м балки, кН/м; $A_{s,mp}$ и A_s – площадь арматуры, требуемая по расчету в пролёте и, соответственно, принятая в проекте (в натуре), см²; R_s и R_{su} – расчетное и нормативное сопротивление рабочей арматуры балки при испытании на огнестойкость, МПа.

Степень огнезащиты продольной рабочей арматуры (C , см) определяют по аналитическому уравнению

$$C = 1,44 \cdot m_0 \cdot a_{\min} / D_{\text{вм}}^{0,8}, \quad (3)$$

где m_0 – показатель условий нагрева продольной рабочей арматуры в поперечном сечении двухпролётной железобетонной балки в процессе огневого воздействия; a_{\min} – минимальная глубина залегания продольной рабочей арматуры по одной из осей координат поперечного сечения, мм; $D_{\text{вм}}$ – коэффициент термодиффузии бетона, мм²/мин.

Величину показателя условия нагрева ($m_{0,3}$) продольной рабочей арматуры при трёхстороннем подводе тепла к ней, при $a_x \leq a_y$, определяют по уравнению

$$m_{0,3} = \frac{a_y/a_{x1}}{2+(a_{x1}/a_{x2})^2}, \quad (4)$$

где a_{x1} , a_{x2} и a_y – соответственно глубина залегания продольной рабочей арматуры от обогреваемой грани железобетонной балки по осям координат поперечного сечения, мм.

Показатель неразрезности железобетонной балки (k_m) определяют по алгебраическому выражению

$$k_m = 1 + 0,5 \cdot (A_{\text{он}}/A)^{1,5}, \quad (5)$$

где $A_{\text{он}}$ и A – площади сечения продольной рабочей арматуры над опорой и соответственно в пролёте железобетонной балки, мм².

Исключение огневого испытания двухпролётной железобетонной балки здания и замена их на неразрушающие испытания снижает трудоемкость оценки их огнестойкости, расширяет технологические возможности выявления фактической огнестойкости различно нагруженных конструкций любых размеров, дает возможность проведения испытания железобетонной балки на огнестойкость без нарушения функционального процесса обследуемого здания, а также сопоставления полученных результатов со стандартными испытаниями аналогичных конструкций и сохранения эксплуатационной пригодности обследуемого здания без нарушения несущей способности его балочных конструкций в процессе испытания.

Применение математического описания процесса сопротивления двухпролётных железобетонных неразрезных балок высокотемпературному воздействию и использование построенных аналитических выражений (1)–(5) повышает точность и экспрессивность оценки их огнестойкости по признаку потери несущей способности. Упрощен учет особенностей статической схемы работы двухпролётной балки, армирования расчетного сечения и неразрезности железобетонной балки на величину проектного предела огнестойкости.

Пример

Исходные данные: Уровень ответственности здания – нормальный ($\gamma_n=1,0$); шаг колонн $L_1 \times L_2 = 6 \times 7$ м; число пролетов – 2; временная нормативная нагрузка на перекрытие 4,0 кН/м²; постоянная нормативная нагрузка от массы пола 1,2 кН/м²; класс арматуры А400 ($R_s=350$ МПа, $a=60$ мм); бетон тяжелый класса В30 ($\rho_c=2500$ кг/м³; $R_b=17,0$ МПа); на балку оперты плиты перекрытия с круглыми пустотами из легкого бетона. Размеры поперечного сечения балки $b \times h = 250 \times 550$ мм² (рис. 1).

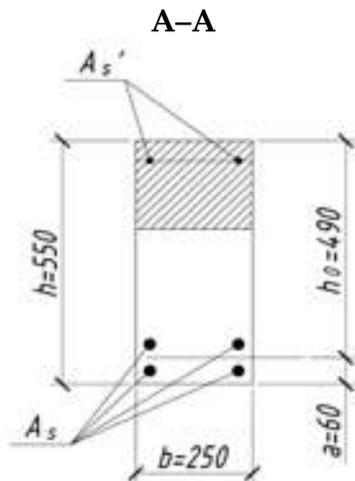


Рис. 1. Расположение продольной арматуры железобетонной балки в пролёте: сечение в пролёте (А – А); h – высота сечения; h_0 – рабочая высота сечения; b – ширина сечения; A_s – площадь рабочей арматуры

При расчете огибающих эпюр двухпролётной балки методика её построения приведена на рис. 2.

При построении огибающих эпюр, рассчитанных ЭВМ, руководствуются рис. 3.

Нагрузки на 1 м длины балки:

а) постоянная нагрузка: от перекрытия:

$$g_1 = p_1 \cdot L_1 \cdot \gamma_n = 4,74 \cdot 6 \cdot 1,0 = 28,44 \text{ кН/м};$$

от веса балки ($\gamma_n = 1,0$; $\gamma_1 = 1,1$);

$$g_2 = b \cdot h \cdot \rho_c \cdot \gamma_n \cdot \gamma_1 = 0,25 \cdot 0,55 \cdot 25 \cdot 1,0 \cdot 1,1 = 3,78 \text{ кН/м};$$

итого: $g = 28,44 + 3,78 = 32,22$ кН/м;

б) временная нагрузка ($\gamma_n = 1,0$):

$$v = v_1 \cdot L_1 \cdot \gamma_n = 4,8 \cdot 6 \cdot 1,0 = 28,8 \text{ кН/м}.$$

Всего: полная нагрузка

$$P = g + v = 32,22 + 28,8 = 61,02 \text{ кН/м}.$$

В примере принята схема армирования продольного сечения с расположением надпорной арматуры в один ряд.

Рабочая высота сечения в крайнем пролёте

$$h_0 = h - a = 550 - 60 = 490 \text{ мм};$$

изгибающий момент $M=265,1$ кН·м, по величине

$$\alpha_m = M / (R_b \cdot b \cdot h_0^2) = 276,1 \cdot 10^6 / (17,0 \cdot 250 \cdot 490^2) = 0,271 < \alpha_R = 0,391;$$

находим $\xi=0,852$;

требуемая площадь растянутой арматуры:

$$A_{s,тр} = R_b b h_0 (1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}) / R_s = (17,0 \cdot 250 \cdot 490 (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,271})) / 350 = 1920 \text{ мм}^2;$$

принято 4 Ø25 А400 ($A_s=1963$ мм²).

Сечение балки на опоре (см. рис. 1):

$$h_0 = 550 - 45 = 505 \text{ мм}; M = 186,5 \text{ кН·м}$$

$$A_{s,тр} = (17,0 \cdot 250 \cdot 490 (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,271})) / 350 = 1166 \text{ мм}^2;$$

$$\alpha_m = (186,5 \cdot 10^6) / (17,0 \cdot 250 \cdot 505^2) = 0,271 < \alpha_R = 0,391;$$

проектом принято 2 Ø28 А400 ($A_s = 1232$ мм²).

Нагрузки на балку:

нагрузка от веса балки расчетная $q_{бал.р} = 3,78$ кН/м;

то же нормативная $q_{н,бал} = 3,78/1,1 = 3,44$ кН/м;

нормативная постоянная и длительная на 1 м²

перекрытия $q = 6,7$ кН/м²; то же на 1 п. м балки

$$q_{н,л.л} = 6,7 \cdot 6 \cdot 0,95 + 3,44 = 41,63 \text{ кН/м};$$

полная расчетная нагрузка на балку

$$P = 61,36 \text{ кН/м}.$$

Бетон класса В35: вид бетона – тяжелый ($\rho_c = 2300$ кг/м³) на гранитном заполнителе, влажность бетона 3 %; коэффициент термодиффузии $D_{вм} = 22,2$ мм²/мин.

Арматура класса А400: $R_s = 350$ МПа; $R_{sn} = 400$ МПа; $R_{su} = 400/0,9 = 444,4$ МПа; ($\varnothing 10$ – 40 мм); $t_{cr} = 550$ °С; $n = 4,4$; площадь арматуры, требуемая в пролёте, $A_{s,с,тр} = 11,66$ и $A_{s,тр} = 17,4$ см²; по проекту $A_{s,с,тр} = 12,32$ см² и $A_s = 19,63$ см² (2 Ø25).

Проектное решение: балка двухпролётного перекрытия представляет собой элемент рамной конструкции. При свободном опирании концов балки на наружные стены и равных пролётах балка запроектирована как неразрезная конструкция.

Хомуты Ø8 А400 расположены с шагом 250 мм на опорах и 380 мм в пролёте. Стык неразрезной балки с колонной выполнен на сварке.

Интенсивность напряжений в рабочей арматуре, расположенной в пролёте, вычислим по уравнению (2):

$$J_{ос} = (q_{н,л.л} / q_{н,л.л.р}) \cdot (A_{s,тр} / A_s) \cdot (R_s / R_{su}) = (41,63/63,36) \cdot (17,4/19,63) \cdot (350/444,4) = 0,474.$$

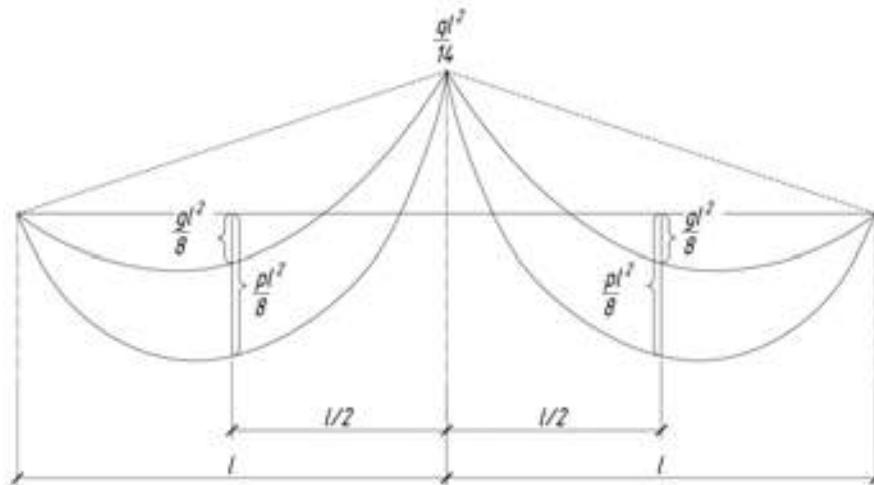


Рис. 2. Огибающие эпюры изгибающих моментов для двухпролётной железобетонной балки: p – полная нагрузка; g – постоянная нагрузка; l – расчетный пролёт

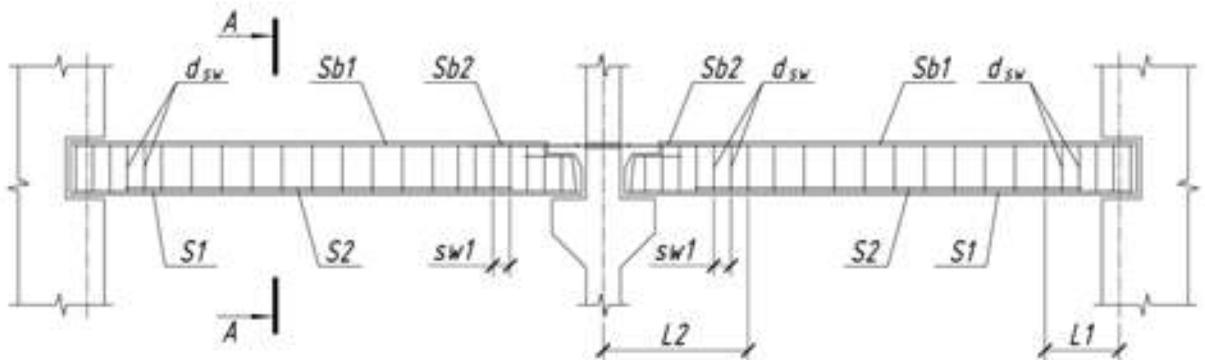


Рис. 3. Схема расположения параметров армирования неразрезной железобетонной балки: S_1, S_2 – продольная рабочая арматура в пролете; Sb_1, Sb_2 – продольная рабочая арматура на опоре; d_{sw} – поперечная арматура; s_w – шаг арматуры

На рис. 4 приведена схема к расчету огнестойкости неразрезной балки $b \times h = 250 \times 550 \text{ мм}^2$; сечение А-А: рабочая арматура по проекту – 4 стержня (номинальный диаметр 25 мм); условная рабочая арматура – 2 стержня (приведенный диаметр 35 мм); глубина заложения стержней (осевые расстояния) $a_{x1} = 37,5 \text{ мм}$; $a_{x2} = 212,5 \text{ мм}$; $a_y = 67,5 \text{ мм}$.

Глубины заложения условных стержней арматуры $d_1 = 2,5 \text{ см}$.

Для двух стержней равного диаметра

$$d_r = d_1 \sqrt{2} = d_1 \cdot 1,41 = 25 \cdot 1,41 = 35 \text{ мм};$$

$$a_{y1} = 37,5; a_{y2} = 97,5; e_y = 60; a_{\min} = a_x = 37,5; e_x = 175;$$

$$a_{x2} = B - a_{x1} = 250 - 37,5 = 212,5 \text{ мм};$$

$$a_y = (a_{y1} + a_{y2})/2 = (37,5/97,5)/2 = 67,5 \text{ мм}.$$

Сечение на опоре: осевое расстояние $a_x = 37,5 \text{ мм}$; диаметр стержней $d_2 = 28 \text{ мм}$.

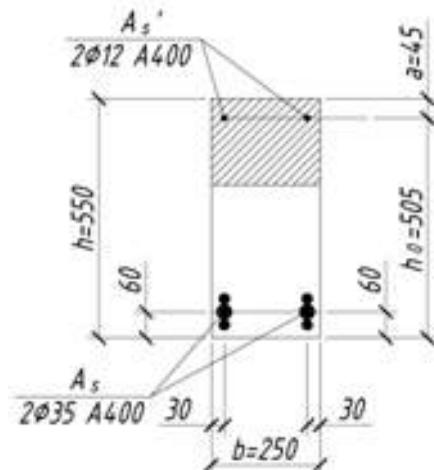


Рис. 4. Схема поперечного сечения балки к расчету огнестойкости

Показатель нагрева условного стержня при пожаре вычисляют по уравнению (4):

$$m_{0,3} = \frac{(a_y/a_{x1})^{0,5}}{2+(a_{x1}/a_{x2})^2} = \frac{(67,5/37,5)^{0,5}}{2+(37,5/212,5)^2} = 0,661.$$

Степень огнезащиты арматуры бетоном в сечении балки в пролёте рассчитывают по уравнению (3):

$$C = 1,44 \cdot m_{0,3} \cdot a_{\min}/D_{\text{бм}}^{0,8} = 1,44 \cdot 0,66 \cdot 37,5/22,2^{0,8} = 2,98 \text{ см.}$$

Показатель условий работы неразрезной конструкции при пожаре вычисляют по уравнению (5):

$$k_m = 1 + 0,5 \cdot (A_{\text{оп}}/A_{\text{с,пр}})^{1,5} = 1 + 0,5 \cdot (12,32/19,63)^{1,5} = 1,25.$$

Предел огнестойкости неразрезной балки вычисляют по аналитическому уравнению (1):

$$F_{\text{ур}} = (2,15 \cdot |\ln J_{\sigma z}|)^{\frac{6,6}{n}} \cdot (t_{\text{cr}}/425)^{6,6} \cdot e^c \cdot k_m = (2,15 \cdot |\ln 0,474|)^{1,5} \cdot (550/425)^{6,6} \cdot e^{2,98} \cdot 1,25 = 150 \text{ мин.}$$

Пожарно-техническая классификация балок здания: класс пожароопасности железобетонной конструкции – К0; проектный предел огнестойкости железобетонной балки $F_u = 150$ мин (нормативный предел огнестойкости $R_u \geq 120$ мин для здания I (первой) степени огнестойкости) [9].

Выводы. По результатам проведенных исследований [10–13] разработана аналитическая зависимость для оценки проектной огнестойкости неразрезной железобетонной конструкции по признаку потери несущей способности в условиях пожара; представлено обоснование основных параметров, определяющих огнестойкость неразрезных железобетонных конструкций; выполнена оценка проектного предела огнестойкости двухпролётной балки.

Предложенный авторами метод оценки проектной огнестойкости двухпролётной железобетонной балки здания [11] предусматривает:

1) исключение натуральных огневых испытаний конструкций и сохранение эксплуатационной пригодности здания при обследовании и разрушающих испытаниях конструкций;

2) снижение трудоемкости оценки огнестойкости двухпролётной железобетонной балки и экономических затрат на испытание;

3) расширение технологических возможностей определения фактической огнестойкости различно нагруженных балочных конструкций любых размеров и по признакам потери несущей способности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

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

2. Федоров В.С., Левитский В.Е., Молчанский И.С. Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций. М.: АСВ, 2008. 408 с.

3. Федоров В.С., Колчунов В.И., Левитский В.Е. Противопожарная защита зданий: Конструктивные и планировочные решения. М.: АСВ, 2018. 176 с.

4. Мосалков И.Л., Плюснина Г.Ф., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. М.: ЗАО «Спецтехника», 2001. 496 с.

5. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1988. 143 с.

6. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1996. 304 с.

7. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. ФЗ № 193 – 2008* (в ред. 2017).

8. СП 2.13130.2012: Обеспечение огнестойкости объектов защиты. М., 2012. 27 с.

9. СТО 36 554 501–006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. М.: ГУП «НИИЖБ», 2008. 80 с.

10. Патент № 2650704 RU, МПК G 01 25/50. Способ оценки огнестойкости балочной конструкции / Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Ильина В.Н., заяв. СамГТУ: 07.03.2017; опублик. 17.04.2018. Бюл. № 11.

11. Заявка на изобретение № 2019 000 000, МПК G01 № 25/50. Способ оценки огнестойкости двухпролётной железобетонной балки здания / Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Колеснев Н.А., Силантьев И.А.

12. Ильин Н.А., Мордовский С.С., Панфилов Д.А. Теория и проектирование железобетонных конструкций. Самара: СамГТУ, 2018. 86 с.

13. Ильин Н.А., Панфилов Д.А. Оценка огнестойкости проектируемых железобетонных конструкций зданий: монография. Самара: СамГТУ, 2017. 186 с.

REFERENCES

1. Bushev V.P., Pchelintsev V.A., Fedorenko V.S., Yakovlev A.I. *Ognestoykost' zdaniy* [Fire resistance of buildings]. Moscow, Stroizdat, 1970. 261p.

2. Fedorov V.S., Levitsky V.E., Molchansky I.S. *Ognestoykost' i pozharaya opasnost' stroitel'nyh konstrukcij* [Fire resistance and fire hazard of building structures]. Moscow, 2008. 408p.

3. Fedorov V.S., Kolchunov V.I. Levitsky V.E. *Protivopozharnaya zashchita zdaniy: Konstruktivnyye i planirovochnyye resheniya. Uchebnoye posobiye* [Fire protection of buildings: Constructive and planning solutions. Tutorial]. Moscow, 2018. 176 p.

4. Mosalkov I. L., Plyusnina G. F., Frolov A. Yu. *Ognestoykost' stroitel'nyh konstrukcij* [Fire resistance of building structures]. Moscow. 2001. 496 p.

5. Yakovlev A.I. *Raschet ognestoykosti stroitel'nyh konstrukcij* [Calculation of fire resistance of building structures]. Moscow, 1988. 143 p.

6. Milovanov A.F. *Ognestoykost' zhelezobetonnyh konstrukcij* [Fire resistance of reinforced concrete structures]. Moscow, 1996. 304 p.

7. *Tekhnicheskij reglament o trebovaniyah pozharnoj bezopasnosti. FZ № 193 – 2008* (v red. 2017)* [Technical regulations on fire safety requirements. Federal Law № 193 - 2008* (as amended by 2017)].

8. SP 2.13130.2012. *Obespechenie ognestoykosti ob'ektov zashchity* [Ensuring fire resistance of objects of protection]. Moscow, 2012. 27 p.

9. STO 36 554 501–006. *Pravila po obespecheniyu ognestoykosti i ognesohrannosti zhelezobetonnykh konstrukcij* [Rules for ensuring fire resistance and fire safety of reinforced concrete structures]. Moscow, 2008. 80 p.

10. Ilyin N.A. e.s., *Sposob otsenki ognestoykosti balochnoy konstruktsii* [A method for evaluating the fire resistance of a beam construction]. Patent RF, no. 2650704, 2017.

11. Ilyin N.A. e.s., *Sposob otsenki ognestoykosti dvukhproletnoy zhelezobetonnoy balki zdaniya* [Method for assessing the fire resistance of a two-span reinforced concrete beam of a building]. Patent application (in Russian, unpublished).

12. Ilyin N.A., Mordovsky S.S., Panfilov D.A. *Teoriya i proektirovanie zhelezobetonnykh konstrukcij* [Theory and design of reinforced concrete structures]. Samara, 2018. 86 p.

13. Ilyin NA, Panfilov DA. *Otsenka ognestoykosti proyektiruyemykh zhelezobetonnykh konstruktsiy zdaniy* [Evaluation of the fire resistance of the projected reinforced concrete structures of buildings]. Samara, Samara State Technical University, 2017. 186 p.

Об авторах:

ИЛЬИН Николай Алексеевич

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

ПАНФИЛОВ Денис Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: panda-w800i@yandex.ru

КОЛЕСНЕВ Никита Александрович

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

СИЛАНТЬЕВ Иван Алексеевич

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

ILYIN Nikolay A.

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

PANFILOV Denis A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: panda-w800i@yandex.ru

KOLESNEV Nikita A.

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

SILANTYEV Ivan A.

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

Для цитирования: Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Колеснев Н.А., Силантьев И.А. Оценка проектной огнестойкости двухпролетной железобетонной балки здания // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 4. С. 16–21. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.3.

For citation: Ilyin N.A., Panfilov D.A., Kolesnev N.A., Silantyev I.A. Evaluation of Design Fire Resistance of a Reinforced Concrete Beam with Central Prop. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 16–21. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.3.

О. В. КИЗИМОВА
Н. В. ЗОБКОВА

АНАЛИЗ ДЕФЕКТОВ ПЕРЕКРЫТИЙ ЗДАНИЯ — ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

ANALYSIS OF THE DEFECTS OF THE FLOORS OF THE BUILDING — OBJECT OF CULTURAL HERITAGE

С целью сохранения исторической части г. Саратова проведено обследование здания, которое является объектом культурного наследия и относится к памятнику архитектуры федерального значения. При обследовании выявлены дефекты конструкций перекрытий, выполненных из разных материалов и имеющих разное техническое решение. На разных отметках несущие элементы перекрытий выполнены из дерева, кирпича и железобетона. Приведены результаты обследования с описанием дефектов деревянных и каменных перекрытий. Анализ дефектов позволил установить причины их появления. Даны рекомендации по устранению дефектов. Описанные дефекты являются характерными для зданий старой постройки, поэтому результаты данной работы можно использовать при проведении обследования памятников архитектуры.

Ключевые слова: здание, памятник архитектуры, обследование, дефекты, перекрытия, физический износ

In order to preserve the historical part of the city of Saratov, a survey of the building, which is an object of cultural heritage and refers to an architectural monument of federal significance, was carried out. During the inspection, defects in floor structures made of different materials and having different technical solutions were revealed. At different elevations, the supporting elements of the floors are made of wood, brick and reinforced concrete. The results of the survey with a description of the defects of wooden and stone floors. The analysis of defects allowed us to establish the causes of their appearance. Recommendations on troubleshooting are given. The described defects are characteristic of buildings of an old construction, therefore the results of this work can be used when conducting a survey of architectural monuments.

Keywords: building, architectural monument, survey, defects, floors, physical deterioration

Саратов является одним из крупных промышленных центров Поволжья. Издавна в городе развивалась торгово-предпринимательская деятельность и формировался класс купечества. К концу XIX в. купцы стали строить уютные и просторные особняки. В центральной части города сохранилось много построек конца XIX – начала XX в. Большинство этих зданий являются памятниками архитектурного наследия. Городские власти и жители заинтересованы в их сохранении. Однако со временем техническое состояние зданий и несущих элементов ухудшается, а их восстановление часто требует больших затрат. Поэтому своевременное обследование зданий и устранение дефектов является важным фактором сохранения архитектурных памятников.

Авторами в 2014–2015 гг. проводилось обследование зданий усадьбы, состоящей из барского дома и надворных построек. Усадьба расположена в центральной части города Саратова на углу улиц Советской (бывшая Константиновская) и Радищева (бывшая Никольская). Владельцами усадьбы в разное время были помещики С.М. Скибиневский, вице-губернатор В.П. Алек-

сандровский, помещик В.М. Беклемешев, купцы Ф.Е. Аносов, И.Г. Кузнецов, М.И. Сибрин. После Октябрьской революции 1917 г. усадьба была конфискована в пользу государства, а с 1918 г. использовалась под медицинские цели.

Основное здание – барский дом, был построен в 1847 г. и в настоящее время имеет статус памятника архитектуры федерального значения. В здании сохранилась интересная потолочная лепнина, «королевский» паркет и другие декоративные элементы, представляющие особый интерес.

Результаты осмотра дома показали, что здание имеет в плане сложную конфигурацию и состоит из 5 прямоугольных объемов, имеющих свой литер (рис. 1): одноэтажного здания (литеры А1 и А3), двухэтажного здания (литер А2), одноэтажной веранды (литер А4 – веранда), одноэтажного здания (литер Б), построенного в более позднее время. При более детальном обследовании установлено, что объемы здания (литеры) отличаются не только объемно-планировочным решением, но и конструктивным. При строительстве здания использовались разные по материалу

и конструкции перекрытия. Большая площадь междуэтажных и чердачных перекрытий выполнена по деревянным балкам. Балки из бруса имеют разные размеры сечения в зависимости от пролета помещений $b \times h = 200 \times 300 \div 310 \times 320$ мм. Перекрытия над цокольным этажом (литер А) выполнено в виде кирпичных сводов разной конструкции. В объеме здания «А2» перекрытие – в виде впапушных полусводов из кирпича. В объеме «А3» – перекрытие из кирпичных сводов двойкой кривизны по стальным балкам. В части здания «А4» перекрытие выполнено из кирпичных сводов – двух крестовых и одного цилиндрического. В перекрытии над цокольным этажом в объеме здания «А1» было выполнено усиление из монолитного железобетона по стальным балкам.

Авторами было проведено обследование всех несущих конструкций, в данной работе приведен анализ только дефектов перекрытий. Обследование проводилось в соответствии с требованиями, изложенными в [1–4]. Для выявления конструкции деревянных перекрытий были определены места зондирования.

При визуальном осмотре перекрытий и мест зондирования были выявлены следующие дефекты в помещениях с деревянными перекрытиями [5]:

- на поверхности потолка отмечены многочисленные трещины шириной раскрытия 1–5 мм;
- на отдельных участках отслоение штукатурного слоя от дранки (рис. 2, а);
- в местах замачивания штукатурный слой поражен плесневелым грибком (рис. 2, б);
- в некоторых помещениях отмечено провисание перекрытия;
- в местах вскрытия видны участки, на которых балки и доски щитового наката поражены деструктивной гнилью, а в некоторых балках отмечены продольные трещины вдоль волокон и сколы.

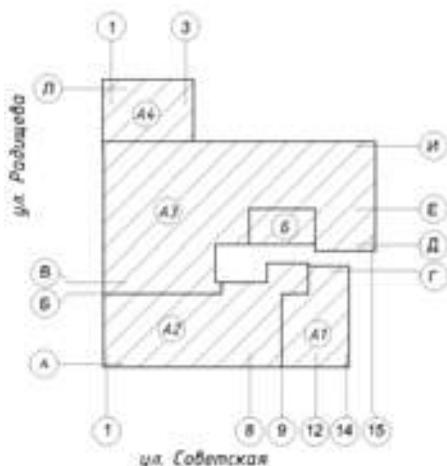


Рис. 1. Схема здания в плане

В сводчатых каменных перекрытиях отмечены следующие дефекты:

- поверхность сводов покрыта мелкими трещинами разной направленности;
 - в местах замачивания штукатурный слой поражен плесневелым грибком (рис. 3) или отслоился;
 - стальные балки имеют поверхностную коррозию;
 - на некоторых сводах видны участки разрушенной кирпичной кладки на глубину до 5 мм.
- Дефекты, выявленные при обследовании, можно сгруппировать следующим образом (см. таблицу).



Рис. 2. Дефекты деревянных перекрытий: а – отслоение штукатурного слоя; б – поражение штукатурного слоя плесневелым грибком



Рис. 3. Кирпичные своды, пораженные плесневелым грибком

Дефекты конструкций перекрытия

№ п/п	Дефекты	Причины	Мероприятия по устранению дефектов
Перекрытие из деревянных конструкций			
1	Выраженные трещины в штукатурном слое одного направления	Деформация стен и фундамента	Исключить возможность деформации фундамента
2	Выраженные трещины в штукатурном слое разного направления	Недостаточная жесткость элементов перекрытия	Выполнить усиление элементов перекрытия
3	Отслоение штукатурного слоя	Нарушение сцепления в результате многочисленных трещин или замачивания	Выполнить усиление элементов перекрытия или устранить причины замачивания
4	Образование грибка, гниение древесины	Замачивание перекрытия	Устранить протечки из водонесущих коммуникаций, восстановить целостность кровли и при необходимости заменить дефектные элементы
5	Уклоны	Неравномерная деформация стен и фундамента	Исключить неравномерную осадку фундамента
6	Прогибы	Недостаточная жесткость элементов перекрытия	Выполнить усиление элементов перекрытия
7	Обрушение перекрытия	Исчерпание несущей способности деревянных элементов, превышение проектной нагрузки	Замена или усиление элементов перекрытия
Перекрытия каменные и железобетонные			
8	Пп. 1, 4, 5, 7	Пп. 1, 4, 5, 7	Пп. 1, 4, 5, 7
9	Трещины разного направления в штукатурном слое	Недостаточная жесткость перекрытия, коррозия арматуры, большая величина напряжений в растянутой зоне	Выполнить усиление элементов перекрытия, или восстановить защитный слой арматуры
9	Образование грибка	Замачивание перекрытия	Устранить протечки из водонесущих коммуникаций, восстановить целостность кровли, очистить поверхность от грибка и восстановить защитный слой арматуры, а при необходимости выполнить усиление
10	Коррозия металлических элементов и отслоение защитного слоя	Замачивание перекрытия, образование грибка	Устранить протечки из водонесущих коммуникаций, восстановить целостность кровли, очистить поверхность от грибка и восстановить защитный слой арматуры
11	Обрушение перекрытия	Исчерпание несущей способности, разрушение кирпичей каменных сводов, превышение проектной нагрузки	Замена или усиление элементов перекрытия

Анализ результатов обследования позволил выявить причины образования дефектов. Все стены здания имеют трещины, которые свидетельствуют о неравномерной осадке фундаментов и стен. При таких деформациях нарушается горизонтальность перекрытия и появляются уклоны к стене, имеющей большую осадку. Кроме того, эти деформации приводят к образованию трещин. Трещины появляются и в результате прогиба, который особенно заметен в деревянных перекрытиях. Причиной прогиба стали дефекты балок, снижающие их жесткость (трещины, сколы, деструктивная гниль). Появление трещин нарушает сцепление штукатурного слоя с дранкой и приводит к его отслоению.

Протечки из водонесущих коммуникаций или нарушение целостности кровельного покрытия приводят к замачиванию перекрытий. В результате замачивания происходит образование грибка, гниение древесины, а в каменных и железобетонных перекрытиях – коррозия арматуры и стальных балок.

Дефекты, выявленные в процессе обследования, приводят к снижению несущей способности элементов перекрытия. Если своевременно не устранить причины появления дефектов и не восстановить пораженные участки, то с течением времени может произойти обрушение перекрытия.

Для нормальной эксплуатации здания необходимо проводить работы по ремонту дефектных участков перекрытия. Сложность и трудоемкость работ зависит от вида дефектов. Например, в случае небольших трещин на потолке и следов замачивания можно уложить новый штукатурный слой, предварительно устранив старый. Эти работы не требуют больших затрат. А при дефектах значительно снижающих несущую способность перекрытия (сгнившие участки деревянных балок, большие прогибы) требуется выполнять усиление дефектных элементов. А при обрушении перекрытия его восстанавливают. Работы по усилению и восстановлению перекрытий должны выполняться по специально разработанному проекту. Для памятников архитектуры такие работы очень трудоемкие и дорогостоящие. Поэтому чем раньше выявить дефекты, тем меньше потребуются затраты на их устранение. Кроме того, своевременное устранение дефектов не приведет к обрушению перекрытий [6].

Выводы. Анализ дефектов показывает, что причиной их образования чаще всего является нарушение правил эксплуатации здания, невыполнение текущих и капитальных ремонтов. Для сохранения памятников архитектуры необходимо осуществлять постоянный кон-

троль технического состояния их несущих конструкций. При выявлении дефектов следует провести работы по выявлению и устранению вызвавших их причин. И в зависимости от характера дефектов выполнить ремонтные работы, усиление или восстановление конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 53778–2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М., 2010. 61 с.
2. СП 13–102–2003. Правила обследования строительных конструкций зданий и сооружений. М.: Госстрой РФ, 2003. 48 с.
3. ВСН 57–88 (р). Положение по техническому обследованию жилых зданий / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 1990. 92 с.
4. ВСН 53–86 (р). Правила оценки физического износа жилых зданий / Госгражданстрой. М.: Прейскурантиздат, 1988. 78 с.
5. Проект реставрации и приспособления для современного использования объекта культурного наследия федерального наследия «Жилой дом, 1–я пол. XIX в.», расположенного по адресу: г. Саратов, ул. Советская, д. 1. Саратов: ЗАО «НППП» Геотехника-СПИ», 2015. 110 с.
6. Зобкова Н.В., Кизимова О.В. Обследование здания второй половины XIX века // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгород, 2017. С. 32–35.

REFERENCES

1. State Standart 53778–2010. *Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya* [Buildings and structures. Rules for inspection and monitoring of technical condition. Moscow], Standartinform Publ., 2010. 61 p. (in Russian)
2. Set of rules 13–102–2003. *Pravila obsledovaniya stroitel'nyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij* [Rules for the inspection of building structures of buildings and structures]. Moscow, Gosstroy of Russia, 2003. 48 p. (in Russian)
3. Russian building codes 57–88. *Polozhenie po tekhnicheskomu obsledovaniyu zhilyh zdaniy / Gosstroj Rossii* [Regulation on the technical examination of residential buildings. Gosstroy of Russia]. Moscow, State unitary enterprise. Center for design products in construction. 1990. 92 p. (in Russian)
4. Russian building codes 53–86. *Pravila ocenki fizicheskogo iznosa zhilyh zdaniy / Gosgrazhdanstroj* [Rules for assessing the physical deterioration of residential buildings: Gosgrazhdanstroy]. Moscow, Preyskurantizdat, 1988. 78 p. (in Russian)
5. *Proekt restavratsii i prisposobleniya dlya sovremenno-go ispol'zovaniya ob"ekta kul'turnogo naslediya federal'nogo naslediya «Zhiloy dom, 1–ya pol. XIX v.»*, raspolozhennogo po adresu: g. Saratov, ul. Sovetskaya, d. 1. [Project of restoration and adaptation for modern use of the Federal her-

itage site « Residential building, 1 half of the XIX century » located at the address: Saratov, Sovetskaya str., house 1]. Saratov, 2015, 110 p. (in Russian, unpublished)

6. Zobkova N.V., Kizimova O.V. Survey of the building of the second half of the XIX century. *Vestnik SGTU imeni Shukhova «Stroitel'stvo i arkhitektura»* [Bulletin of BSTU name's V. G. Shukhov «Construction and architecture»], Belgorod, 2017, no.7, pp. 32–35. (in Russian) DOI: 10.12737/articl_5940f017098708.32121774

Об авторах:

КИЗИМОВА Ольга Владимировна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры архитектуры

Саратовский государственный технический

университет имени Гагарина Ю.А.

Институт урбанистики, архитектуры и строительства

410041, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

E-mail: olga.sgty2012@yandex.ru

KIZIMOVA Olga V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Architecture Chair

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Institute of Urban Planning, Architecture & Civil Engineering

410041, Russia, Saratov, Polytechnical str., 77

E-mail: olga.sgty2012@yandex.ru

ЗОБКОВА Наталья Владимировна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных материалов и технологий

Саратовский государственный технический

университет имени Гагарина Ю.А.

Институт урбанистики, архитектуры и строительства

410077, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

E-mail: zobkovanv@yandex.ru

ZOBKOVA Natalya V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Materials and Technologies Chair

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov

Institute of Urban Planning, Architecture & Civil Engineering

410041, Russia, Saratov, Polytechnical str., 77

E-mail: zobkovanv@yandex.ru

Для цитирования: Кизимова О.В., Зобкова Н.В. Анализ дефектов перекрытий здания – объекта культурного наследия // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 4. С. 22–26. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.4.

For citation: Kizimova O.V., Zobkova N.V. Analysis of the Defects of the Floors of the Building - Object of Cultural Heritage of the Russian Federation. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 22–26. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.4.

ПОДПИСКА – 2020

на январь–июнь по Объединенному каталогу
«Пресса России»

Уважаемые читатели!

Обратите внимание, что с 1 сентября 2019 г. проводится
подписная кампания первого полугодия 2020 г.
на журнал Самарского государственного технического университета

«ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»

Условия оформления подписки Вы найдете
в I томе каталога «Пресса России» на странице 178

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ



УДК 533.6.011

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.5

О. А. БАЛАНДИНА
С. М. ПУРИНГ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА УРОВЕНЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

RESEARCH OF INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE
ON THE LEVEL OF NITROGEN OXIDES IN SMOKE GASES
OF BOILER PLANTS

Выполнен анализ значений концентраций образующихся оксидов азота и температур факела струи при различных условиях смесеобразования. Получены и проанализированы графики распределения температур факела и концентраций оксида азота в расчетной области для температур окислителя 20, 60, 100, 150 и 200 °С. Математическое моделирование процесса горения газообразного топлива проводилось с помощью программного комплекса FlowVision. Анализ результатов показал, что уменьшение температуры подаваемого в качестве окислителя воздуха приводит к значительному падению концентрации оксидов азота в дымовых газах, при этом не оказывая существенного влияния на изменение температуры факела. Результаты исследований могут быть использованы при решении задач оптимизации котельных установок, с целью снижения вредных выбросов дымовых газов. Планируется проведение дальнейшего моделирования для выявления зависимости влияния различных факторов на степень образования оксидов азота в уходящих газах котельных установок.

Ключевые слова: численный расчет, моделирование, температурное поле, поле концентраций, оксиды азота, оптимизация

Повышение объема потребления энергии и тепла приводит к увеличению вредных выбросов, загрязняющих окружающую среду. Атмосферные выбросы котельных, работающих на газообразном топливе, содержат оксиды углерода, азота и диоксид углерода [1].

The analysis of the values of the concentrations of the formed nitrogen oxides and the temperatures of the jet plume under various conditions of mixture formation is carried out. The plots of the distribution of torch temperatures and concentrations of nitric oxide in the calculated area for oxidizer temperatures of 20, 60, 100, 150, and 200 °C were obtained and analyzed. Mathematical modeling of the gaseous fuel combustion process was carried out using the FlowVision software package. An analysis of the results showed that a decrease in the temperature of the air supplied as an oxidizing agent leads to a significant decrease in the concentration of nitrogen oxides in flue gases, while not significantly affecting the change in the flame temperature. The research results can be used to solve the problems of optimizing boiler plants, in order to reduce harmful flue gas emissions. Further modeling is planned to determine the dependence of the influence of various factors on the degree of formation of nitrogen oxides in the flue gases of boiler plants.

Keywords: numerical calculation, modeling, temperature field, concentration field, nitrogen oxides, optimization

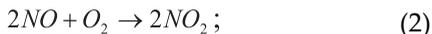
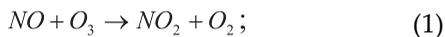
Вопрос снижения концентрации наиболее токсичного из компонентов дымовых газов котельных – оксида азота на данный момент является актуальным, особенно для районов сосредоточения большого количества энергетических установок.

Согласно Государственному докладу «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году» в 50 городах России среднегодовая концентрация диоксидов азота превышает 1 ПДК по данным Росгидромета [2]. Ощутимую роль в части поступления в атмосферу оксида азота играют предприятия по обеспечению теплоснабжения и электрической энергии.

В результате соединения азота с кислородом, в зависимости от степени окисления образуются азотный ангидрид N_2O_3 , тетраоксид диазота N_2O_4 , азотистый ангидрид N_2O_5 , геммоксид N_2O , диоксид NO_2 , оксид NO . Практическое значение с экологической точки зрения представляют NO и NO_2 .

В процессе сжигания природного газа в основном образуется оксид азота NO . Дальнейшее окисление NO до более токсичного NO_2 происходит в шлейфе дымовых газов [1].

Механизм окисления NO до NO_2 можно представить в виде следующих реакций [1]:



В спектре температур 1300–1500 °С значительно увеличивается скорость возникновения оксида азота в соответствии с реакцией [1]:



В нижних слоях атмосферы при нормальных условиях распространения шлейфа дымовых газов основной интерес представляет первая реакция.

Воздушные оксиды азота образуются в соответствии со следующими механизмами [1]:

1. Окисление атомарным кислородом молекулярного азота при больших температурах (механизм Зельдовича).

2. Разложение молекулярного азота под действием углеводородных радикалов с дальнейшим взаимодействием атомарного азота с гидроксильной группой OH (механизм Фенимора).

На процесс образования NO_x оказывают влияние различные параметры топочного процесса, содержание связанного азота в топливе и температура в зоне горения.

Концентрация оксидов азота линейно увеличивается с увеличением концентрации атомарного кислорода и экспоненциально с увеличением температуры [3].

Решающее влияние на образование «термических» NO оказывает максимальная температура и время реакции образования NO [3]:

$$NO_x^{терм} = f_1(T_{max}, \tau_p) = f_2\left(T_{max}, \frac{dT}{d\tau}\right), \quad (5)$$

где T_{max} – максимальная температура, °С; τ_p – время реакции образования NO , с.

Для снижения концентрации оксидов азота применяются методы, основанные на уменьшении концентрации окислителя и температуры в зоне факела, а кроме того, методы восстановления оксидов азота в топочной камере [4].

Для оптимизации работы существующих горелок требуется исследовать возможные режимы горения газа при варьировании технологических параметров [5]. В экспериментальных исследованиях варьирование параметров в широкой области их изменения весьма затруднительно. Поэтому для изучения режимов горения прибегают к математическому моделированию [5]. Известные в настоящее время теоретические работы по фильтрационному горению газов ограничены либо аналитическим обзором данных эксперимента, описанием физических явлений и формулировкой проблемы, либо отдельными частными расчетами на основе достаточно сложных моделей и алгоритмов, либо условиями, реализуемыми в лабораторном эксперименте [5].

Моделирование струйного течения является достаточно актуальным, особенно в части применения к газовым горелкам струйного типа [6].

Ниже предложена и исследована модель горения газа в цилиндрической горелке.

Постановка задачи. Для исследования влияния температуры подаваемого в качестве окислителя воздуха на уровень выделения оксидов азота был использован программный продукт САПР FlowVision. Многофункциональная система FlowVision позволяет моделировать трехмерное течение газа в технических объектах.

В результате расчета строились графики полей концентраций $NO_x^{терм}$ и температур в расчетной области.

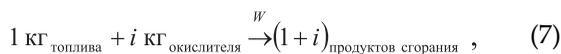
Модель «Горение» описывает процессы горения газовых смесей при дозвуковых числах Маха и основана на уравнениях Навье-Стокса и неразрывности [7]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z} &= X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + v \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z} &= Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + v \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z} &= Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + v \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где t – время, с.; x, y, z – координаты частицы; v_x, v_y, v_z – проекции скорости частицы; X, Y, Z –

проекции объемной силы; p – давление, Па; ν – коэффициент кинематической вязкости, m^2/c ; ρ – плотность, kg/m^3 .

Процесс горения представляется в виде брутто-реакции:



где W – скорость брутто-реакции.

Скорость брутто-реакции определяется скоростью турбулентного смешения топлива и окислителя. Для расчета скорости брутто-реакции W была использована турбулентная модель горения. Данная модель справедлива для предварительно несмешанных потоков топлива и окислителя. Для предварительно несмешанных потоков топлива и окислителя скорость W брутто-реакции определяется скоростью турбулентного смешения (модель Магнуссена) [7]:

$$W_{\max} = 23,6 \left(\frac{\mu \varepsilon}{\rho k^2} \right)^{1/4} \rho \frac{\varepsilon}{k} \min \left(f, \frac{o}{j} \right), \quad (8)$$

где f – концентрация топлива; o – концентрация окислителя; j – массовый стехиометрический коэффициент; μ – турбулентная вязкость, $kg/m \cdot c$; ρ – плотность, kg/m^3 ; k – пульсация; ε – масштаб турбулентности; W_{\max} – скорость горения несмешанного потока компонентов [6].

Расчетная область была задана в виде параллелепипеда $40 \times 200 \times 8$ мм, в центре левой грани которого была задана точка ввода струи газа. Струя газа подавалась со скоростью $v = 0,003374 \text{ кг}/(m^2 \cdot c)$ через условное отверстие сечением 8×8 мм. Поток воздуха подавался со скоростью $v = 0,07445 \text{ кг}/(m^2 \cdot c)$ через два симметричных сечения размерами 16×8 мм [8].

С помощью предложенного алгоритма можно определять температуру в зоне факела горения, обеспечивающую устойчивую работу и распределение концентраций оксида азота.

Решение задачи. В проведенном моделировании расчет производился для температур воздуха 20, 60, 100, 150 и 200 °С. Были получены распределения температуры и concentra-

ции оксида азота для пяти рассматриваемых вариантов.

Ниже приводятся результаты расчета интенсивности образования оксидов азота в зависимости от температуры окислителя, подаваемого к факелу горения. На рис. 1 показано распределение поля температур факела в продольном сечении расчетной области.

График зависимости образования оксидов азота при сжигании природного газа от температуры окислителя представлен на рис. 2.

Как видно из графика, образование термических оксидов азота при сжигании природного газа значительно зависит от температуры воздуха, подаваемого в горелку для образования газозвушной смеси. Максимальные значения объемной концентрации оксидов азота наблюдаются при температуре окислителя $t_b = 200$ °С.

График распределения температур факела в расчетной области по длине при сжигании природного газа от температуры окислителя представлен на рис. 3.

На основании графика можно сделать вывод, что температура подаваемого в зону горения окислителя оказывает незначительное влияние на распределение температур в зоне факела горения.

График зависимости концентраций оксидов азота по сечениям топочного пространства при различных температурах окислителя представлен на рис. 4.

Зависимость концентраций оксидов азота по сечениям топочного пространства при различных температурах окислителя описывается уравнением

$$r_{NO_2} = a e^{bt_b}, \quad (9)$$

где a , b – коэффициенты, зависящие от расположения сечения топочного пространства и температуры окислителя ($a = 239,25 \div 166,9$; $b = 0,2604 \div 0,2564$).

Сходимость данных моделирования с предложенными экспоненциальными зави-

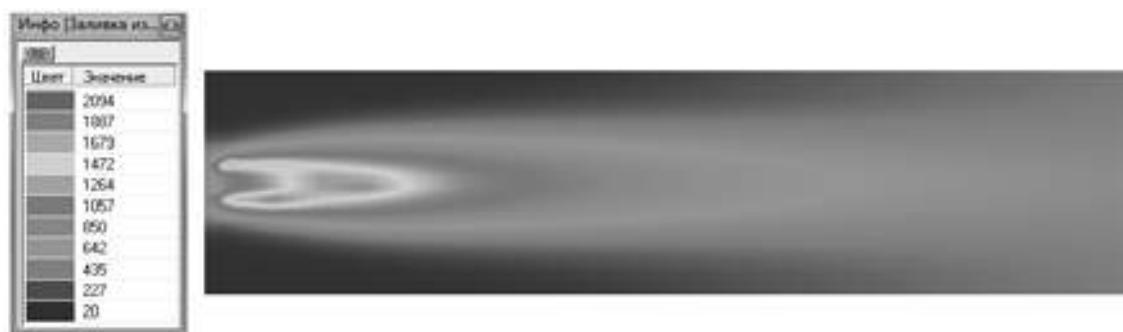


Рис. 1. Поля распределения температур факела в продольном сечении расчетной области

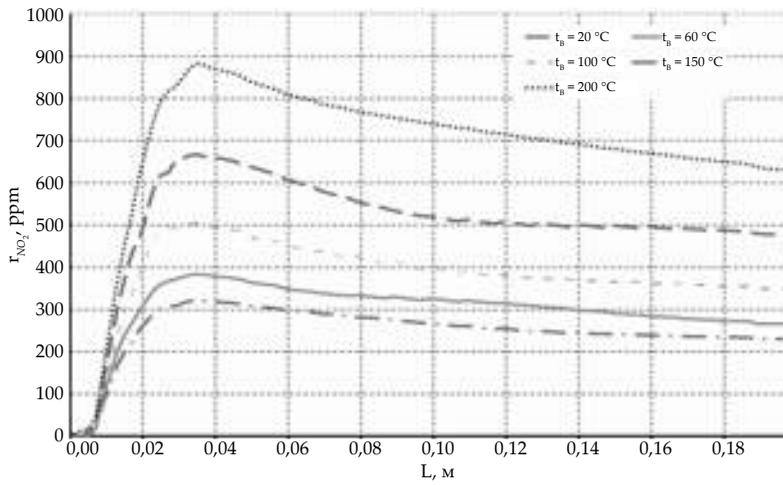


Рис. 2. График распределения концентраций оксида азота по длине при различных температурах окислителя

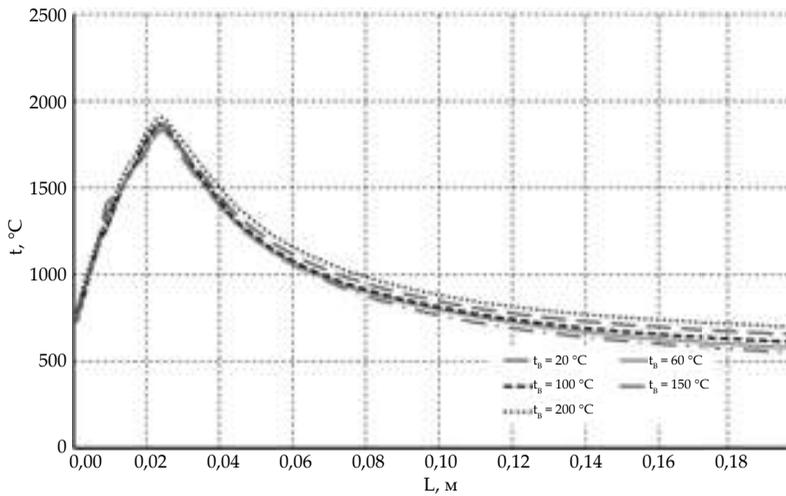


Рис. 3. График распределения температур факела в расчетной области по длине при различных температурах окислителя

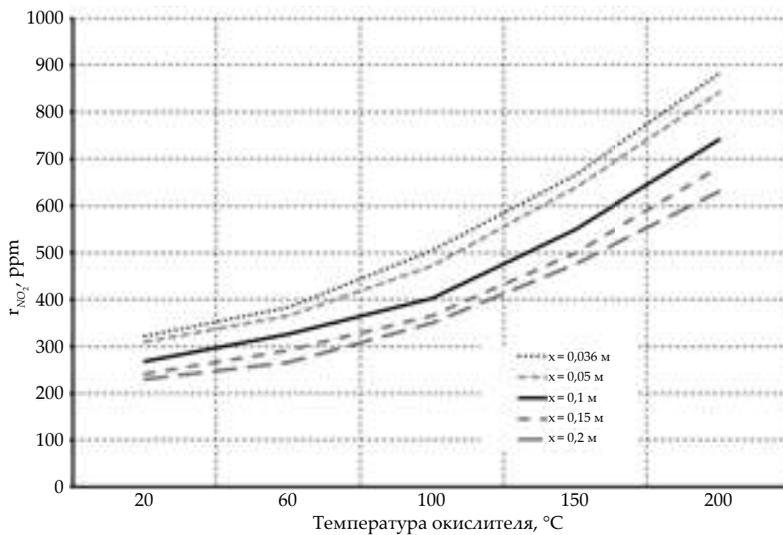


Рис. 4. График зависимости концентраций оксидов азота по сечениям топочного пространства при различных температурах окислителя

симостями характеризуется коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9933$.

Влияние температуры в зоне горения факела на генерацию термических оксидов азота рассмотрено в исследованиях М.А. Таймарова, Д.Е. Чикляева и др. Исследование химических процессов образования оксидов азота при сжигании газа, проведенное данными авторами [9,10], подтвердило экспоненциальный характер повышения концентраций оксидов азота с увеличением температуры смеси. Полученные результаты соответствуют теоретически ожидаемым, и подобное моделирование может быть в дальнейшем использовано.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что температура потока окислителя существенно влияет на распределение концентрации оксида азота в дымовых газах: уменьшение температуры подаваемого в качестве окислителя воздуха приводит к падению концентрации оксидов азота в дымовых газах; наибольшее снижение концентрации наблюдается при температуре воздуха 20 °С, при этом температура в зоне факела снижается незначительно.

В данном исследовании рассмотрен только один из факторов, влияющих на уровень выделения оксидов азота в дымовых газах котельных установок, но методика численного расчета характеристик процесса горения природного газа позволяет проводить исследования широкого круга изменяющихся параметров.

Предложенная модель может быть использована для получения предварительных значений температур в зоне горения и концентраций оксидов азота в дымовых газах. Для оптимизации работы котельного агрегата, в том числе разработки эффективных мероприятий по снижению уровня оксидов азота, необходимо исследование целого ряда параметров, что предполагает выполнение дальнейших исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Котлер В.Р. Оксиды азота в дымовых газах котлов. М.: Энергоатомиздат, 1987. 144 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». М.: Минприроды России; НИИ-Природа, 2018. 639 с.
3. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. М.: Недра, 1991. 294 с.
4. Таймаров М.А., Ахметова Р.В., Сунгатуллин Р.Г., Лавирко Ю.В., Желтухина Е.С. Снижение вредных выбросов в атмосферу оксидов азота котлами ТЭС // Известия КазГАСУ. 2017. № 1 (39). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/snizhenie-vrednyh-vybrosov-v-atmosferu-oksidov-azota-kotlami-tes> (дата обращения: 09.07.2019).

5. Князева А.Г., Чумаков Ю.А. Двухтемпературная модель горения газа в модельном горелочном устройстве цилиндрической формы // Известия ТПУ. 2007. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dvuhtemperaturnaya-model-goreniya-gaza-v-modelnom-gorelochnom-ustroystve-tsilindricheskoy-formy> (дата обращения: 13.04.2019).

6. Баландина О.А. Смешение струи углекислого газа со сносящим дозвуковым потоком воздуха // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 2 (31). С. 142–145. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.24.

7. Синецын Н.Н., Сидоров И.В., Белодонова И.О., Шушкова К.А. Математическая модель расчёта теплообмена в топке котла. // Вестник ЧГУ. 2013. Т. 3, № 4. С. 24–29.

8. FlowVision Версия 2.5.4. Примеры решения типовых задач: сайт FlowVision. [Электронный ресурс]. URL: <http://flowvision.ru/index.php/public-downloads/category/8-dokumentatsiya-flowvision> (дата обращения: 01.04.2019).

9. Таймаров М.А., Чикляев Д.Е. Образование термических оксидов азота при сжигании газа // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. Т. 16, № 23. С. 73–75.

10. Исследование химических процессов образования оксидов азота при сжигании газа и мазута / М.А. Таймаров, Н.Е. Кувшинов, Р.В. Ахметова, Р.Г. Сунгатуллин, Д.Е. Чикляев // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2016. Т. 19, № 20. С. 80–83.

REFERENCES

1. Kotler V.R. *Oksidy azota v dymovykh gazakh kotlov* [Nitrogen oxides in boiler flue gases]. Energoatomizdat Publ., 1987. 144 p.
2. State report. On the state and environmental protection of the Russian Federation in 2017. Moscow, Minprirody Rossii, NIA Priroda., 2018. 639 p. (in Russian)
3. Sigal I.Ya. *Zashchita vozdušnogo basseyna pri szhiganii topliva* [Protection of the air basin during fuel combustion]. Nedra Publ., 1991. 294 p.
4. Taymarov M.A., Ahmetova R.V., Sungatullin R.G., Lavirko YU.V., Zheltuhina E.S. Reduction of harmful emissions into the atmosphere of nitrogen oxides by boilers of thermal power plants. *Izvestiya KazGASU* [News of the KSUAE], 2007, no. 1 (39). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/snizhenie-vrednyh-vybrosov-v-atmosferu-oksidov-azota-kotlami-tes> (accessed 9 July 2019). (in Russian)
5. Knyazeva A.G., Chumakov Yu.A. Two-temperature model of gas combustion in a model cylindrical burner device. *Izvestiya TPU* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University], 2007, no. 4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/dvuhtemperaturnaya-model-goreniya-gaza-v-modelnom-gorelochnom-ustroystve-tsilindricheskoy-formy/> (accessed 13 April 2019).
6. Balandina O.A. Mixing of carbon dioxide jet with subsonic air flow. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, vol. 8,

no. 2 (31), pp. 142–145. (In Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.24

7. Sinitsyn N.N., Sidorov I.V., Belodonova I.O., Shushkova K.A. Mathematical model of calculation of heat and mass transfer in the boiler furnace. *Vestnik ChGU* [Proc. of the Cherepovets State University], 2013, vol. 3, no. 4, pp. 24–29. (in Russian)

8. FlowVision Version 2.5.4. Examples of typical tasks: the site Studied. Available at: <http://flowvision.ru/index.php/public-downloads/category/8-dokumentatsiya-flowvision/> (accessed 1 April 2019).

9. Taymarov M.A., Chiklyayev D.E. Formation of thermal nitrogen oxides during gas combustion. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Proc. of the Kazan technological University], 2013, vol. 16, no. 23, pp. 73–75. (in Russian)

10. Taymarov M.A., Kuvshinov N.E., Akhmetova R.V., Sungatullin R.G., Chiklyayev D.E. Investigation of chemical processes of formation of nitrogen oxides during combustion of gas and fuel oil. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Proc. of the Kazan technological University], 2016, vol. 19, no. 20, pp. 80–83. (in Russian)

Об авторах:

БАЛАНДИНА Ольга Александровна

ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: balandinaolya88@rambler.ru

BALANDINA Olga A.

Assistant of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair

Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: balandinaolya88@rambler.ru

ПУРИНГ Светлана Михайловна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: puring@mail.ru

PURING Svetlana M.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair

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

Для цитирования: Баландина О.А., Пуринг С.М. Исследование влияния температуры воздуха на уровень выделения оксидов азота в дымовых газах котельных установок // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 27–32. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.5.

For citation: Balandina O.A., Puring S.M. Research of Influence of Air Temperature on the level of nitrogen oxides in smoke gases of boiler plants. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 27–32. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.5.

Н. Н. МОНАРКИН
С. В. ЛУКИН
А. А. КОЧКИН

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ, ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ТЕПЛОВУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ТЕПЛОУТИЛИЗАТОРА

INFLUENCE OF GEOMETRIC, THERMOPHYSICAL AND OPERATING PARAMETERS ON THERMAL EFFICIENCY OF REGENERATIVE HEAT EXCHANGER

Проведено исследование влияния геометрических (длина, диаметр и толщина стенки единичного эквивалентного канала насадки), теплофизических (плотность и теплоемкость материала насадки) и режимных параметров (расход воздуха через регенератор и время одного этапа аккумуляции/регенерации тепловой энергии) на тепловую эффективность стационарных переключающихся регенеративных теплоутилизаторов. Выявлено, что с помощью вариации длины и диаметра канала и расхода воздуха можно добиться повышения тепловой эффективности до 10 %. Установлено, что толщина стенки единичного канала, плотность и теплоемкость материала насадки, а также время одного этапа слабо влияют на тепловую эффективность регенеративного теплоутилизатора.

Ключевые слова: регенеративный теплоутилизатор, насадка, параметры, тепловая эффективность, коэффициент энергетической эффективности

Стационарные переключающиеся регенеративные теплоутилизаторы (СПРТ) довольно широко применяются в вентиляции различных помещений. Однако для таких устройств в существующих исследованиях не дано конкретной информации по оптимальным геометрическим и теплофизическим параметрам [1], либо исследования проводились для массивных регенераторов, применяемых в промышленности при высоких температурах теплоносителя [2, 3]. Поэтому данное направление актуально.

Теплообменным элементом СПРТ является регенеративная насадка. Насадка представляет собой твердотельный цилиндр, пронизанный множеством каналов малого диаметра для прохода воздуха. Работа СПРТ состоит из попеременного переключения этапов аккумуляции теплоты внутреннего воздуха насадкой (режим вытяжки воздуха) и регенерации теплоты путем теплопередачи от насадки наружному проходящему воздуху (режим притока). Подобные устройства устанавливаются в наружных стенах [4].

The influence of geometric (length, diameter and wall thickness of a unit equivalent channel of the nozzle), thermophysical (density and heat capacity of the nozzle material) and operating parameters (air flow through the regenerator and the time of one stage of accumulation / regeneration of thermal energy) on the thermal efficiency of stationary switching regenerative heat exchangers was studied. It was revealed that by varying the length and diameter of the channel and air flow, it is possible to increase thermal efficiency up to 10%. It was found that the wall thickness of a single channel, the density and heat capacity of the material of the nozzle, as well as the time of one stage, slightly affect the thermal efficiency of the regenerative heat exchanger.

Keywords: regenerative heat exchanger, nozzle, parameters, thermal efficiency, energy efficiency coefficient

Целью статьи является исследование влияния изменения геометрических параметров, а также расхода воздуха, времени одного этапа аккумуляции/регенерации тепловой энергии, теплоемкости и плотности материала на тепловую эффективность регенеративной насадки СПРТ. Исследование параметров теплоутилизатора (регенератора) проводится на основе численной реализации построенной математической модели, которая описывает процессы теплообмена в единичном канале насадки [4].

Критерием оценивания является безразмерный коэффициент энергетической эффективности, представляющий собой отношение фактической использованной регенератором энергии к максимально возможной энергии.

$$E_{\text{акк}} = \frac{\delta T_1}{\Delta T_{\text{max}}}, \quad E_{\text{рег}} = \frac{\delta T_2}{\Delta T_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где $\Delta T_{\text{max}} = (T_{\text{in}} - T_{\text{out}})$ – максимально возможное охлаждение или нагрев воздуха в насадке от температуры внутренней среды T_{in} до наружной T_{out} , °С;

δT_1 – охлаждение внутреннего воздуха в насадке, среднее за этап аккумуляции, °С;

δT_2 – нагрев наружного воздуха в насадке, средний за этап регенерации, °С.

Коэффициенты $E_{акк}$ и $E_{рег}$ совпадают.

В ходе работы варьируются такие параметры насадки, как диаметр единичного канала (d), длина (l), толщина стенки (δ) единичного канала, объемный расход воздуха через насадку (L), плотность (ρ_H), удельная изобарная теплоемкость (c_H), а также время одного этапа аккумуляции/регенерации тепловой энергии (τ).

На эффективность теплообмена в регенераторе в первую очередь влияет площадь контакта (площадь теплообмена) между воздухом и насадкой. Соответственно параметры насадки регенератора, влияющие на изменение площади теплообмена, влияют и на эффективность регенератора. Чем меньше площадь теплообмена, тем ниже эффективность, и наоборот.

Площадь теплообмена уменьшается при снижении длины насадки и уменьшении общего числа каналов насадки, что возникает при увеличении поперечных размеров и толщины стенки единичного канала насадки.

В случае увеличения поперечных размеров единичного канала насадки из-за ограниченности общего поперечного размера (диаметра) насадки суммарная площадь теплообмена уменьшается, что связано со снижением общего числа каналов в насадке (рис. 1). Ограниченность

общего диаметра насадки вытекает из ограничения возможности выполнения сквозных отверстий в наружных стенах. В данном случае диаметр насадки ограничен 0,2 м (площадь 0,03 м²).

Из рис. 1 следует, например, что при увеличении эквивалентного диаметра канала от 0,0016 до 0,0058 м (т. е. в 3,6 раза) площадь теплообмена одного канала возрастает от 0,006 до 0,019 м² (в 3,2 раза); при этом суммарная площадь теплообмена уменьшается от 22,3 до 10,8 м (в 2,06 раза).

Зависимость коэффициента энергетической эффективности от эквивалентного диаметра единичного канала приведена на рис. 2. Видно, что при увеличении диаметра с 1,6 до 5,8 мм (в 3,63 раза) эффективность падает: для расхода 15 м³/ч – на 3 %, для расхода 20 м³/ч – на 4 %, для расхода 31 м³/ч – на 7 %, для расхода 50 м³/ч – на 10 %. То есть увеличение диаметра канала при постоянном расходе воздуха через насадку снижает ее эффективность, и наиболее резкое снижение наблюдается при максимальном расходе воздуха.

Необходимо отметить, что с повышением расхода воздуха при постоянном диаметре снижается коэффициент эффективности.

В случае увеличения толщины стенки единичного канала общее число каналов насадки уменьшается из-за большего заполнения сечения насадки твердым материалом. Таким образом, чем меньше толщина стенки канала, тем эффективнее регенератор. Ограничение на сни-

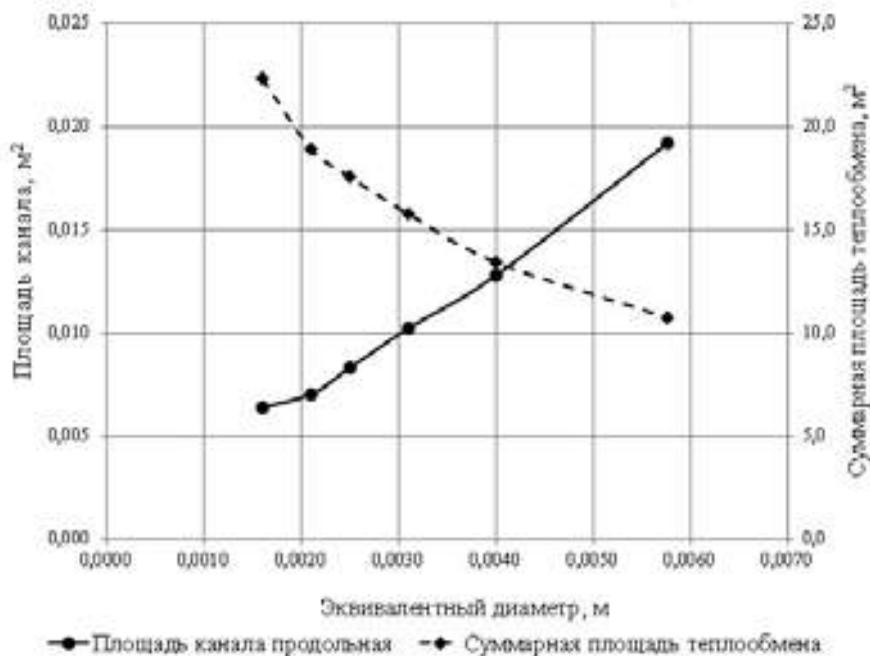
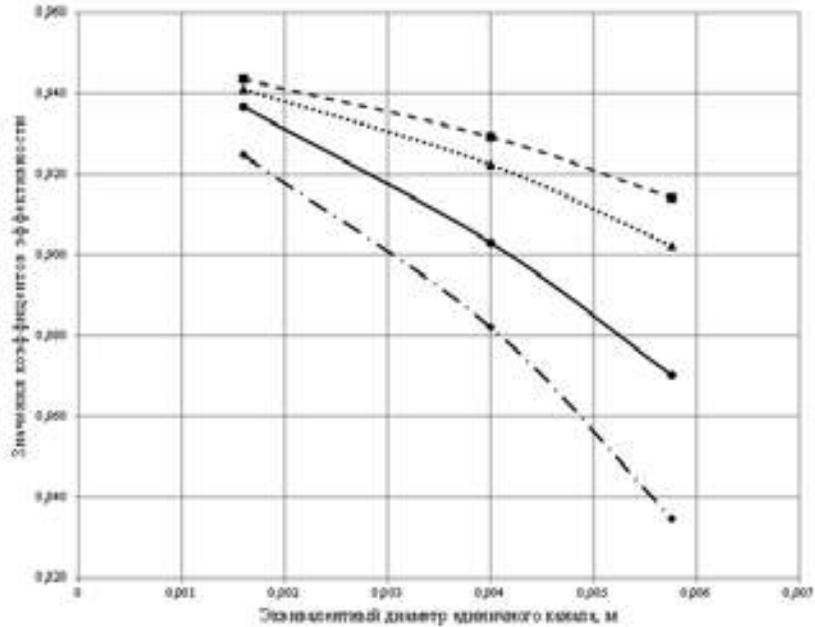


Рис. 1. Зависимость площади единичного канала и суммарной площади теплообмена от эквивалентного диаметра единичного канала (длина канала $l=0,64$ м, толщина стенки канала $\delta=0,5$ мм, время $\tau=40$ с, расход воздуха $L=31$ м³/ч)

жение толщины стенки здесь может накладываться только условие прочности конструкции.

В целом (рис. 3) наблюдается снижение эффективности при увеличении диаметра и толщины стенки канала, при этом внутри

зависимости для одного диаметра снижение эффективности слабое. При диаметре 1,6 мм значение коэффициента эффективности уменьшается на 4 %, при диаметре 4,0 мм – на 5 %, при диаметре 5,8 мм – на 3 %.



■ Расход 15 м³/ч ■■■ Расход 20 м³/ч ■■■■ Расход 31 м³/ч ■■■■■ Расход 50 м³/ч

Рис. 2. Зависимость значений коэффициентов энергетической эффективности от эквивалентного диаметра единичного канала (длина канала $l=0,64$ м, толщина стенки канала $\delta=0,5$ мм, время $\tau=40$ с)

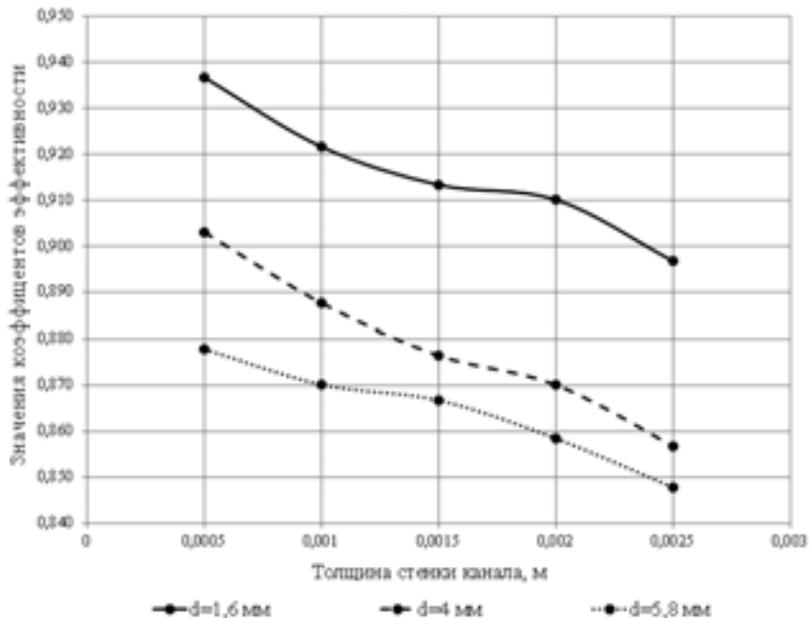


Рис. 3. Зависимость коэффициентов эффективности от толщины стенки единичного канала для трех диаметров канала (длина канала $l=0,64$ м, время $\tau=40$ с, расход воздуха $L=31$ м³/ч)

Увеличение времени этапа аккумуляции/регенерации тепловой энергии в регенераторе приводит к снижению его энергоэффективности (рис. 4). Из рисунка видно, что при изменении времени этапа с 5 до 300 с (в 60 раз) для длины 0,64 м снижается эффективность на 3 %, для длины 0,4 м – на 6 %, для длины 0,2 м – на

9 %. То есть в наихудших условиях находится вариант при минимальной длине и максимальном времени этапа. Стоит отметить, что со снижением длины канала при постоянном диаметре снижается эффективность регенератора.

На рис. 5 приведена зависимость коэффициентов эффективности от плотности мате-

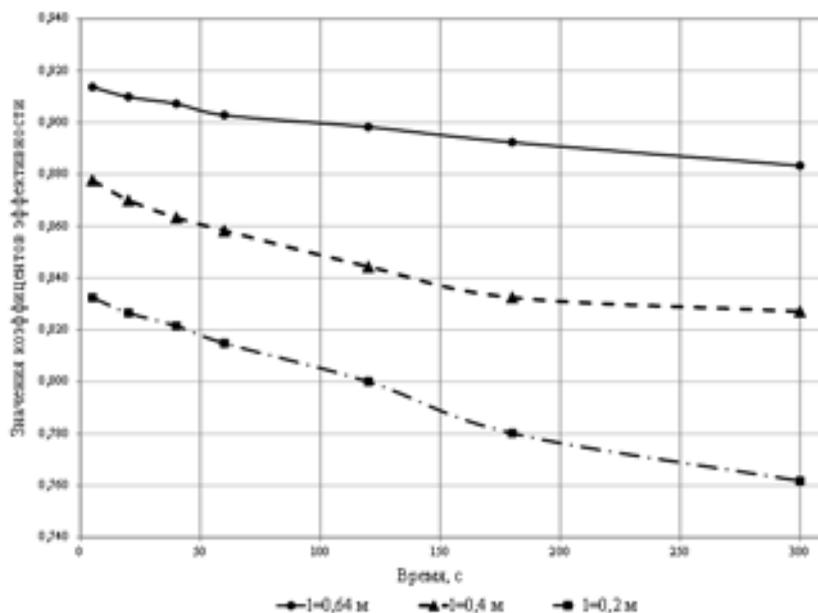


Рис. 4. Зависимость коэффициентов эффективности от времени одного этапа аккумуляции/регенерации при различной длине канала (диаметр канала $d=4,0$ мм, толщина стенки канала $\delta=0,5$ мм, расход воздуха $L=31\text{ м}^3/\text{ч}$)

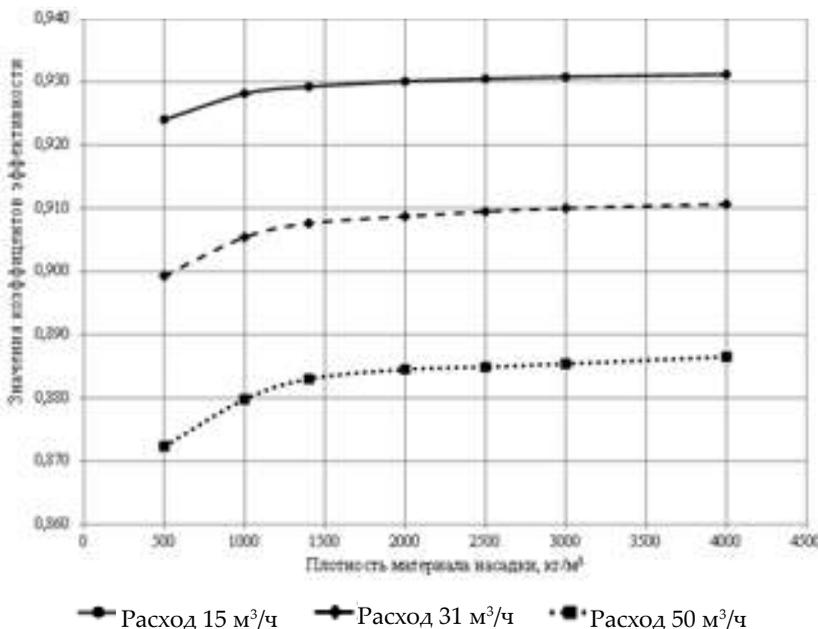


Рис. 5. Зависимость коэффициентов эффективности от плотности материала насадки (диаметр канала $d=4,0$ мм, длина канала $l=0,64$ м, толщина стенки канала $\delta=0,5$ мм, время $\tau=40$ с)

риала насадки для трех различных расходов воздуха при постоянной теплоемкости (длина канала $l=0,64$ м, диаметр $d=4,0$ мм, толщина стенки $\delta=0,5$ мм). Из рисунка видно, что характер изменения коэффициентов эффективности для всех трех расходов одинаков: наблюдается заметный рост вначале (от 500 до 2000 кг/м³), затем процесс практически стабилизируется. При росте плотности насадки

с 500 до 4000 кг/м³ коэффициент эффективности увеличивается для всех указанных расходов на 1–2 %.

Варьирование теплоемкости при постоянной плотности материала насадки в 1400 кг/м³ дает аналогичные результаты. При росте теплоемкости насадки с 1000 до 8000 Дж/кг·К коэффициент эффективности увеличивается для всех указанных расходов на 1–2 % (рис. 6).

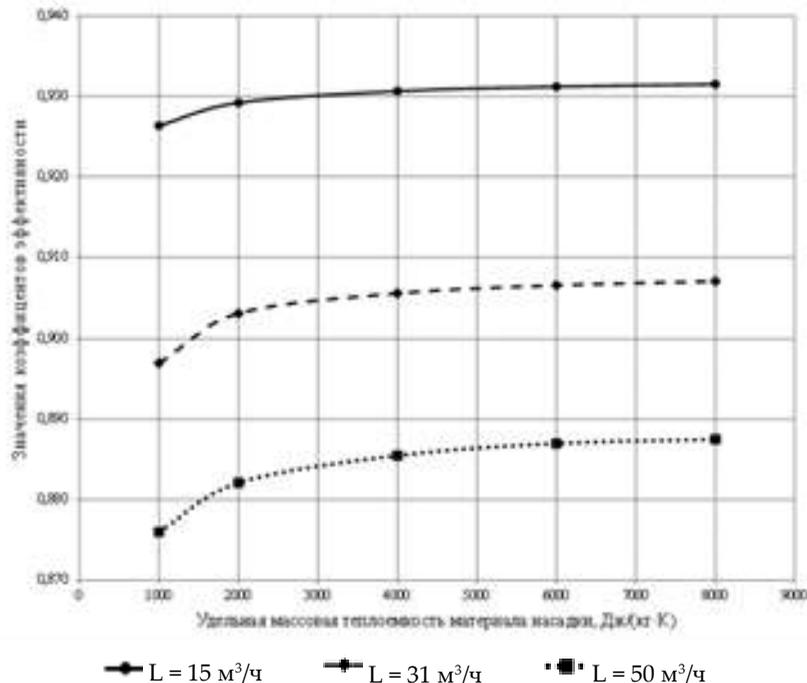


Рис. 6. Зависимость коэффициентов эффективности от плотности материала насадки (диаметр канала $d=4,0$ мм, длина канала $l=0,64$ м, толщина стенки канала $\delta=0,5$ мм, время $\tau=40$ с)

Выводы. В результате работы выявлено, что на тепловую и аэродинамическую эффективность регенератора определяющее влияние оказывают диаметр и длина единичного эквивалентного канала насадки, а также расход воздуха через насадку. Например, при расходе воздуха в количестве 50 м³/ч уменьшение диаметра канала с 5,8 до 1,6 мм (в 3,63 раза) позволяет увеличивать тепловую эффективность до 10 %.

Для получения существенных изменений эффективности при варьировании времени одного этапа аккумуляции/регенерации тепловой энергии требуется слишком сильное его увеличение или уменьшение, что в данном случае является неприемлемым. Поэтому можно считать, что время этапа влияет на эффективность регенератора незначительно. Также слабое влияние на эффективность оказывают толщина стенки единичного канала и плотность материала насадки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильев В.А., Гаврилов А.И., Каменецкий К.К., Соболев Е.В. Параметрическое исследование регенеративного теплообменника // Вестник международной академии холода. 2010. С. 32–35.
2. Шашкин В.Ю., Торопов Е.В. Оценка эффективности насадок регенеративных теплообменных аппаратов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2007. С. 5–6.
3. Рыбкина Г.В., Ометова М.Ю., Елин Н.Н. Оптимизация геометрических характеристик насадки регенеративного теплообменника // Энергосбережение и водоподготовка. 2010. С. 47–48.
4. Монаркин Н.Н., Лукин С.В., Кочкин А.А. Математическая модель теплообмена в тонкостенном регенераторе // Приволжский научный журнал. 2018. № 3 (47). С. 57–62.

REFERENCES

1. Vasil'ev V.A., Gavrilov A.I., Kamenetskiy K.K., Sobol' E.V. Parametric study of regenerative heat exchanger. *Vestnik mezhdunarodnoy akademii kholoda* [Bulletin of the International Academy of Cold], 2010, no. 1, pp. 32–35. (in Russian)
2. Shashkin V.Yu., Toropov E.V. Evaluation of efficiency of regenerative heat exchangers nozzles. *Vestnik yuzhno-ural'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of South Ural State University], 2007, no. 12 (84), pp. 5–6. (in Russian)
3. Rybkina G.V., Ometova M.Yu., Elin N.N. Optimization of the geometric characteristics of the regenerative heat exchanger nozzle. *Energoberezhenie i vodopodgotovka* [Energy Saving and Water Treatment], 2010, no. 4 (66), pp. 47–48. (in Russian)
4. Monarkin N.N., Lukin S.V., Kochkin A.A. Mathematical model of heat transfer in a thin-walled regenerator. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal* [The Privolzhsky Scientific Journal], 2018, no. 3 (47), pp. 57–62. (in Russian)

Об авторах:

МОНАРКИН Николай Николаевич

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Вологодский государственный университет Инженерно-строительный институт 160000, Россия, Вологодская область, г. Вологда, ул. Ленина, 15
E-mail: nikolay-monarkin@yandex.ru

ЛУКИН Сергей Владимирович

доктор технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Вологодский государственный университет Инженерно-строительный институт 160000, Россия, Вологодская область, г. Вологда, ул. Ленина, 15
E-mail: s.v.luk@yandex.ru

КОЧКИН Александр Александрович

доктор технических наук, доцент, и.о. директора инженерно-строительного института, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства Вологодский государственный университет Инженерно-строительный институт 160000, Россия, Вологодская область, г. Вологда, ул. Ленина, 15
E-mail: aakochkin@mail.ru

MONARKIN Nikolay N.

Senior Lecturer of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Vologda State University Institute of Civil Engineering 160000, Russia, Vologda, Lenina str., 15
E-mail: nikolay-monarkin@yandex.ru

LUKIN Sergey V.

Doctor of Engineering Science, Professor, Acting Head of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Vologda State University Institute of Civil Engineering 160000, Russia, Vologda, Lenina str., 15
E-mail: s.v.luk@yandex.ru

KOCHKIN Aleksandr A.

Doctor of Engineering Science, Acting Director of the Institute of Civil Engineering, Associate Professor of the Industrial and Civil Engineering Chair Vologda State University Institute of Civil Engineering 160000, Russia, Vologda, Lenina str., 15
E-mail: aakochkin@mail.ru

Для цитирования: *Монаркин Н.Н., Лукин С.В., Кочкин А.А.* Влияние геометрических, теплофизических и режимных параметров на тепловую эффективность регенеративного теплоутилизатора // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 33–38. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.6.

For citation: *Monarkin N.N., Lukin S.V., Kochkin A.A.* Influence of Geometric, Thermophysical and Operating Parameters on Thermal Efficiency of Regenerative Heat Exchanger. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 33–38. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.6.

М. Н. НИКИТИН
Т. С. СОЛОВЬЕВА
О. В. ШЛЯХТИНА

РЕШЕНИЯ В ЯВНОЙ ФОРМЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНОМУ ПОТОКУ

SOLUTIONS IN EXPLICIT FORM FOR DETERMINING THE HYDRAULIC RESISTANCE COEFFICIENT FOR TURBULENT FLOW

Проведен сравнительный анализ явных решений уравнения Колбрука–Уайта. Получены значения медиан относительных отклонений, коэффициентов детерминации и временных вычислительных сложностей для каждой аппроксимации. В качестве «истинного» решения использовались результаты итерационного решения уравнения Колбрука–Уайта методом подстановки. Аппроксимации Б. Эка и А. Ватанкаха были выделены как наиболее эффективные с точки зрения вычислительной сложности. Показано, что широко используемые аппроксимации П. Блазиуса, А.Д. Альтшуля и И. Никурадзе при своей простоте обеспечивают приемлемую точность только для ограниченных значений критерия Рейнольдса и относительной шероховатости.

A comparative analysis of explicit solutions of the Colebrook-White equation is carried out. The median values of relative deviations, coefficients of determination and computational complexities for each approximation were obtained. The results of the iterative solution of the Colebrook-White equation by successive substitution method were used as the intrinsic solution. Approximations by B. Eck and A.R. Vatankhah were identified as the most effective in terms of computational complexity. It was shown that widely used approximations by P.R.H. Blasius, A.D. Altshul and J. Nikuradze although simple, provide acceptable accuracy only within restricted ranges of Reynolds and relative roughness.

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, турбулентное течение, аппроксимация, явное решение, вентиляция, относительная шероховатость

Keywords: friction losses, turbulent flow, approximation, explicit solution, ventilation, dimensionless roughness

Введение

Гидравлическое сопротивление канала движущемуся в нем потоку рабочей среды является ключевым фактором при расчете инженерных систем, в частности систем вентиляции. Для движущейся в канале среды выделяют три режима течения: ламинарный, переходный (критический) и турбулентный. На режим течения влияют не только параметры потока, но и шероховатость стенок канала. Поэтому для разграничения режимов используют коэффициент шероховатости Рейнольдса [1]:

$$Re_* = \frac{\bar{\Delta}}{\sqrt{8}} (Re\sqrt{\lambda}), \quad (1)$$

где $\bar{\Delta} = \Delta/D_h$ – относительная шероховатость стенок канала; Δ – абсолютная шероховатость стенок канала, м; D_h – гидравлический диаметр канала, м; $Re = U \cdot D_h / \nu$ – критерий Рейнольдса для потока; U – скорость потока, м/с; ν – кинематическая вязкость потока, м²/с; λ – коэффициент сопротивления потоку.

В ламинарном режиме ($Re < 2000$) поток можно условно разделить на слои (ламиналии), в которых выполняется условие $\partial \bar{u} / \partial y = 0$.

Поскольку толщина ламиналии превышает величину абсолютной шероховатости стенки при коэффициенте шероховатости Рейнольдса $Re_* < 3$ [2], коэффициент гидравлического сопротивления для большинства каналов зависит только от параметров потока [3]:

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (2)$$

В переходном (критическом) режиме течения происходит резкий скачок гидравлического сопротивления. Данный режим соответствует диапазону значений числа Рейнольдса $2000 < Re < 3000$ и описывается полуэмпирическими выражениями Л.А. Самойленко [4, 5].

Для турбулентного режима течения ($Re > 3000$) выделяют три степени влияния шероховатости стенок канала на сопротивление потоку. При канал считают гидравлически гладким и коэффициент сопротивления может быть определен итерационным методом по уравнению Прандтля-фон Кармана [6, 7]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log \left(\frac{Re\sqrt{\lambda}}{2.51} \right) \approx 1.93 \log (Re\sqrt{\lambda}) - 0.537. \quad (3)$$

При $3 < Re_* < 70$ на сопротивление потоку влияют не только его параметры (скорость и вязкость), но и параметры канала (диаметр и шероховатость его стенок). В этом случае коэффициент сопротивления может быть определен итерационным методом по уравнению Колбрука–Уайта (И.Е. Идельчик [9] свидетельствует о схожем выражении, полученном Г.А. Мурином [8]) [9]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\bar{\Delta}}{3.715} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right). \quad (4)$$

В развитом турбулентном режиме ($Re_* > 70$) толщина пристеночного слоя минимальна и не зависит от Re [2]. Поэтому сопротивление потоку определяется только величиной шероховатости по квадратичному закону [2, 10]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \left(\frac{3.715}{\bar{\Delta}} \right). \quad (5)$$

Точные значения коэффициентов сопротивления турбулентному потоку при $Re_* < 70$ могут быть получены только путем итерационного решения уравнений (3) или (4), поскольку они представлены в неявной форме. Это ограничивает их применимость для инженерных расчетов. Поэтому на практике используются аппроксимации, которые с определенной степенью точности позволяют определять коэффициенты сопротивления потоку в явной форме.

Существующие аппроксимации

Для гидравлически гладких каналов ($Re_* < 3$) обычно используются выражения Пауля Блази-

Аппроксимации уравнения Колбрука–Уайта

Авторы	Аппроксимация	Уравнение	Ограничения	m(E) %	R ²	T(n)
П. Блазиус (1913) [11]	$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$	(6)	$2300 < Re < 10^5$; $\bar{\Delta} = 0$	26.05	0.24	2
И. Никурадзе (1933) [12]	$\lambda = 0.0032 + \frac{0.221}{Re^{0.237}}$	(7)	$10^5 < Re < 10^6$; $\bar{\Delta} = 0$	20.70	0.238	3
Л. Прандтль (1936) [13]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \lg \left(\frac{\varepsilon}{3.71D} \right)$	(8)	$Re > 560/\bar{\Delta}$	16.21	0.745	4
Л.Ф. Муди (1947) [14]	$\lambda = 0.0055 \left(1 + \sqrt[3]{20000\bar{\Delta} + \frac{10^6}{Re}} \right)$	(9)	$4000 < Re < 10^8$; $\bar{\Delta} < 0,01$	0.56	0.982	6
Филоненко–Альтшуль (1948) [15, 16]	$\lambda = \frac{1}{(1.8 \lg Re - 1.64)^2}$	(10)	$Re > 4000$; $\bar{\Delta} = 0$	9.36	0.246	5
А.Д. Альтшуль (1952) [15]	$f = 0.11 \left(\frac{68}{Re} + \varepsilon/D \right)^{0.25}$	(11)	$4000 < Re < 10^7$; $\bar{\Delta} < 0,01$	8.03	0.9355	4
Б. Эк (1973) [17]	$\frac{1}{\sqrt{f}} \cong -2 \lg \left(\frac{\varepsilon}{3.715D} + \frac{15}{Re} \right)$	(12)	– [18]	-0.02	0.993	6
С. Черчилль (1973) [19]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \lg \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \left(\frac{7}{Re} \right)^{0.9} \right)$	(13)	–	-0.54	0.999	7
Н. Чен (1979) [20]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \lg \left[\frac{\varepsilon/D}{3.7065} - \frac{5.0452}{Re} \cdot \log \left(\frac{1}{2.8257} \left(\frac{\varepsilon}{D} \right)^{1.1098} + \frac{5.8506}{Re^{0.8981}} \right) \right]$	(14)	$4000 < Re < 10^8$; $5 \cdot 10^{-7} < \bar{\Delta} < 0,05$	-0.08	0.99997	13
Д. Зигранг и Н. Сильвестр (1982) [21]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \lg \left[\frac{\varepsilon/D}{3.7} - \frac{5.02}{Re} \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} - \frac{5.02}{Re} \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{13}{Re} \right) \right) \right]$	(15)	$4000 < Re < 10^8$; $10^{-5} < \bar{\Delta} < 0,05$	-0.09	1	16
Т. Сергхайдс (1984) [22]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = A - \frac{(B-A)^2}{C-2B+A}$, $A = -2 \lg \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{12}{Re} \right)$, $B = -2 \lg \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51A}{Re} \right)$, $C = -2 \lg \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51B}{Re} \right)$	(16)	$2300 < Re < 1,5 \cdot 10^8$; $\bar{\Delta} < 0,05$	-0.05	1	28

Окончание таблицы

Авторы	Аппроксимация	Уравнение	Ограничения	m(E) %	R ²	T(n)
Е. Ромео (2002) [23]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left\{ \frac{\varepsilon/D}{3.7065} - \frac{5.0272}{Re} \log \left[\frac{\varepsilon/D}{3.827} - \frac{4.657}{Re} \log \left(\left(\frac{\varepsilon/D}{7.7918} \right)^{0.9924} + \left(\frac{5.3326}{208.815 + Re} \right)^{0.9345} \right) \right] \right\}$	(17)	3000 < Re < 10 ⁸ ; $\bar{\Delta} < 0,05$	-0.05	1	19
Д. Буззелли (2008) [24]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = A - \frac{A+2 \log \left(\frac{B}{Re} \right)}{1 + \frac{2.18}{B}}$ <p>where $A = \frac{0.7441 \ln(Re) - 1.41}{1 + 1.32 \sqrt{\varepsilon/D}}$ $B = \frac{\varepsilon/D}{3.7} Re + 2.51A$</p>	(18)	2300 < Re < 10 ⁸ ; $\bar{\Delta} < 0,05$	-0.08	1	22
Дж. Соннед (2006) [25]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 0.8686 \ln \left(\frac{0.4587 Re}{S \left(\frac{S}{S+1} \right)} \right)$ <p>where $S = 0.124(\varepsilon/D) Re + \ln(0.4587 Re)$</p>	(19)	4000 < Re < 10 ⁸ ; $10^{-6} < \bar{\Delta} < 0,05$	-0.32	0.9999	14
А. Ватанках (2009) [26]	$f = \left(\ln \left(d / (S - 0.28) \frac{S}{S+0.98} \right) \right)^{-2}$ <p>where $a = 0.8686$, $d = 0.4587 Re$, and $S = 0.1240(\varepsilon/D) Re + \ln(0.4587 Re)$</p>	(20)	10 ⁴ < Re < 10 ⁸ ; $10^{-6} < \bar{\Delta} < 0,01$	-0.04	1	15
Д. Бркич (2011) [27]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(10^{-0.4343\beta} + \frac{\varepsilon}{3.7D} \right)$ <p>where $\beta = \ln(1 + 0.4587 Re) \left(1 - \frac{\ln(1 + \ln(1 + 0.4587 Re))}{2 + \ln(1 + 0.4587 Re)} \right)$</p>	(21)	4000 < Re < 10 ⁸ ; $\bar{\Delta} < 0,05$	-0.06	0.999	22
Ш. Фанг (2011) [28]	$f = 1.613 \cdot \left[\ln(0.234(\varepsilon/D)^{1.1007}) - \frac{60.525}{Re^{1.1105}} + \frac{56.291}{Re^{1.0712}} \right]^{-2}$	(22)	3000 < Re < 10 ⁸ ; $\bar{\Delta} < 0,05$	-0.15	0.9999	11
Б. Ашур (2012) [29]	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{10.04}{\bar{R}} \right)$ <p>where $\bar{R} = 2Re \left[-\log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.5}{Re^{0.9}} \right) \right]^{-1}$</p>	(23)	2300 < Re < 10 ⁸ ; $\bar{\Delta} < 0,05$	-0.08	0.9999	13
Д. Бркич (2016) [30]	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log_{10} \left(\frac{2.51 \left(1.14 - 2 \cdot \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{D} \right) \right)^{0.75}}{Re} + \frac{\varepsilon}{3.71 \cdot D} \right)$	(24)	10 ⁴ < Re < 10 ⁸ ; $10^{-6} < \bar{\Delta} < 0,05$	1.11	0.995	11

уса (6), Ивана Ильича Никурадзе (7) и Филоненко–Альтшуля (10). Причем данные выражения практикуются для всех инженерных расчетов вне зависимости от режима течения [9], поэтому они будут рассмотрены наравне с выражениями для вполне шероховатых каналов.

Первая аппроксимация (9) для уравнения Колбрука–Уайта (4) была предложена американским инженером Льюисом Муди в 1947 г. Впоследствии принимались попытки уточнить эту аппроксимацию и расширить диапазон ее применимости (хронологию см. в таблице). Наиболее широким диапазоном параметров потока (Re) и поверхности ($\bar{\Delta}$) характеризуются аппроксимации Б. Эка (12), С. Черчилля (13), Т. Сергхайдса (16), Е. Ромео (17), Д. Бузелли (18), Д. Бркича (21), Б. Ашура (23).

Методика анализа

Приведенные выше аппроксимации оценивались по точности и сложности. Точность определялась для полного диапазона значений критерия Рейнольдса ($2000 < Re < 10^8$) и относительной шероховатости ($0 < \bar{\Delta} < 0,05$) вне зависимости от рекомендованных значений (ограничений). Точность аппроксимаций определялась по медиане относительных ошибок ($m(E) = m\left(\frac{\lambda_{\text{ист}} - \lambda_{\text{аппрокс}}}{\lambda_{\text{ист}}}\right)$) и коэффициенту детерминации (R^2).

В качестве «истинных» значений ($\lambda_{\text{ист}}$) принимались результаты итерационного решения уравнения (3) методом подстановки [29]. Из множества, ограниченного рассмотренным диапазоном Re и $\bar{\Delta}$, была сделана выборка 42 точек, которые и использовались в анализе. Количество точек в выборке ($n = 42$) было определено методом экстраполяции Ричардсона [31], который показал асимптотическое приближение использованных критериев (медианы относительных ошибок и коэффициента детерминации) к своим «истинным» значениям при $n \geq 42$.

Сложность каждой аппроксимации оценивалась по критерию временной вычислительной сложности $T(n)$, которая для простейших арифметических операций имеет постоянную асимптотику ($T(n) = O(1)$) и равняется их сумме [32], а для операций возведения в степень — логарифмическую ($T(n) = O(\log(n))$) [32]. Исключение составили выражения (16), (18), (19) и (20), где использование комплексов сокращает вычислительную нагрузку.

Результаты

В рассмотренном диапазоне значений критерия Рейнольдса ($2000 < Re < 10^8$) и относительной шероховатости ($0 < \bar{\Delta} < 0,05$) аппрок-

симации (6)–(8) и (10), показали неудовлетворительные результаты ($R^2 < 0,8$). Наиболее точными ($R^2 > 0,999$) оказались аппроксимации (14), (15)–(23).

Анализ рассмотренных аппроксимаций показал, что повышение точности решения неизбежно сопровождается увеличением вычислительной нагрузки. При этом наиболее эффективные решения достаточно точно описываются степенными законами для медиан ошибок (штриховая линия на рисунке «а»:

$$m(E) = \frac{0,8}{T(n)^3} + 0,0003; \quad (25)$$

и для коэффициентов детерминации (штриховая линия на рисунке «б»:

$$R^2 = 0,3T(n)^{0,65}. \quad (26)$$

В соответствии с (26) можно выделить аппроксимации, обеспечивающие недостаточную точность при соответствующих вычислительных нагрузках (крестики на рисунке). К ним относятся аппроксимации с достаточно узкими заявленными диапазонами Re и $\bar{\Delta}$ (выражения (6), (7) и (10), которые не предназначены для описания рассматриваемых условий.

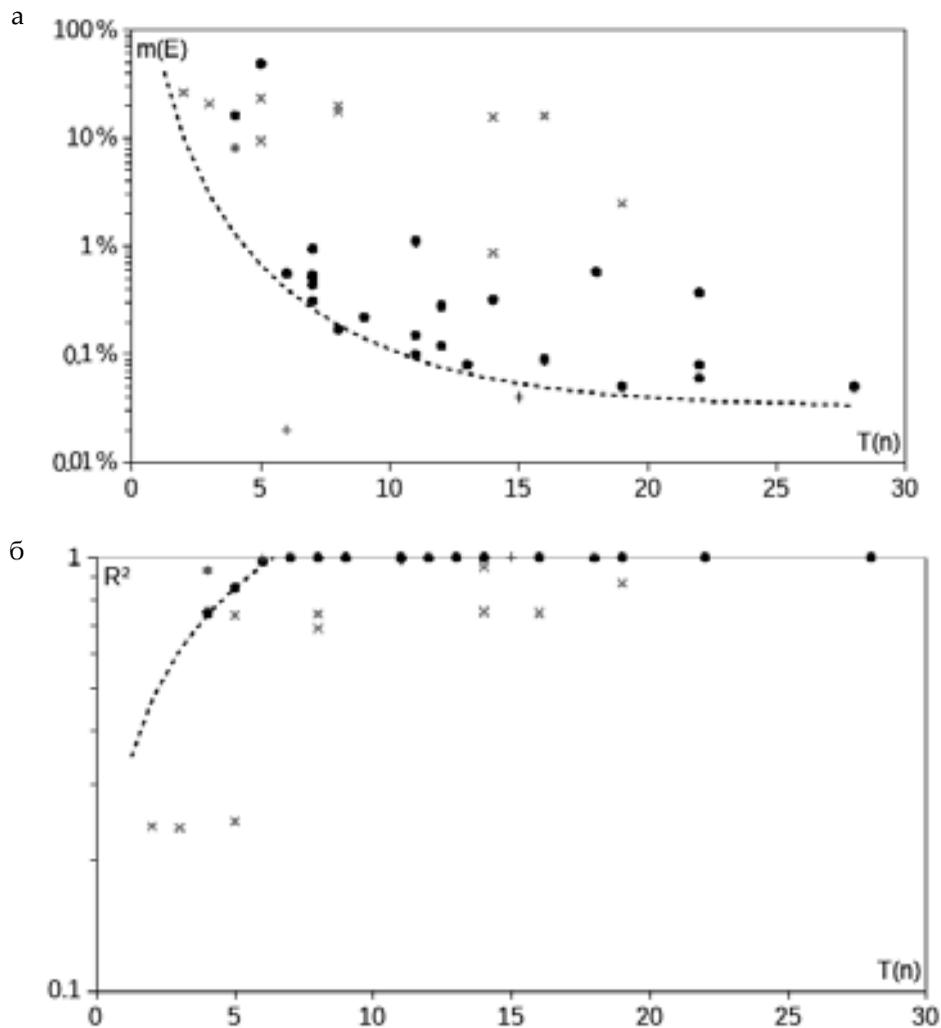
Очевидно, что аппроксимации Б. Эка (12) и А. Ватанкаха (20) (плюсы на рисунке) преодолевают общий ограничивающий тренд и обеспечивают исключительно малые медианы относительных отклонений $m(E)$ в своих категориях вычислительной сложности ($T(n) = 6$ и $T(n) = 15$). Эти же выражения характеризуются коэффициентами детерминации, превышающими ожидаемые значения для своих категорий вычислительной сложности.

Отдельно следует отметить аппроксимацию А.Д. Альтшуля (11) (звездочки на рисунке), которая при вычислительной сложности $T(n) = 4$ обеспечивает приемлемую точность ($R^2 = 0,985$) в достаточно широком заявленном диапазоне ($4000 < Re < 10^7$; $\bar{\Delta} < 0,01$). Вместе с тем, даже в заявленном диапазоне относительная ошибка при использовании выражения А.Д. Альтшуля может достигать 30 % ($Re = 10^7$; $\bar{\Delta} = 0$).

Остальные (жирные круглые) точки на рисунке соответствуют результатам расчета по аппроксимациям, удовлетворяющим требованиям точности при средней вычислительной сложности.

Заключение

Гидравлические потери по длине канала, несмотря на небольшую удельную величину, оказывают существенное влияние на работу систем трубопроводов, в частности вентиляционных систем. При этом коэффициент сопротивления потоку по длине канала λ является



Зависимости точности аппроксимаций уравнения Колбрука–Уайта от их сложности:
 а – точность в модулях медиан относительных отклонений; б – точность в коэффициентах детерминации

определяющим критерием при аэродинамическом расчете вентиляционных систем.

Коэффициент λ с высокой точностью может быть получен в результате итерационного решения уравнения Колбрука–Уайта. В настоящее время подобная задача легко решается средствами электронных таблиц (табличного редактора), существует целый ряд калькуляторов в свободном доступе в сети Интернет [33]. Однако в инженерных расчетах по-прежнему широко используются приближенные решения (аппроксимации) этого уравнения, выражающие коэффициент через явную функцию $\lambda = f(Re, \Delta)$.

Проведенный анализ наиболее известных аппроксимаций позволил сделать следующие **выводы:**

1. Точность аппроксимаций находится в степенной зависимости от их вычислительной сложности.

2. Точность аппроксимации может быть выражена через медиану относительных отклонений по выражению (25) и через коэффициент детерминации по выражению (26).

3. С точки зрения вычислительной сложности наиболее эффективными аппроксимациями являются выражения Б. Эка (12) ($R^2 = 0,993$) и А. Ватанкаха (20) ($R^2 = 1$).

4. Аппроксимация А.Д. Альтшуля (11) при незначительной вычислительной сложности ($T(n) = 4$) обеспечивает приемлемую точность ($R^2 = 0,985$) в достаточно широком заявленном диапазоне ($4000 < Re < 10^7$; $\Delta < 0,01$).

5. Широко используемые в российской инженерной практике аппроксимации (П. Блазиуса, А.Д. Альтшуля и И. Никурадзе) при своей простоте обеспечивают весьма малую, но приемлемую точность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nikuradse J. Laws of flow in rough pipes. –Berlin, In translation, NACA TM 1292: 1933. – 361 p.
2. Elemér B. Fluid Mechanics. –Miskolci, Hungary, TÁMOP Press.: 2014. –303 p.
3. Sutura S.P., Skalak R. The History of Poiseuille's Law // Annual Review of Fluid Mechanics, 1993. – No.25. – P. 1–19.
4. Прегер Е.А., Самойленко Л.А. Исследование гидравлического сопротивления трубопроводов при переходном режиме движения жидкостей и газов // Труды ЛИСИ. Л.; 1966. №5. С.27–39.
5. Самойленко Л.А. Исследование гидравлических сопротивлений трубопроводов в зоне перехода ламинарного движения в турбулентное: дис. ... к.т.н. Л.: ЛИСИ, 1968. 172 с.
6. Rouse H. Elementary Mechanics of Fluids. –New York, John Wiley and Sons publ.: 1946. – 376 p.
7. Zeghadnia L., Robert J. L., Achour B. Explicit solutions for turbulent flow friction factor: A review, assessment and approaches classification // Ain Shams Engineering Journal, 2019. – No. 10. – P. 243-252. DOI:10.1016/j.asej.2018.10.007.
8. Colebrook C.F., White C.M. Experiments with fluid friction in roughened pipes // Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 1937. – No. 904(161). – P. 367-381. DOI: 10.1098/rspa.1937.0150
9. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. 3-е издание. М.: Машиностроение, 1992. 672 с.
10. Murin G.A. Gidravlichesкое soprotivlenie stalnykh trub // Izvestiya VTI, [VTI Proceeding], 1948. – No. 10. – P. 21–27.
11. Blasius P. R. H. The law on the compatibility of friction processes in liquid systems // Forschungsheft, 1913. – Vol. 131. – P. 1–41.
12. Nikuradze J. Stromungsgesetze in rauhen Rohren // VDI-Forschungsheft, 1933. – No. 361. – P. 16–53.
13. Прандтль Л. Результаты работ последнего времени по турбулентности // Проблемы турбулентности. М.; 1936. С. 9–34.
14. Moody L.F. An approximate formula for pipe friction factors // Trans ASME, 1947. – No. 12(69). – P. 1005–1006.
15. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления М.: Недра, 1970, 224 с.
16. Филоненко Г.К. Формула для коэффициента гидравлического сопротивления гладких труб // Известия ВТИ. 1948. №10(162). С 17–23.
17. Eck B. Technical Current Theory. – New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 1973. – 466 p.
18. Samadianfard S. Gene expression programming analysis of implicit Colebrook- White equation in turbulent flow friction factor calculation // Journal of Petroleum Science and Engineering, 2012. – Vol. 92-93. – P. 48-55. DOI: 10.1016/j.petrol.2012.06.005
19. Churchill, S.W. Empirical Expressions for the Shear Stress in Turbulent Flow in Commercial Pipe // American Institute of Chemical Engineering Journal, 1973. – No.19(2). – P. 375–376.
20. Chen N.H. An explicit equation for friction factor // American Institute of Chemical Engineering Journal, 1979. – No. 18(3). – P. 296–297.
21. Zigrang, D.J., Sylvester, N.D., Explicit Approximations to the Solution of Colebrook's Friction Factor Equation // American Institute of Chemical Engineering Journal, 1982. – No.28. – P. 514–602.
22. Serghides T.K. Estimate friction factor accurately // Chemical Engineering, 1984. – Vol. 91, Is. 5. – P. 63-64.
23. Romeo, E., Royo, C., Monzon, A., Improved Explicit Equations for Estimation of the Friction Factor in Rough and Smooth Pipes // Chemical Engineering Journal, 2002. – No.86. – P. 369–374.
24. Buzzelli D. Calculating friction in one step // Machine Design, 2008. – No. 80(12). – P. 54–55.
25. Sonnad J.R., Goudar C.T. Turbulent flow friction factor calculation using a mathematically exact alternative to the Colebrook-White equation // J Hydr Eng ASCE, 2006. – No. 132(8). – P. 863–867.
26. Vatankhah A.R., Kouchakzadeh S. Exact equations for pipe-flow problems // Journal of Hydraulic Research, 2009. – No.47(4). – P. 537-538. DOI: 10.1080/00221686.2009.9522031
27. Brkić D. An explicit approximation of the Colebrook equation for fluid flow friction factor // Petrol Sci Technol, 2011. – Vol. 29, N.15. – P.1596–1602.
28. Fang X., Xu Y., Zhou Z. New correlations of single-phase friction factor for turbulent pipe flow and evaluation of existing single-phase friction factor correlations // Nuclear Engineering and Design, 2011. – Vol. 241(2). – P. 897–902. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2010.12.019
29. Salmasi F., KHATIBI R., GHORBANI M.A. A study of friction factor formulation in pipes using artificial intelligence techniques and explicit equations // Turkish J. Eng. Env. Sci., 2012. – No.36. – P. 121–138.
30. Brkić D. A note on explicit approximations to Colebrook's friction factor in rough pipes under highly turbulent cases // International Journal of Heat and Mass Transfer, 2016. – No. 93. – P. 513–515. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.109.
31. Richardson, L. F. The approximate arithmetical solution by finite differences of physical problems including differential equations, with an application to the stresses in a masonry dam // Philosophical Transactions of the Royal Society A, 1911. – Vol. 210. – P.307–357.
32. Sipser M. Introduction to the Theory of Computation, 2nd edition. –Boston, Thomson Course Technology: 2006. –431 p.
33. Colebrook Online Calculator // The Engineering ToolBox https://www.engineeringtoolbox.com/colebrook-equation-d_1031.html.

REFERENCES

1. Nikuradse J. Laws of flow in rough pipes. Berlin, In translation, NACA TM 1292, 1933. 361 p.

2. Elemér B. Fluid Mechanics. Miskolci, Hungary, TÁMOP Press., 2014. 303 p.
3. Suter S.P., Skalak R. The History of Poiseuille's Law. Annual Review of Fluid Mechanics, 1993, no. 25, pp. 1–19.
4. Preger E.A., Samoilenko L.A. *Issledovanie gidravlicheskikh soprotivleniy truboprovodov pri perehodnom dvizhenii zhidkosti i gazov* [Investigation of the hydraulic resistance of pipelines during the transitional regime of the movement of liquids and gases]. *Trudy LISI. [LISI Proceedings]*, 1966, no 5, pp. 27–39. (In Russian).
5. Samoilenko L.A. *Issledovanie gidravlicheskikh soprotivleniy truboprovodov v zone perekhoda laminarnogo dvizheniya v turbulentnoe. Cand. Sc., Diss* [Study of hydraulic resistance of pipelines in the zone of transition of laminar motion to turbulent. *Cand. Sc. Diss.*]. Leningrad, 1968. 172 p. (In Russian).
6. Rouse H. Elementary Mechanics of Fluids. New York, John Wiley and Sons publ., 1946. 376 p.
7. Zeghadnia L., Robert J. L., Achour B. Explicit solutions for turbulent flow friction factor: A review, assessment and approaches classification. *Ain Shams Engineering Journal*, 2019, no. 10, pp. 243–252. DOI:10.1016/j.asej.2018.10.007.
8. Colebrook C.F., White C.M. Experiments with fluid friction in roughened pipes. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 1937, no. 904(161), pp. 367–381. DOI: 10.1098/rspa.1937.0150
9. Idelchik I.E. *Spavochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook of hydraulic resistance. 3rd edition]. Moscow, Mechanical Engineering, Publ., 1992. 672 p. (In Russian).
10. Murin G.A. *Gidravlichesкое soprotivlenie stalnykh trub*. *Izvestiya VTI, [VTI Proceeding]*, 1948, no. 10, pp. 21–27. (In Russian).
11. Blasius P. R. H. The law on the compatibility of friction processes in liquid systems. *Forschungsheft*, 1913, vol. 131, pp. 1–41.
12. Nikuradze J. Stromungsgesetze in rauhen Rohren. *VDI-Forschungsheft*, 1933, no. 361, pp. 16–53. (In German).
13. Prandtl L. *Rezultaty rabot poslednego vremeni po turbulentnosti*, Problems of turbulence, 1936, pp. 9–34.
14. Moody L.F. An approximate formula for pipe friction factors. *Trans ASME*, 1947, no. 12(69), pp. 1005–1006.
15. Altshul A.D. *Gidravlicheskie soprotivleniya* [Hydraulic resistance: second edition]. Moscow: Nedra, 1970, 224 pp.
16. Filonenko G.K. *Formula dlya koeffitsienta gidravlicheskogo soprotivleniya gladkikh trub* [Formula for the Coefficient of Fluid Resistance of Smooth Pipes]. *Izvestiya VTI*, 1948, No. 10 (162), pp. 17–23.
17. Eck B. Technical Current Theory. New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1973. 466 p.
18. Samadianfard S. Gene expression programming analysis of implicit Colebrook-White equation in turbulent flow friction factor calculation. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2012, Volume 92–93, pp. 48–55. DOI: 10.1016/j.petrol.2012.06.005
19. Churchill, S.W. Empirical Expressions for the Shear Stress in Turbulent Flow in Commercial Pipe. *American Institute of Chemical Engineering Journal*, 1973, no. 19(2), pp. 375–376.
20. Chen N.H. An explicit equation for friction factor, *American Institute of Chemical Engineering Journal*, 1979, no. 18(3), pp. 296–297.
21. Zigrang, D.J., Sylvester, N.D., Explicit Approximations to the Solution of Colebrook's Friction Factor Equation. *American Institute of Chemical Engineering Journal*, 1982, no. 28, pp. 514–602.
22. Serghides T.K. Estimate friction factor accurately. *Chemical Engineering*, 1984, Volume 91, Issue 5, pp. 63–64.
23. Romeo, E., Royo, C., Monzon, A., Improved Explicit Equations for Estimation of the Friction Factor in Rough and Smooth Pipes. *Chemical Engineering Journal*, 2002, no. 86, pp. 369–374.
24. Buzzelli D. Calculating friction in one step. *Machine Design*, 2008, no. 80(12), pp. 54–55.
25. Sonnad J.R., Goudar C.T. Turbulent flow friction factor calculation using an mathematically exact alternative to the Colebrook-White equation. *J Hydr Eng ASCE*, 2006, no. 132(8), pp. 863–867.
26. Vatankhah A.R., Kouchakzadeh S. Exact equations for pipe-flow problems. *Journal of Hydraulic Research*, 2009, no. 47(4), pp. 537–538. DOI: 10.1080/00221686.2009.9522031
27. Brkic D. An explicit approximation of the Colebrook equation for fluid flow friction factor. *Petrol Sci Technol*, 2011, vol. 29, i. 15. p. 1596–1602.
28. Fang X., Xu Y., Zhou Z. New correlations of single-phase friction factor for turbulent pipe flow and evaluation of existing single-phase friction factor correlations. *Nuclear Engineering and Design*, 2011, vol. 241, no. 2. 897–902 pp. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2010.12.019
29. Salmasi F., KHATIBI R., GHORBANI M.A. A study of friction factor formulation in pipes using artificial intelligence techniques and explicit equations. *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 2012, no. 36, pp. 121–138.
30. Brkić D. A note on explicit approximations to Colebrook's friction factor in rough pipes under highly turbulent cases. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2016, no. 93, pp. 513–515. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.08.109.
31. Richardson, L. F. The approximate arithmetical solution by finite differences of physical problems including differential equations, with an application to the stresses in a masonry dam. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 1911, vol. 210, pp. 307–357.
32. Sipser M. Introduction to the Theory of Computation, 2nd edition. Boston, Thomson Course Technology, 2006. 431 p.
33. Colebrook Online Calculator // The Engineering ToolBox https://www.engineeringtoolbox.com/colebrook-equation-d_1031.html.

Об авторах:

НИКИТИН Максим Николаевич

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

NIKITIN Maxim Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation Samara State Technical University, Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, str. Molodogvardeyskaya, 194. E-mail: nikitin-pro@mail.ru

СОЛОВЬЕВА Татьяна Сергеевна

студентка, 2 курс, ФИСПОС, направление: Энергоэффективность систем обеспечения микроклимата зданий и сооружений, гр.МТ-82 Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: tatyana.solowiewa17@mail.ru

SOLOVYOVA Tatyana Sergeevna

Student, 2 year, FISPOS, direction: Energy Efficiency of Microclimate Maintenance Systems for Buildings and Structures, group MT-82. Samara State Technical University, Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, str. Molodogvardeyskaya, 194. E-mail: tatyana.solowiewa17@mail.ru

ШЛЯХТИНА Ольга Владимировна

студентка, 2 курс, ФИСПОС, направление: Энергоэффективность систем обеспечения микроклимата зданий и сооружений, гр.МТ-82 Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: o_shlyakhtina@mail.ru

SHLYANTINA Olga Vladimirovna

Student, 2 year, FISPOS, direction: Energy Efficiency of Microclimate Maintenance Systems for Buildings and Structures, group MT-82. Samara State Technical University, Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, str. Molodogvardeyskaya, 194. E-mail: o_shlyakhtina@mail.ru

Для цитирования: *Никитин М.Н., Соловьева Т.С., Шляхтина О.В.* Решения в явной форме для определения коэффициента гидравлического сопротивления турбулентному потоку // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 39–46. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.7.

ПОДПИСКА – 2020
на январь–июнь по Объединенному каталогу
«Пресса России»

Уважаемые читатели!

Обратите внимание, что с 1 сентября 2019 г. проводится
подписная кампания первого полугодия 2020 г.
на журнал Самарского государственного технического университета

«ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА»

Условия оформления подписки Вы найдете
в I томе каталога «Пресса России» на странице 178



А. Р. КУРМАНГАЛИЕВА

МОДЕЛЬ ЛИВНЕДРЕНАЖНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ФУТБОЛЬНОГО ПОЛЯ С ИСКУССТВЕННЫМ ПОКРЫТИЕМ

**FOOTBALL FIELD DRAINAGE SYSTEM WITH ARTIFICIAL COVERING
(ON THE EXAMPLE OF INTER-SCHOOL STADIUM)**

Выполнены расчеты ливнедренажной системы, обеспечивающей сбор поверхностного стока с межшкольного стадиона, включающего футбольное поле с искусственным покрытием, беговые дорожки, трибуну. Запроектирована оптимальная трассировка системы, подобраны наилучшие материалы, накопительная емкость. Проведена оценка качественного состава собираемых стоков и направления их дальнейшей утилизации. Рассмотрены варианты детализации узлов ливнедренажной системы в соответствии с разными инженерно-геологическими условиями территории Астраханской области: просадочностью грунтов, подтоплением подземными водами. Разработанная модель, основанная на принципах оптимизации и импортозамещения, позволяет применять ее как типовую на территории засушливых регионов юга страны.

Ключевые слова: ливнедренажный сток, трассировка, гидравлический радиус, гидравлический уклон, дождеприемник, пескоуловитель, шаровой кран, геотекстиль, лоток

В соответствии с Федеральной целевой программой «Развитие физической культуры и спорта в Российской Федерации на 2016–2020 годы» государство выделило средства на строительство межшкольных стадионов на территории Астраханской области и областного центра, причем в лимитированном объеме до 23 млн. рублей. Стадионы находятся при средних образовательных учреждениях и включают в себя футбольное поле размером 30x60 м с искусственным покрытием и зонами безопасности по периметру, беговые и прыжковые дорожки, трибуну для зрителей и площадки для волейбола и бадминтона.

The calculations of the rain drainage system, which provides the collection of surface runoff from the interschool stadium, including a football field with artificial turf, running tracks, tribune, were performed. The optimal tracing of the system is designed, the best materials and storage capacity are selected. The assessment of the qualitative composition of collected effluents and the direction of their further utilization was carried out. Options of detailing of nodes of a shower drainage system according to different engineering and geological conditions of the territory of the Astrakhan region are considered: subsidence of soils, flooding by underground waters. The developed model, based on the principles of optimization and import substitution, allows to apply it as a model on the territory of the arid regions of the South of the country.

Keywords: storm drain, tracing, hydraulic radius, hydraulic slope, storm water inlet, sand trap, ball valve, geotextiles, tray

Футбольное поле площадью 0,22 га имеет максимально приближенную к профессиональному конструкцию в виде корыта, заполненного щебнем фракции 20–40 мм мощностью 150 мм по основанию из уплотненного местного грунта. На щебень насыпается 50 мм слой гранитного отсева (фракции 3–5 мм), на который укладывается водопроницаемая мембрана Тераспект 70 или геотекстиль Raumat, затем искусственное травяное покрытие высотой 40–60 мм.

Чтобы поле и беговые дорожки были пригодны для спортивных состязаний в любую погоду, автором предлагается система органи-

зованного сбора ливнедренажного стока с территории в накопительную емкость. За основу взят принцип сочетания оптимальности, надежности и ценовой доступности применяемых материалов и сооружений.

Модель состоит из определения объема образующихся стоков, выбора накопительной емкости, трассировки ливнедренажной сети, прогноза качественного состава сточных вод, учета особенностей специфичности грунтов или условий подтопления территории. Положительным фактором является максимальное сохранение незапечатанной поверхности территории проектируемого стадиона, что практически сохранит естественным режим питания водоносного горизонта.

Методология проектирования

1. Объем дождевого стока от расчетного дождя $W_{оч}$, м³, отводимого на очистные сооружения с селитебных территорий и площадок предприятий, определяется по формуле (8) п. 7.3.1 [1].

$$W_{оч} = 10h_a \Psi_{mid} F, \quad (1)$$

где F – площадь стока, га; h_a – максимальный слой осадков за дождь, сток от которого подвергается очистке в полном объеме, 11 мм; Ψ_{mid} – средний коэффициент стока для расчетного дождя (определяется как средневзвешенная величина в зависимости от постоянных значений коэффициента стока Ψ_i для разного вида поверхностей, табл. 14 [1]).

Для селитебных территорий и промышленных предприятий первой группы величина h_a принимается равной суточному слою осадков от малоинтенсивных часто повторяющихся дождей с периодом однократного превышения расчетной интенсивности P 0,05–0,1 года, что для большинства населенных пунктов Российской Федерации обеспечивает прием на очистку не менее 70 % годового объема поверхностного стока.

При отсутствии данных многолетних наблюдений за количеством осадков для конкретных территорий при выполнении расчетов допускается пользоваться Научно-прикладным справочником по климату СССР [2] или статистически обработанными данными Федерального государственного бюджетного учреждения «Центральное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». При площади покрытий беговых дорожек 740 м², спортивного поля с искусственным покрытием 2200 м² и естественного газона 500 м² объем ливнедренажного стока с территории ожидается:

$$W_{оч} = 10 \times 11 \times (0,1 \times 0,27 + 0,95 \times 0,074) = 10,8 \text{ м}^3.$$

Предлагается использовать аккумулирующую емкость объемом 12 м³ из стеклопластика производства Национальной водной компании следующих габаритных размеров: диаметром 1,5 м, длиной 6,2 м, диаметром люка 0,8 м, толщиной стенок 6–10 мм и весом 1,1 т. Емкость допускается устанавливать на естественном песчаном основании без пригруза.

Если территория находится в условиях устойчивого подтопления в периоды весенне-осеннего половодья волжских рукавов или грунтовыми водами (с. Цветное Володарского района или некоторые районы г. Астрахани), прогнозируемый дренажный сток с территории при максимальном паводковом уровне и глубине залегания подземных вод до 0,9 м рассчитывается по формуле [3]:

$$Q = h_{cp} (L_{тр} \times b_{тр} + S_{кл.}) \times k_{ф} \times \mu, \quad (2)$$

где h_{cp} – мощность зоны дренирования водоносного горизонта; $L_{тр}$ и $b_{тр}$ – длина и ширина дренажных траншей вдоль поля; $S_{кл.}$ – площадь траншеи канализационного коллектора; $k_{ф}$ и μ – коэффициент фильтрации и водоотдачи водовмещающих грунтов.

Подставляя значения в формулу, получим:

$$Q = 0,29 \text{ м} \times (128 \text{ м} \times 4 \text{ м} + 22 \text{ м} \times 1 \text{ м}) \times 0,2 \times 0,1 = 3,1 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Объем накопительной емкости системы ливневой канализации с учетом дренажного стока в условиях подтопления территории межшкольного стадиона составит 15 м³. Предлагается использовать аккумулирующую емкость из полипропилена Bio-Lock производства ООО «Энрост» диаметром 2,2 м, длиной 4,0 м, диаметром люка 0,8 м и весом 620 кг, которую устанавливают на железобетонном основании по щебеночной подушке. Материал является инертным к агрессивным грунтам и подземным водам.

2. Трассировка ливнедренажной системы и параметры модели. Расчет дренажной системы производится согласно п. 6.14 [4]. Диаметр труб дренажного самотечного коллектора рассчитывают по формуле

$$d = \sqrt{4q / \beta v}, \quad (3)$$

где q – расход на единицу дрены, 0,06 м³/сут на 1м; v – скорость движения воды в горизонтальных трубах, 0,3–0,35 м/с; β – коэффициент, зависящий от степени заполнения труб, 0,7.

Подставляя значения в формулу, получим расчетный диаметр труб 60 мм (внешний 63 мм).

Единичный расход определяем согласно п. 5.6 [4] для однослойного пласта малой мощности:

$$q = 2wL = 6 \text{ м} \times 0,011 \text{ м/сут} \times 0,9 = 0,06 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Оптимальное расстояние между дренами несовершенного типа футбольного поля (2а), рассчитанное по формуле Е.Е. Керкиса, составляет не менее 6,0 м [5].

Уклон на перфорированных участках горизонтальных трубчатых дрен определяется с учетом расхода, переменного по длине дрены. Средний уклон трубопровода рассчитывается по формуле

$$I = v/3C2R, \quad (4)$$

где R – гидравлический радиус, определяемый как $\alpha d/4=0,018$; C – коэффициент сопротивления, m^2/c , вычисляемый по формуле Н.Н. Павловского как Ry/n , или по формуле Маннинга как $R1/6/n$ [5].

Подставляя значения в формулу, получим минимальный расчетный уклон 4 промилле.

Гидравлический расчет самотечных сетей основан на формуле академика Н. Н. Павловского:

$$C=1/n \times R^y, \quad (5)$$

$$y = 2,5 \sqrt{n} - 0,13 - 0,75 \sqrt{R} (\sqrt{n} - 0,1), \quad (6)$$

где коэффициент шероховатости самотечных коллекторов круглого сечения следует принимать $n = 0,014$, гидравлический радиус R , как и живое сечение ω , – по табл. 42, в зависимости от степени заполнения труб [4].

Расчет канализационных сетей производится из условия равномерного движения жидкости в трубах по двум основным формулам:

$$q = \omega v; \quad (7)$$

$$v = C \sqrt{R} i, \quad (8)$$

где q – расход жидкости, протекающей в единицу времени, m^3/c ; ω – площадь сечения, заполненного жидкостью, m^2 ; v – скорость движения жидкости в единицу времени, m/c ; R – гидравлический радиус, m ; i – гидравлический уклон; C – коэффициент, зависящий от гидравлического радиуса и шероховатости смоченной поверхности канала или трубопровода; определяется по формуле (5) [5].

Подставляя значения параметров для принятых диаметров ливнедренажных труб диаметром 160 мм при их заполненности наполовину (50 %) и уклоне 0,005 промилле, получим скорость течения в трубах (v) 0,5 м/с и предельный расход (q) 2,5 л/с. При двухстороннем расположении собирающих дрен диаметром 160 мм (2 шт.), максимальный расход в них составит не менее 5,0 л/с, что обеспечивает определенный запас по сравнению с расчетным.

Расчет диаметра канализационной трубы от дождеприемника-пескоуловителя до бли-

жайшего распределительного колодца принят исходя из единичного расхода и коэффициента наполнения (0,5–0,6) и скорости движения стоков (0,7–1,5 м/с). Расход на площади за воротами футбольного поля составляет 0,55 (400/2200) части от половины расхода всей системы или $q = 0,55 \times 2,5 \text{ л/с} = 1,38 \text{ л/с}$. По номограмме Л.А. Шопенского [6] при наполнении трубопровода до 0,6 минимальный диаметр пластиковой канализационной трубы составляет 80 мм, с запасом принимаем 110х3,8 мм.

Для организованного сбора ливневого стока по периметру поля укладываются пластмассовые лотки DN100 фирмы Cidrolica (г. Москва) стандартной ширины 145 мм и перепадом гидравлической высоты от 100 до 203 мм, обеспечивающим общий уклон 0,005 промилле от осевой центральной линии к углам поля. Для лотков предусмотрены пластмассовые решетки и попутные детали (фиксаторы и соединительные язычки, трубки). Укладываются лотки с решетками с минимальным уклоном для стока дождевой воды 0,5 промилле в бетонную призму, фиксирующую основание, затем по бокам засыпается бетонная смесь для закрепления стенок лотков.

В четырех углах системы лотки подсоединяются к песколовкам Gidrolica Standart 500х160х420, с дальнейшим сбросом через 4 смотровых колодца в общий канализационный ливнедренажный коллектор. Подбор параметров собирающего коллектора сети ливневой канализации произведен с учетом максимального расхода 3,2 л/с. Согласно табл. 5.1 [6] достаточно принять диаметр трубопровода 200 мм при уклоне 5 промилле.

Смотровые колодцы рекомендованы пластиковые RODLEX R1,2, полной комплектации с винтовыми крышками и возможностью врезки самотечных трубопроводов на разных высотных уровнях. В колодце перед накопительной емкостью предусмотрен шаровой кран для отключения системы для технического обслуживания емкости.

Практически все элементы и оборудование водосборной системы выбраны пластиковыми или полиэтиленовыми, с учетом безопасности участников спортивных мероприятий и тренировок. Монтаж пластиковых лотков, дождеприемников и пескоуловителей производится согласно инструкции установки поверхностного водоотвода, размещенной в открытом доступе на сайте компаний-производителей [7, 8]. Все отметки трассировки сети приведены в относительных величинах. За нулевую отметку принимается отметка центра поля.

Решения по трассировке сети ливнедренажной канализации стадиона приведены

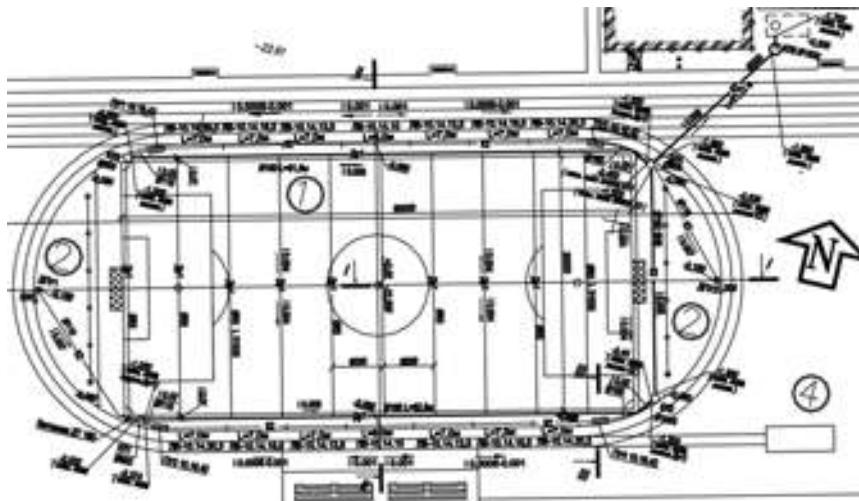


Схема трассировки ливнедренажной сети межшкольного стадиона
в с. Цветное Володарского района Астраханской области

на рисунке. Схема была разработана автором и внедрена как типовая в составе проекта по восьми площадкам на территории Астраханской области.

Из неблагоприятных явлений следует отметить недоуплотненность покровных суглинистых отложений, что характеризует их просадочные свойства (с. Никольское, Енотаевского района). В этом случае необходимо обеспечить максимальную герметичность соединения трубопроводов и сооружений системы. Предлагается использовать муфты «in suti» AQUA-Engineering (г. Москва), соединяющие дренажные трубы под полем диаметром 63 мм с собирающими дренами диаметром 160 мм.

Для предотвращения от всплытия при высоком положении уровня подземных вод пластиковые колодцы и накопительная емкость крепятся на бетонные днища специальными хомутами. Толщина бетонного основания марки В15 определяется расчетом в каждом конкретном случае: от 550 до 800 мм под емкость и 400–500 мм под колодцы. Основанием для стеклопластиковой емкости служит слой песчаного уплотненного грунта мощностью 200 мм.

3. Прогноз качественного состава ливнедренажного стока. Поверхностный сток с тренировочного футбольного поля с искусственным покрытием и беговых дорожек по качественному составу является условно чистым, так как не относится к объектам, перечисленным в п. 7.1 [1], т. е. селитебным территориям. Основными загрязнителями являются взвешенные вещества (примеси) и органические компоненты (БПК₅). Ориентировочные значения концентрации основных загрязнителей поверхностного стока с беговых дорожек приняты по табл. 16 [1] как для кровель зданий и сооружений; газоны фут-

больных полей не следует приравнивать к городским парковым и зеленым зонам ввиду их изолированности.

Средневзвешенная концентрация компонента в формируемом ливневом стоке определяется по формуле

$$C_{\text{ср}} = (C_{\text{тп}} \times V_{\text{тп}} + C_{\text{зз}} \times V_{\text{зз}}) / \Psi_{\text{mid}} \quad (9)$$

Подставляя в формулу значения концентрации взвешенных веществ, получим:

$$C_{\text{срВВ}} = (0,204 \times 20 + 0,078 \times 4,8) / 0,283 = 15,74 \text{ мг/л,}$$

где $V_{\text{тп}} = 0,204$ (% объем стоков с покрытий беговой дорожки);

$V_{\text{зз}} = 0,078$ (% объем стоков с искусственных покрытий и газона);

Ψ_{mid} – средний коэффициент стока, 0,283;

$C_{\text{ВВ}}$ дождевого стока с беговой дорожки – 20 мг/л (табл. 16 [1]);

$C_{\text{ВВ}}$ дождевого стока со спортивного поля и технической зоны – 4,8 мг/л.

Средневзвешенная концентрация БПК₅ в формируемом ливневом стоке ожидается следующей:

$$C_{\text{срБПК5}} = (0,204 \times 10 + 0,078 \times 2,17) / 0,283 = 7,8 \text{ мг/л,}$$

где $C_{\text{БПК5}}$ дождевого стока с беговой дорожки – менее 10 мг/л;

$C_{\text{БПК5}}$ дождевого стока со спортивного поля и технической зоны – 2,17 мг/л.

Попадая в систему ливневой канализации, происходит очистка поверхностного стока в пескоуловителях, где он на 40 % освобождается от взвешенных веществ и на 30 % от органических примесей. Перехватываемый под покрытием поля инфильтрационный сток через фильтрую-

щую обмотку геотекстиля Сибур труб дренажной системы очищается еще на 90 % от всех механических и на 50 % от органических примесей.

Концентрация взвешенных веществ, попадающих в общий коллектор сети ливневой канализации и накопительную емкость, прогнозируется на уровне 0,63 мг/л, БПК₅ – 1,17 мгО₂/л, что позволяет оценить сточные воды как условно чистые.

В накопительной емкости происходит дополнительный отстой сточной воды, что снижает еще примерно на 40 % концентрацию загрязнителей. Таким образом, поверхностный сток с территории проектируемого сооружения ожидается соответствующим требованиям по качеству природной воды централизованных и нецентрализованных источников водоснабжения (не более 10 мг/л по взвешенным веществам, 4–6 мгО₂/л по БПК₅), не требует дополнительной очистки и может быть использован на полив зеленых насаждений территории или увлажнение искусственного покрытия поля.

Эксплуатацию сети ливневой канализации целесообразно поручить организации, обслуживающей водонесущие коммуникации района, имеющей соответствующую технику и квалифицированный персонал в количестве двух-трех человек. Эксплуатация предусматривает планово-профилактические и ремонтные работы на сети ливнедренажной канализации для её поддержания в рабочем состоянии.

Трубопроводы системы дождевой канализации промывают через смотровые колодцы в самых высоких отметках сети. Вода для этого подается под напором из поливочного шланга.

Выводы. В условиях засушливого климата Астраханского региона нередки сильные ливни, способные к размыву и насыщению покровных суглинистых грунтов. Конструкция спортивного поля с искусственным покрытием и спортивными площадками требует защиты от кратковременного затопления и подогрева подземными водами.

Методология создания модели типовой ливнедренажной системы полностью базируется на расчетах по существующим нормативно-методическим документам с учетом инженерно-геологических условий (свойств грунтов, высокого уровня залегания подземных вод, их агрессивности).

Предлагаемая система сбора поверхностного и подземного стока способствует максимальной очистке от взвешенных веществ и органических загрязнителей, что допускает его дальнейшее использование на полив твердых покрытий и зеленых насаждений в жаркий период; в случае повышенной минерализации из-за подземных вод – с разбавлением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свод правил по проектированию и строительству. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03–85 (с изменениями № 1,2). СП 32.13330.2012. М.: Минрегион России, ФАУ «ФЦС», 2012. 88 с.
2. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1–6. Выпуск 13. Волгоградская, Ростовская, Астраханская области, Краснодарский, Ставропольский края, Калмыцкая, Кабардино-Балкарская, Чечено-Ингушская, Северо-Осетинская АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 724 с.
3. Свод правил по проектированию и строительству. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. СП 116.13330.2012. М.: Минрегион России, ФАУ «ФЦС», 2012. 65 с.
4. Справочное пособие к СНиП 2.06.15–85. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях / А.Ж. Муфтахов, И.В. Коринченко, Н.М. Григорьева, В.И. Сологаев, А.П. Шевчик; ВНИИ ВОДГЕО. М.: Стройиздат, 1991. 272 с.
5. Клиорина Г.И. Инженерное обеспечение строительства. Дренаж территории застройки. 2–е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2017. 210 с. Серия: Университеты России.
6. Курмангалиева А.Р., Тажетдинова Н.С. Моделирование гидрогеологических условий селитебных территорий при планировании в г. Астрахани // Гео-системы: факторы развития, рационального природопользования, методы управления: материалы II Международной научно-практической конференции РГТМУ в г. Туапсе 4–8 октября 2011 г. Краснодар: Издательский Дом-Юг, 2011. С. 405–407.
7. Курмангалиева А.Р. Проектирование защитных мероприятий от подтопления участков перепланировки и жилой застройки в г. Астрахани // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи: сборник научных трудов. Краснодар: Просвещение-Юг, 2016. С. 238–240.
8. Пластмассовые трубы и современные технологии для строительства и ремонта трубопроводов: справочные материалы. Проектирование пластмассовых трубопроводов / В.С. Ромейко, В.Е. Бухин и др. М.: Издательство ВНИИМП, 2002. 134 с.
9. Инструкция по монтажу и эксплуатации систем поверхностного водоотвода Hidrolica, 2014. <https://www.gidrolica.ru/info/install-instruction/instrukciya-po-montazhu-i-ekspluatacii-sistem-poverhnostnogo-vodootvoda-gidrolica> (дата обращения: 30.03.2019).
10. Подробная инструкция по монтажу пластиковых и водоотводных лотков. - <http://profrain.ru/uploads/instrukciya-po-montazhu-lotkov.pdf> (дата обращения: 30.03.2019).

REFERENCES

1. *Svod pravil po proektirovaniyu i stroitel'stvu. Kanalizaciya. Naruzhnye seti i sooruzheniya. Aktualizirovannaya redakciya SNIp 2.04.03–85 (s izmeneniyami № 1,2). SP 32.13330.2012* [The code of rules for design and construction. Sewerage. External networks and facilities. Updated version of SNIp 2.04.03–85 (as amended by no. 1,2). BR 32.13330.2012]. Moscow, FAU "FCC" Publ., 2012. 88 p.
2. *Nauchno-prikladnoj spravocnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. CHasti 1–6. Vypusk 13. Volgogradskaya, Rostovskaya, Astrahanskaya oblasti, Krasnodarskij, Stavropol'skij kraja, Kalmyckaya, Kabardino-Balkarskaya, Checheno-Ingushskaya, Severo-Osetinskaya ASSR* [Scientific and applied reference to the climate of the USSR. Series 3. Perennial data. Parts 1–6. Issue 13. Volgograd, Rostov, Astrakhan regions, Krasnodar, Stavropol Territories, Kalmyk, Kabardino-Balkaria, Chechen-Ingush, North Ossetian ASSR]. Leningrad, Hydrometeoizdat. 1990. 724 p.
3. *Svod pravil po proektirovaniyu i stroitel'stvu. Inzhenernaya zashchita territorij, zdaniy i sooruzhenij ot opasnyh geologicheskikh processov. SP 116.13330.2012* [The code of rules for design and construction. Engineering protection of territories, buildings and structures from dangerous geological processes. BR 116.13330.2012]. Moscow, FAU "FCS" Publ., 2012. 65 p.
4. Muftakhov A. Zh., Korinchenko I.V., Grigoriev N.M., Sologaev V.I., Shevchik A.P. *Spravocnoe posobie k SNIp 2.06.15–85. Prognozy podtopleniya i raschet drenaznyh sistem na zastraivaemyh i zastroennyh territoriyah* [Reference manual to SNIp 2.06.15–85. Flood forecasts and calculation of drainage systems in built-up and built-up areas]. Moscow, Stroyizdat, 1991. 272 p.
5. Klorina G.I. *Inzhenernoe obespechenie stroitel'stva. Drenazh territorii: uchebnoe posobie dlya vuzov. 2–e izd., ispr. i dop.* [Engineering support of construction. Drainage of the built-up area: textbook for universities. 2nd ed., Rev. and add.]. Moscow, Yurayt Publ., 2017, 210 p.
6. Kurmangalieva A.R., Tazhetdinova N.S. Modeling the hydrogeological conditions of residential territories during planning in Astrakhan. *Materialy II mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii RGGMU "Geosistemy: faktory razvitiya, racional'nogo prirodopol'zovaniya, metody upravleniya"* [Materials of the II international scientific-practical conference of the Russian State Medical University "Geosystems: development factors, rational nature management, management methods"]. Krasnodar, Publishing House-South, 2011, pp 405–407. (in Russian)
7. Kurmangalieva A. R. Design of protective measures against flooding of redevelopment and residential areas in Astrakhan. *Sbornik nauchnyh trudov "Inzhenernaya geologiya Severo-Zapadnogo Kavkaza i Predkavkaz'ya: sovremennoe sostoyanie i osnovnye zadachi"* [Collection of scientific papers "Engineering geology of the North-West Caucasus and Ciscaucasia: current status and main tasks"]. Krasnodar, Enlightenment-South, 2016, pp. 238–240. (in Russian)
8. Romejko V.S., Buhin V.E., Dobromyslov A.YA., Zolotova I.V., Isaev V.N., Kornopelev V.A., Pavlov L.D., Prodous O.A. *Plastmassovye trubyy i sovremennyye tekhnologii dlya stroitel'stva i remonta truboprovodov. Spravochnye materialy. Proektirovanie plastmassovyh truboprovodov* [Plastic pipes and modern technologies for the construction and repair of pipelines. Reference materials. Design of plastic pipelines] Moscow, VNIIMP Publ., 2002. 134 p.
9. *Instrukciya po montazhu i ekspluatacii sistem poverhnostnogo vodootvoda Gidrolica (2014)* (Installation and operation instructions for Gidrolica surface drainage systems (2014). Available at: <https://www.gidrolica.ru/info/install-instruction/instrukciya-po-montazhu-i-ekspluatacii-sistem-poverhnostnogo-vodootvoda-gidrolica> (accessed 30 March 2019).
10. *Podrobnaya instrukciya po montazhu plastikovyh i vodootvodnyh lotkov* (Detailed installation instructions for plastic and drainage trays). Available at: <http://profrain.ru/uploads/instrukciya-po-montazhu-lotkov.pdf> (accessed 30 March 2019).

Об авторах:

КУРМАНГАЛИЕВА Аида Робертовна

кандидат геолого-минералогических наук, доцент
кафедры строительства
Астраханский государственный технический
университет
Институт градостроительства
414025, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, корпус 3
E-mail: kraid64@rambler.ru

KURMANGALIEVA Aida R.

PhD in Geological and Mineralogical Science, Associate
Professor of the Construction Chair Astrakhan State
Technical University Institute of Urban Development
414025, Russia, Astrakhan, ul. Tatishcheva, 16, building 3
E-mail: kraid64@rambler.ru

Для цитирования: Курмангалиева А.Р. Модель ливнедренажной канализации футбольного поля с искусственным покрытием // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 47–52. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.8. For citation: Kurmangalieva A.R. Football Field Drainage System with Artificial Covering (on the Example of Inter-School Stadium). *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 47–52. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.8.

И. Ю. МИХАЙЛОВА**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ВО ВНУТРЕННИХ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ****ETERMINATION OF CALCULATED COSTS IN INTERNAL CENTRALIZED SYSTEMS OF DRINKING WATER SUPPLY OF MULTI-APARTMENT HOUSES**

Статья посвящена анализу взаимосвязи системы технического регулирования в строительстве и нормативному регулированию отношений по предоставлению коммунальных услуг. Рассмотрены изменения в действующей системе правового регулирования в сфере водоснабжения многоквартирных домов. Показана принадлежность предмета нормирования к нескольким областям регулирования, требующая совершенствования методологических основ проектирования внутридомовых систем холодного и горячего водоснабжения многоквартирного дома и создания легитимного методического инструментария. Разработаны рекомендации по формированию методических процедур, выполнение которых обеспечит правовую легитимность методик гидравлического расчета. Предложена новая методика определения расчетных (предельных) расходов холодной и горячей воды в централизованных системах хозяйственно-питьевого водоснабжения многоквартирного дома.

Ключевые слова: методическое обеспечение, гидравлический расчет, внутренняя система водоснабжения, многоквартирный дом

The article analyzes the relationship of the system of technical regulation in construction and regulatory relations for the provision of public services. Changes in the current system of legal regulation in the sphere of water supply of apartment buildings are considered. The article shows that the subject of rationing belongs to several areas of regulation, which requires improvement of the methodological basis for the design of in-house systems of hot and cold water supply of an apartment building and the creation of legitimate methodological tools. Recommendations on the formation of methodological procedures, the implementation of which will provide the legal legitimacy of the methods of hydraulic calculation. The method of determining the calculated (limit) costs of cold and hot water in centralized systems of drinking water supply of an apartment building.

Keywords: methodic procedures, hydraulic design, plumbing system, multi-apartment house

Существующие в настоящее время требования нормативно-правовых документов к внутренним централизованным системам хозяйственно-питьевого водоснабжения многоквартирных домов (МКД) в полном объеме не реализованы в нормативно-технических документах. Федеральным законом «Градостроительный Кодекс Российской Федерации» (№ 190-ФЗ от 29.12.2004 г.) установлено, что с 1 января 2016 г. водопроводная сеть является элементом системы коммунальной инфраструктуры, которая предназначена для осуществления оказания услуг в сфере водоснабжения (п. 24 ст. 1), а эксплуатация МКД должна осуществляться с учетом требований жилищного законодательства (п. 10 ст. 55.24). Изменение функционального назначения водопроводной сети также отражено в п. 5 ст. 2 отраслевого федерального закона «О водоснабжении и водоотведении» (№ 416-ФЗ от 7.12.2011 г.).

Такой специальный правовой (техико-юридический) режим, предусматривающий принадлежность предмета нормирования к нескольким областям регулирования, должен быть конкретизирован в нормативно-технических документах, применение которых при проектировании обеспечит безопасное использование и содержание внутренних систем хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД.

Однако во введенном в действие с 17 июня 2017 г. своде правил СП 30.13330.2016 «Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*» (утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации № 951/пр от 16.12.2016 г.) не учтены некоторые нормы федеральных законов: «Жилищный Кодекс Российской Федерации» (№ 188-ФЗ от 29.12.2004 г.), № 190-ФЗ и № 416-ФЗ в части необходимости

эксплуатации МКД с учетом требований жилищного законодательства. Поэтому применение рекомендаций СП 30.13330.2016 не позволит однозначно провести оценку соответствия проектных решений проектируемых систем водоснабжения МКД обязательным требованиям федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (№ 384-ФЗ от 30.12.2009 г.), что усложнит процедуру доказательства соответствия проектных характеристик систем водоснабжения обязательным требованиям безопасности.

В этой связи рассмотрение и анализ требований градостроительного и жилищного кодексов во взаимосвязи с требованиями федеральных законов «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и «О водоснабжении и водоотведении» с целью совершенствования методологических основ проектирования внутридомовых систем холодного и горячего водоснабжения МКД и создания легитимного методического инструментария являются своевременной и актуальной задачей.

Анализ требований к внутренним системам хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД. Анализ действующих нормативно-технических документов с целью приведения их положений в соответствие с новыми требованиями нормативно-правовых документов необходимо проводить на основе общих принципов формирования обязательных требований к объекту регулирования, закрепленных в федеральном законе «О техническом регулировании» (№ 184-ФЗ от 27.12.2002 г.) [1]. В соответствии с нормами федеральных законов № 190-ФЗ и № 416-ФЗ система технического регулирования должна быть взаимоувязана и скоординирована с системой регулирования отношений, связанных с предоставлением коммунальных услуг по холодному и горячему водоснабжению потребителям в МКД. Принадлежность объекта регулирования к нескольким областям регулирования требует проведение анализа принципов регулирования в этих областях и, в случае их различия, установления приоритета одного из принципов регулирования. Взаимосвязь системы технического регулирования с другими областями регулирования обеспечивается путем соподчиненности требований жилищного законодательства и требований технического регламента о безопасности зданий и сооружений. При этом необходим единый подход к оценке обеспечения безопасного функционирования предмета регулирования.

Система технического регулирования в строительстве. Техническим называется регулирование отношений в сфере принятия,

применения и выполнения обязательных требований к различным видам продукции, процессам производства, использованию, хранению, перевозке и утилизации товаров и материалов. Основопологающим нормативно-правовым актом, который регулирует права и обязанности субъектов, является федеральный закон «О техническом регулировании». Этим законом установлен параметрический принцип формирования технических требований к объекту нормирования – в нем приводятся требования безопасности без указания средств их достижений (конструктивных решений, методик расчета и пр.). Техническое регулирование предусматривает наличие нормативных документов двух уровней: нормативно-правовых (общих технических регламентов, специальных технических регламентов, отраслевых федеральных законов) и нормативно-технических (национальные стандарты и стандарты организаций). В нормативно-правовых документах приведены обязательные для применения и использования требования к объектам технического регулирования в строительстве, а в нормативно-технических документах содержатся рекомендации по выбору конструктивных решений и методов расчета.

В переходный период (в настоящее время) к категории нормативно-правовых документов относятся также актуализированные редакции строительных норм и правил (своды правил) или их части, которые могут содержать как обязательные для применения нормы, так и нормы, применяемые на добровольной основе. Эти документы (их части) являются обязательными для применения только в случае, если они включены в утвержденный Постановлением Правительства Российской Федерации (ПП РФ) «Перечень национальных стандартов и сводов правил» (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (№ 1521 от 26 декабря 2014 г.). Нормативно-технические документы или их части, не включенные в Перечень ПП РФ № 1521, включаются в Перечень Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 365 «Перечень документов в области стандартизации, в результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (Приказ Федерального агентства по техническому регулированию № 365 от 30 марта 2015 г.). При этом федеральным законом «Технический регламент о безопасности

зданий и сооружений» допускается, что неприменение рекомендаций указанных стандартов и (или) сводов правил не может быть оценено как несоблюдение требований технического регламента. В этом случае для оценки соответствия требованиям технического регламента допускается применение других документов, в том числе стандарты организаций.

В соответствии со ст. 5.1 Федерального закона № 184-ФЗ, особенности технического регулирования в области обеспечения безопасности зданий и сооружений устанавливаются федеральным законом № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (далее Технический регламент).

Технический регламент предусматривает идентификацию объекта технического регулирования по трем признакам: по назначению (жилые, общественные, производственные здания и т. д.); по уровню ответственности (повышенный, нормальный, пониженный); по формам оценки соответствия (объекты с обязательной государственной экспертизой и надзором, объекты без государственной экспертизы и надзора, объекты индивидуального жилищного строительства).

Технический регламент содержит: требования к безопасности зданий и сооружений; требования по обеспечению безопасности зданий и сооружений на всех этапах жизненного цикла объекта регулирования; формы оценки соответствия.

Техническим регламентом установлены требования: механической безопасности; пожарной безопасности; безопасности при опасных природных процессах и явлениях и (или) техногенных воздействиях; безопасных для здоровья человека условий проживания и пребывания в зданиях и сооружениях; безопасности для пользователей зданиями и сооружениями; доступности зданий и сооружений для инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения; энергетической эффективности зданий и сооружений; безопасного уровня воздействия зданий и сооружений на окружающую среду. Выполнение этих требований применительно к конкретному зданию или сооружению позволит обеспечить его безопасность в целом.

Формы оценки соответствия подразделяются на государственные и негосударственные.

Применительно к процессам проектирования внутренних систем хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД основными нормативно-правовыми документами являются федеральные законы «Градостроительный Кодекс Российской Федерации» и «Технический регламент о безопасности зданий и сооруже-

ний» а также отраслевой федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении».

Основными нормативно-техническими документами применительно к процессам проектирования внутренних систем хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД являются своды правил СП 30.13330.2016 «Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*» и СП 31.13330.2012 «СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* (утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации № 635/14 от 29.12.2011 г.).

Основные требования к формированию методического обеспечения системы технического регулирования в строительстве и ее составной части – системы хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД. В части внутренних централизованных систем водоснабжения МКД общими требованиями безопасности являются: требования безопасных для здоровья человека условий проживания и пребывания в зданиях и сооружениях; требования энергетической эффективности зданий и сооружений.

По совокупности требований федеральных законов № 190-ФЗ, 384-ФЗ, 416-ФЗ следует, что:

- водоснабжение является регулируемым видом деятельности, одной из целей которой является охрана здоровья и улучшение качества жизни населения путем обеспечения бесперебойного и качественного водоснабжения с использованием централизованных и нецентрализованных систем горячего и холодного водоснабжения;

- обеспечение санитарно-эпидемиологических требований достигается устройством в МКД систем водоснабжения и водоотведения;

- безопасные для здоровья человека условия проживания и пребывания в МКД обеспечиваются соответствием качества питьевой воды гигиеническим нормативам;

- требуемое качество питьевой воды обеспечивается при эксплуатации посредством подачи требуемого количества воды и предотвращением ее загрязнения;

- энергетическая эффективность систем водоснабжения МКД в процессе их эксплуатации обеспечивается исключением нерациональных расходов воды и эффективным использованием энергетических ресурсов.

Кроме того, при проектировании следует учитывать, что с 1 января 2013 г. не допускается подключение объектов капитального строительства потребителей к централизованным открытым системам горячего водоснабжения,

осуществляемого на нужды горячего водоснабжения, а с 1 января 2022 г. такой отбор запрещен (ст. 20 федерального закона № 417-ФЗ от 7 декабря 2011 г. «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием федерального закона «О водоснабжении и водоотведении»).

Система регулирования отношений по предоставлению коммунальных услуг. Понятие «система коммунальной инфраструктуры» определено в Градостроительном кодексе. При этом единого федерального закона, регулирующего функционирование системы коммунальной инфраструктуры и ее составной части – системы водоснабжения МКД, нет.

Основными источниками жилищного права (жилищного законодательства) являются: «Конституция Российской Федерации» (принята всенародным голосованием 12 декабря 1993 г.); «Жилищный Кодекс Российской Федерации»; «Градостроительный Кодекс Российской Федерации»; «Гражданский Кодекс Российской Федерации» (№ 51-ФЗ от 29 ноября 1994 г.) и другие правовые документы. При этом с точки зрения иерархии правовых норм нормы федерального закона № 188-ФЗ (ч. 8 ст. 8) имеют приоритет перед нормами законов и иных правовых актов в области жилищного законодательства [2].

Предметом правового регулирования жилищных отношений, которые содержатся в различных отраслях права, является совокупность общественных отношений, стандартов и норм предоставления жилищных и коммунальных услуг.

Стандарты и нормы предоставления жилищных и коммунальных услуг, выраженные в количественных измерителях, устанавливаются федеральным органом исполнительной власти или органом исполнительной власти субъектов Российской Федерации. Такими основными нормативными документами являются:

– «Об утверждении Правил установления и определения нормативов потребления коммунальных услуг и нормативов потребления коммунальных ресурсов в целях содержания общего имущества в многоквартирном доме» (ПП РФ № 306 от 23.05.2006 г.);

– «Об утверждении Правил содержания общего имущества в многоквартирном доме и Правил изменения размера платы за содержание жилого помещения в случае оказания услуг и выполнения работ по управлению, содержанию и ремонту общего имущества в многоквартирном доме ненадлежащего качества и (или) с перерывами, превышающими установленную продолжительность» (ПП РФ № 491 от 13.08.2006 г.);

– «Правила предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов» (ПП РФ № 354 от 6.05.2011 г.);

– «О правилах, обязательных при заключении договоров снабжения коммунальными ресурсами» (ПП РФ № 124 от 14.02.2012 г.);

– «Об утверждении правил холодного водоснабжения и водоотведения и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации» (ПП РФ № 644 от 29.07.2013 г.);

– ГОСТ Р 51617–2014 «Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами. Коммунальные услуги. Общие требования» (Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11.06.2014 г. № 544-ст);

– ГОСТ Р 56501–2015 «Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами. Услуги содержания внутридомовых систем теплоснабжения, отопления и горячего водоснабжения многоквартирных домов. Общие требования» (Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30.06.2015 г. № 823-ст);

– ГОСТ Р 56533–2015 «Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами. Услуги содержания внутридомовых систем холодного водоснабжения многоквартирных домов. Общие требования» (Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29.07.2015 г. № 1003-ст).

Методом нормативно-правового регулирования жилищных отношений, который включает в себя черты методов, присущих гражданскому, административному и другим отраслям права, являются приемы и способы воздействия юридических норм на общественные отношения.

Основные требования к формированию методического обеспечения деятельности, регулирующей функционирование системы коммунальной инфраструктуры и ее составной части – системы хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД. Централизованные системы холодного и горячего хозяйственно-питьевого водоснабжения являются основными элементами системы коммунальной инфраструктуры, которые обеспечивают безопасное для здоровья человека проживание и пребывание в МКД.

По совокупности положений ПП РФ №№ 306, 491, 354, 124, 644 и национальных стандартов ГОСТ Р, вошедших в серию «Услуги жилищно-коммунального хозяйства и управления многоквартирными домами», следует, что:

– водоснабжение является регулируемым видом деятельности, цель которой – предоставление коммунального ресурса (воды) и оказание коммунальной услуги потребителям в МКД;

– коммунальной услугой водоснабжения является деятельность по подаче потребителям в МКД коммунального ресурса (воды) с целью обеспечения благоприятных и безопасных условий использования жилых, нежилых помещений, общего имущества в МКД, а также земельных участков и расположенных на них жилых домов;

– предоставление коммунальной услуги холодного и горячего водоснабжения должно осуществляться бесперебойно либо с перерывами, не превышающими продолжительность, соответствующую требованиям к качеству коммунальной услуги (требование доступности услуг);

– деятельность по подаче холодной и горячей воды потребителям в МКД не ниже установленных нормативов с параметрами, установленными ПП РФ № 354, считается коммунальной услугой гарантированного качества (требование насыщения потребления);

– нормативы потребления в МКД устанавливаются вне зависимости от наличия в них приборов учета;

– для МКД используются три норматива: внутри жилых помещений, в целях содержания общего имущества и при использовании земельных участков;

– нормативы потребления определяются в расчете на месяц потребления коммунального ресурса, при этом их дифференцирование по месяцам предоставления услуги не предусматривается;

– конструкция внутренних систем водоснабжения МКД и их параметры должна обеспечивать возможность транспортировки коммунального ресурса и потребления коммунальных услуг гарантированного качества;

– предоставление коммунального ресурса и оказание коммунальной услуги потребителям в МКД осуществляется на основании договоров между ресурсоснабжающей организацией, исполнителем услуг и потребителем или между ресурсоснабжающей организацией и потребителем;

– для заключения договоров необходимо в совокупном (интегральном) объеме коммунального ресурса, поставляемого в МКД, выделять дифференцированные по времени суток и по другим критериям объемы, используемые в целях содержания общего имущества в МКД и для предоставления коммунальной услуги потребителям в жилых и нежилых помещени-

ях, а также устанавливать границы между частями внутренней системы водоснабжения.

Взаимосвязь системы технического регулирования с деятельностью, регулирующей функционирование системы коммунальной инфраструктуры. Основу взаимосвязи системы технического регулирования с другими областями регулирования составляет единый подход к обеспечению безопасного функционирования систем хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД, установленных федеральным законом № 384-ФЗ.

Рассмотрение основных требований к формированию методического обеспечения системы технического регулирования и формированию методического обеспечения деятельности, регулирующей функционирование системы коммунальной инфраструктуры, в части систем хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД, позволяет сделать вывод о единой цели деятельности по предоставлению коммунальных услуг и реализации требований федерального закона № 384-ФЗ по обеспечению безопасных для здоровья человека условий проживания и пребывания в зданиях и сооружениях. Поэтому методология проектирования систем водоснабжения МКД должна включать в себя основные требования к формированию методического обеспечения деятельности, регулирующей функционирование системы коммунальной инфраструктуры. Вследствие этого основной научной задачей в процессе совершенствования методологических основ является разработка (совершенствование) методов гидравлического расчета систем водоснабжения МКД. При этом необходимо учитывать новые параметры гидравлических закономерностей, которые характеризуют особенности деятельности по предоставлению коммунальных услуг, а именно требования доступности услуг и насыщения потребления.

Основы безопасной эксплуатации систем хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД закладываются на этапе их проектирования. Главным фактором при проектировании систем водоснабжения является расход воды. Выполнение требований доступности коммунальных услуг и насыщения потребности в коммунальных услугах при проектировании достигается:

– выбором схемы и параметров внутренних систем водоснабжения МКД, обеспечивающих возможность транспортировки коммунального ресурса в любой момент возникновения потребности в коммунальных услугах;

– выбором величин диаметров труб и типоразмеров оборудования исходя из величин пиковых (предельных) расходов коммунального ресурса;

– определением величин пиковых расходов коммунального ресурса исходя из нормативов их потребления;

– установлением границ как между централизованной и внутридомовой частями, так и между внутридомовой и внутриквартирной частями системы водоснабжения;

– раздельным определением величин пиковых расходов в жилых помещениях, а также величин расходов на общедомовые нужды и при использовании земельных участков на основе соответствующих нормативов потребления коммунальной услуги или коммунального ресурса по соответствующим моделям водопотребления;

– определением величины расчетного (интегрального) расхода на отдельном участке системы водоснабжения с учетом дифференциации по времени суток потребления коммунального ресурса и коммунальных услуг различными потребителями.

Следует отметить, что выполнение требования насыщения потребности в коммунальных услугах вступает в противоречие с требованием обеспечения энергетической эффективности в процессе эксплуатации систем водоснабжения МКД. Результаты анализа этого противоречия и возможные пути его решения приведены в работе [3].

Практическая реализация новых параметров гидравлических закономерностей, учитывающих характерные особенности деятельности по предоставлению коммунальных услуг, в методиках гидравлического расчета внутренних систем хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД.

Формирование легитимного методического инструментария должно осуществляться с учетом существующих терминов и определений в сфере жилищного законодательства (внутридомовая система холодного водоснабжения многоквартирных домов, внутридомовая система горячего водоснабжения многоквартирных домов, коммунальные услуги, коммунальные ресурсы). Кроме того, необходимо использовать вновь вводимые определения:

– «диктующий ввод в жилое помещение» – наиболее высоко расположенный и наиболее удаленный от точки присоединения внутридомовой системы водоснабжения к централизованной сети узел ввода в жилое помещение с максимальной величиной предельного расхода и требуемого свободного напора;

– «коммунальная услуга гарантированного качества» – деятельность по подаче холодной и горячей воды потребителям в многоквартирных домах не ниже установленных Постановле-

нием Правительства Российской Федерации № 306 от 23.05.2006 г. нормативов с параметрами, установленными Постановлением Правительства Российской Федерации № 354 от 6.05.2011 г.;

– «предельный расход» – расчетный расход на участке внутренней системы хозяйственно-питьевого водоснабжения многоквартирного дома, соответствующий величине пикового расхода коммунальных ресурсов исходя из нормативов их потребления.

Формирование методики гидравлического расчета должно осуществляться с учетом новых требований к внутренним системам водоснабжения МКД:

– системы холодного и горячего водоснабжения многоквартирных домов должны обеспечивать возможность транспортировки коммунального ресурса в любой момент возникновения потребности в коммунальных услугах гарантируемого качества;

– расчетные (предельные) расходы воды в системах холодного и горячего водоснабжения многоквартирных домов следует определять исходя из нормативов потребления коммунальных ресурсов и услуг;

– выбор величин диаметров труб и типоразмеров оборудования систем холодного и горячего водоснабжения многоквартирных домов осуществляется исходя из величин пиковых (предельных) расходов коммунального ресурса;

– величины пиковых расходов в жилых помещениях, а также величин расходов в целях содержания общего имущества и при использовании земельных участков определяются раздельно на основе соответствующих нормативов потребления коммунальных ресурсов или услуг по соответствующим моделям водопотребления;

– определение величины расчетного (интегрального) расхода на отдельных участках системы водоснабжения многоквартирного дома проводится с учетом дифференциации по времени суток потребления коммунальных ресурсов и услуг различными потребителями.

Учет новых гидравлических закономерностей реализован в разработанной автором методике определения расчетных (предельных) расходов холодной и горячей воды в централизованных системах хозяйственно-питьевого водоснабжения многоквартирных домов [4].

Методика определения расчетных (предельных) расходов холодной и горячей воды в централизованных системах хозяйственно-питьевого водоснабжения многоквартирного дома на вводе в жилое помещение.

Определение расчетных (предельных) расходов воды производится на основании следую-

щих исходных данных: нормативы потребления холодной (c) и горячей (h) воды в жилых помещениях $N_w^{c(h)}$, м³/мес.·чел.; число санитарных приборов, установленных в жилом помещении N , шт.; число потребителей коммунальных услуг в жилом помещении U , чел., или общая площадь квартиры $S_{\text{общ}}$, м², и норма предоставления жилой площади $S_{\text{нор}}$, м².

Расчет проводится в следующей последовательности:

– определяется величина расхода воды одним человеком в средние сутки:

$$Q_{u,m}^{c(h)} = \frac{N_w^{c(h)}}{28}, \text{ м}^3/(\text{сут} \cdot \text{чел.}), \quad (1)$$

где 28 – минимальное число дней в феврале;

– определяется число жителей в квартире (в случае отсутствия данных о числе потребителей коммунальных услуг в жилом помещении):

$$U = \frac{S_{\text{общ}}}{S_{\text{нор}}}, \text{ чел.}, \quad (2)$$

– определяется величина максимального суточного расхода воды одним человеком:

$$Q_{u,max}^{c(h)} = Q_{u,m}^{c(h)} \cdot K_{dl,max}, \text{ м}^3/(\text{сут} \cdot \text{чел.}), \quad (3)$$

где $K_{dl,max}$, – коэффициент максимальной суточной неравномерности водопотребления, который следует рассчитывать по СП 31.13330.2012 «СНиП 2.04.02 - 84*». Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02 - 84*»;

– определяется величина максимального суточного расхода воды для одного жилого помещения:

$$Q_U^{c(h)} = Q_{u,max}^{c(h)} \cdot U, \text{ м}^3/\text{сут}; \quad (4)$$

– определяется величина среднечасового расхода воды для одного жилого помещения:

$$q_{T,U}^{c(h)} = 1000 \cdot \frac{Q_U^{c(h)}}{24}, \text{ л/ч}; \quad (5)$$

– определяется по СП 30.13330.2016 «Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01–85*» величина коэффициента максимальной часовой неравномерности водопотребления исходя из числа санитарных приборов, установленных в одном жилом помещении, $K_{hr,max}^c$ ($K_{hr,max}^h$);

– определяется величина максимального часового расхода для одного жилого помещения:

$$q_{hr,U}^{c(h)} = q_{T,U}^{c(h)} \cdot K_{hr,max}^{c(h)}, \text{ л/ч}; \quad (6)$$

– определяется величина предельного секундного расхода для одного жилого помещения:

$$q^{lim,c(h)} = \frac{q_{hr,U}^{c(h)}}{3600}, \text{ л/с}. \quad (7)$$

Расчитанные по формулам (1) – (7) величины предельных расходов используются в качестве исходных данных для проведения гидравлического расчета внутридомовых систем водоснабжения и подбора внутриквартирного оборудования.

Определение расчетных (предельных) расходов воды на отдельных участках внутридомовых систем хозяйственно-питьевого водоснабжения производится аналогично определению расчетных (предельных) расходов холодной и горячей воды в централизованных системах хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД на вводе в жилое помещение. Отличие расчета заключается в выборе величин числа потребителей коммунальных услуг в жилых помещениях U , чел., и числа установленных в квартирах санитарных приборов N , шт., на предыдущих участках внутридомовой системы водоснабжения.

При определении предельных расходов воды для МКД исходными данными для расчета будет общее число потребителей коммунальных услуг в жилых помещениях U , чел., и общее число установленных в жилых помещениях санитарных приборов N , шт.

В случае совпадения по времени суток потребления коммунальных ресурсов и услуг на хозяйственно-питьевые нужды, в целях содержания общего имущества и при использовании земельных участков интегральные расчетные (предельные) расходы представляют их сумму.

Выводы. 1. Требования нормативно-правовых документов к внутренним централизованным системам хозяйственно-питьевого водоснабжения в части осуществления эксплуатации МКД с учетом требований жилищного законодательства не реализованы в полном объеме в нормативно-технических документах.

2. Анализ требований к внутренним системам хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД позволил выявить новые методологические аспекты их гидравлического расчета, соответствующие требованиям действующих нормативно-правовых документов.

3. Обоснована необходимость разработки новой методики определения расчетных (предельных) расходов холодной и горячей воды в централизованных системах хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД, которая учитывает существующие термины и определения в сфере жилищного законодательства и новые требования к внутренним системам водоснабжения.

4. Использование предложенной методики определения расчетных (предельных) расходов холодной и горячей воды в централизованных системах хозяйственно-питьевого водоснабжения МКД позволит однозначно доказать соответствие проектных характеристик систем водоснабжения обязательным требованиям безопасности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агешкина Н.А., Коржов В.Ю. Комментарий к Федеральному закону от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [Электронный ресурс]. Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018. 151 с. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/73978.html>. ЭБС «IPRbooks» (дата обращения: 1.03.2019).

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

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

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015615869 Российская Федерация, Программа SWC-1 расчетный расход воды для целей водоснабжения – квартира / А.К. Стрелков, Ю.Н. Зотов, И.Ю. Михайлова; заявитель и патентообладатель СГАСУ № 2015612362; заявл. 30.03.2015; опублик. 20.06.2015, бюл. № 6–2015. 1 с.

Об авторе:

МИХАЙЛОВА Ирина Юрьевна

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

REFERENCES

1. Aleshkina N.A., Korzhov V.Yu. *Kommentarij k Federal'nomu zakonu ot 27 dekabrya 2002 g. № 184-FZ «O tekhnicheskom regulirovanii»* [The commentary to the Federal law of 27 December.2002 № 184-FZ “On technical regulation”]. Saratov, AI PI Er Media, 2018. 151 p. Available at: <http://www.iprbookshop.ru/73978.html> (accessed 1 March 2019).

2. Cities O.A., Gubaeva A.K., Lebedev K. K., Popondopulo V.F., Dolgopolov M. N., Strembelev S.V. *Kommentarij k Zhilishchnomu kodeksu Rossijskoj Federacii (postatejnyj)* [Commentary to the Housing code of the Russian Federation (itemized)]. 4th edition, revised and expanded. Moscow, Prospect, 2017. 252 p.

3. Strelkov A.K., Zotov Yu.N., Mikhailova I.Yu. Hhousing pressure regulator with improved water-saving characteristics. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. vol. 9, no. 1, pp. 57–63. (in Russian)

4. Strelkov A.K., Zotov Yu. N., Mikhailova I. Yu. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2015615869 Rossijskaya Federaciya, Programma SWC-1 raschetnyj raskhod vody dlya celej vodosnabzheniya - kvartira* [Certificate of state registration of the computer program № 2015615869 Russian Federation, SWC-1 program estimated water consumption for water supply – apartment]. Patent RF, no. 2015612362; application, 2015.

MIKHAILOVA Irina Yu.

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

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

For citation: Mikhaylova I.Yu. Determination of Calculated Costs in Internal Centralized Systems of Drinking Water Supply of Multi-Apartment Houses. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 53–60. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.9.

А. К. СТРЕЛКОВ
С. Ю. ТЕПЛЫХ
А. О. БЫСТРАНОВА

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ МАСЛОЖИРОСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

MODERN METHODS FOR CLEANING FAT-AND-OIL WASTE WATERS

Рассмотрены современные методы очистки и технологические схемы предприятий масложировой промышленности. На основании литературных источников исследована эффективность очистки сточных вод физико-химическими методами очистки. Реагентная предварительная обработка сточных вод широко используется, а исследования направлены на выбор оптимальных реагентов и доз. Современным методом обработки масложиродержащих сточных вод являются биомембранные технологии. Классические схемы очистки зачастую не способны обеспечить достижения нормативных требований к качеству очищенных сточных вод, поэтому технология мембранных биореакторов может быть востребована для очистки пищевых сточных вод. Выявлены проблемы применения различных способов очистки масложировых сточных вод. Определена экономическая эффективность предложенных способов очистки

Ключевые слова: *масложировые сточные воды, физико-химический метод очистки, мембранные биореакторы*

Загрязненные сточные воды подвергаются очистке совместно с бытовыми сточными водами населенных пунктов или других предприятий. Самостоятельная очистка производится только при отсутствии технической возможности или экономической целесообразности подачи стоков на общие очистные сооружения.

Методы очистки сточных вод масложировой промышленности

Особое внимание при очистке сточных вод следует уделять выделению из сточных вод ценных пищевых компонентов, которые при попадании в канализацию и в водоемы на стадии разложения выделяют высокотоксичные продукты.

Современные предприятия масложировой промышленности, как правило, оборудованы станциями безразборной СР-мойки для очистки технологических трубопроводов и оборудования на предприятии. Отработан-

The article studied modern cleaning methods and technological schemes of enterprises of the fat-and-oil industry. Based on literary sources, the efficiency of wastewater treatment by physicochemical treatment methods has been investigated. Reagent pretreatment of wastewater is widely used, and research focuses on the selection of optimal reagents and doses. A modern method for the treatment of fat and oil containing wastewater is biomembrane technology. Classic treatment schemes are often unable to achieve regulatory requirements for the quality of treated wastewater; therefore, the use of membrane bioreactor technology may be in demand for treating food wastewater. The problems of using various methods of purification of fat-and-oil wastewater are identified. The economic efficiency of the proposed cleaning methods is determined.

Keywords: *fat-and-oil waste water, physico-chemical method of purification, membrane bioreactors*

ные щелочные и кислотные моющие растворы от СР-станции рекомендуется очищать с помощью нанофильтрации и возвращать в систему для повторного использования на СР и на технологические нужды.

На территории предприятия перед сбросом стоков в канализационную сеть, как правило, располагают следующие сооружения: усреднители расхода отработавших моечных растворов, обеспечивающие прием залпового сброса с последующим равномерным выпуском его; грязеотстойники с маслотовушками у площадок мойки автомобилей.

Для механической очистки сточных вод предприятий масложировой промышленности предусматривают установку решеток, песколовков, жироловок, осветлителей с естественной аэрацией, осветлителей-перегнивателей, вертикальных отстойников [1].

Опыт применения флотационных способов очистки стоков предприятий масложировой промышленности показал, что флотация

без добавки коагулянтов малоэффективна, так как позволяет снизить концентрацию жиров только на 50–60 %, ХПК – на 35–45 %, а взвешенных веществ – на 40–50 %.

При применении в качестве коагулянтов сернокислого алюминия или хлорного железа дозой 100 мг/л (по безводной соли) на 1000 мг/л загрязнений по ХПК при pH = 6,7 эффективность очистки по взвешенным веществам составляет 75–80 %, по жирам – 80–90 %, по БПКполн – 60–70%. Однако из-за высокой дозы реагента, сложности реагентного хозяйства и большого объема образующегося осадка (до 10 % количества сточных вод) реагентная напорная флотация, по мнению авторов справочника [1], нецелесообразна. Кроме того, флотошлам после реагентной обработки содержит значительное количество ионов металла, что может ингибировать последующий процесс аэробной стабилизации, соответственно усложняя обезвоживание флотошлама и увеличивая затраты на вывоз жидких отходов. Поэтому отдается предпочтение безреагентной флотации.

Также экспериментально доказано, что в схемах с дальнейшей биологической очисткой применение реагентной флотации приводит к резкому снижению фосфатов в сточных водах, что препятствует нормальному течению процессов биологической очистки.

Тем не менее реагентная предварительная обработка сточных вод масложировых производств широко используется, а исследования направлены на выбор оптимальных реагентов и их доз. В практике эксплуатации сооружений очистки сточных вод масложировых производств также применяется их обработка алюмокремниевыми коагулянтами-флокулянтами, модифицированными и немодифицированными флокулянтами, бифлокулянтами и коагулянтами на основе отходов сельскохозяйственных производств [2].

Биологические методы удаления органических загрязнений считаются наиболее экономически эффективными и экологически приемлемыми. На практике нашли применение различные варианты схем, основанных на биологическом методе очистки сточных вод масложировых заводов.

Существуют схемы с окислительными каналами, включающие в себя: решетки, песколовки, окислительные каналы, вторичные отстойники. Сточные воды в каналах циркулируют постоянно. Устройство каналов с двумя парами параллельно расположенных рукавов позволяет осуществить непрерывную работу станции без первичного отстойника [3].

Во многих странах для очистки сточных вод масложировых заводов применяются сооруже-

ния, в которых главную роль играют биологические фильтры различных конструкций [4]. В состав таких сооружений чаще всего входят решетки, песколовки, первичные отстойники, биологические фильтры, вторичные отстойники, камеры для ферментации ила и площадки для его обезвоживания.

В последнее время на многих очистных сооружениях, работающих по схеме с активным илом, не предусматриваются первичные отстойники. Сточные воды после решеток и песколовок направляются в аэротенки.

Выбор биологических методов очистки также обусловлен наличием в сточных водах биогенных элементов, удаление которых с применением биологической очистки наиболее рационально.

Технология анаэробной очистки высококонцентрированных сточных вод масложировых заводов широко распространена за рубежом. В России этот метод менее применим по сравнению с другими, так как отсутствует потребность получения коммерческого биогаза. Анаэробные процессы характеризуются гораздо более низким приростом биомассы и позволяют получать биогаз как энергоноситель. Поэтому анаэробную ступень рекомендуется применять в качестве первой ступени очистки высококонцентрированных сточных вод масложировой промышленности с ХПК от 2500–3000 мг/л [5]. В мировой практике на масложировое производство приходится лишь 2 % анаэробных сооружений.

Использование биомембраной технологии для очистки сточных вод масложировой промышленности

Перспективным техническим решением для биологической очистки сточных вод масложировых заводов является технология мембранного биореактора (МБР), объединяющая преимущества биологического и мембранного процессов. В сточных водах после предварительной механической и физико-химической очистки преобладают вторичные загрязнения, которые впоследствии попадают в биореактор с активным илом [6]. Мембраны могут быть погружены внутрь аэротенка или вынесены в отдельное помещение. Разделение ила происходит за счет использования микро- и ультрафильтрационных мембран с размером пор 0,04–0,5 мкм, что меньше размера хлопьев активного ила. Невозможность выноса ила из системы позволяет повысить концентрацию ила в аэротенках в два-три раза, соответственно увеличить окислительную мощность биореактора, а также отказаться от вторичных отстойников и фильтров доочистки, так как пермеат

практически не содержит взвешенных веществ и, кроме того, размер пор мембраны меньше размера бактерий, что позволяет физическое обеззараживание. Для обеспечения постоянной эффективной работы мембран установки оборудованы системами аэрации, реагентным хозяйством для химической очистки.

В мембранном биореакторе применяют в основном погруженные в иловую смесь блоки полволоконных или плоскорамных микро- или ультрафильтрационных мембран, обеспечивающих отведение пермеата под вакуумом. Их промывка осуществляется путем периодической химической обратной промывки (лимонная кислота, гипохлорит, сода, щелочь и др.), которая производится непосредственно в реакторе, а для полволоконных мембран предусматривается частая обратная промывка потоком очищенной воды [7,8].

Применяемые в МБР мембраны изготавливаются в основном из полимеров (полиэтилена, полисульфона, полиэтиленсульфона, полиакриланитрила, поливинилиденфторида, поливинилхлорида и др.), а в ряде случаев из неорганических материалов (оксиды Al, Ti, Zr и др.). По своей геометрии применяемые в МБР мембраны делятся на трубчатые, плоскорамные и полволоконные. Наиболее распространены в практике очистки сточных вод плоскорамные и полволоконные мембраны.

Рост количества МБР и производительности промышленных установок начался с середины 1990-х гг. Использование биомембранных технологий стимулирует, несмотря на более высокую стоимость по сравнению с традиционными сооружениями, строгое природоохранное законодательство, повышение стоимости услуг водоотведения, необходимость очистки производственных сточных вод, международный стандарт по созданию экологического менеджмента ISO 14001, наличие устаревших очистных сооружений, обеспокоенность общественности экологическими проблемами и интерес инженерного сообщества.

Важным свидетельством востребованности технологии МБР является постоянно возрастающее количество вводимых в эксплуатацию установок по очистке сточных вод с использованием данной технологии. Уже к 2010 г. было отмечено успешное ее применение на более 7000 сооружений очистки и доочистки сточных вод по всему миру.

По обобщенной информации на 2014 г., 60 % сооружений очистки с МБР очищают хозяйственно-бытовые сточные воды и 40 % используются для обработки производственных стоков. Более 99 % всех МБР-установок оснащены мембранными модулями погружного

типа, так как они позволяют устойчиво работать в жестких условиях с концентрацией ила до 15 г/л и отличаются более низкими энергозатратами и простотой обслуживания [9].

Особенно следует отметить широкое применение технологии МБР для очистки производственных сточных вод, концентрации загрязняющих веществ которых значительно превышают аналогичные значения для хозяйственно-бытовых стоков и классические схемы очистки зачастую не способны обеспечить достижение нормативных требований к качеству очищенных сточных вод. Применение МБР для очистки производственных сточных вод также обосновано при наличии трудноокисляемых загрязнений, ограниченной территории для размещения очистных сооружений, повторного использования очищенных сточных вод.

Ключевой проблемой эффективной эксплуатации биологических очистных сооружений производственных сточных вод является повышенный иловый индекс. Загрязнение мембран является общей проблемой в любых мембранных процессах, однако из-за крайне гетерогенной природы иловой смеси в биореакторах, в частности присутствия микроорганизмов, предсказывать и управлять загрязнением мембран в МБР сложно. Микроорганизмы производят внеклеточные высокомолекулярные полимеры с высокой способностью к загрязнению мембран. На загрязнение также влияет структура и размер хлопка активного ила. Характеристики процесса загрязнения еще более усложняются при изменении физических, химических и физиологических параметров иловой смеси и качества очищаемой воды во времени. Работа с высокими дозами ила имеет ряд достоинств, так как при этом сокращается прирост ила и снижаются объемы сооружений, но слишком высокие дозы ила обуславливают увеличение вязкости иловой смеси, что снижает массопередачу.

Основные закономерности взаимосвязи темпов забивания мембран с параметрами работы биореактора и условиями фильтрования описаны в литературе и выпускаются в качестве рекомендаций для расчета производителями мембран. Тем не менее опубликованные данные требуют корректировки для каждого вида сточных вод в ходе эксплуатации [10].

Выводы. 1. Наибольшее распространение на территории Российской Федерации получила схема очистки сточных вод, включающая жироловки, усреднители, установки напорной реагентной флотации, биологические очистные сооружения с аэротенками или биофильтрами. Частыми проблемами, выявленными

на подобных станциях, являются нестабильная работа установки физико-химической очистки в связи с отсутствием автоматизированных систем корректировки рН и дозирования коагулянта, а также неэффективная работа сооружений биологической очистки, требующая их модернизации для полного окисления органических веществ, нитрификации, денитрификации.

2. Основной проблемой эксплуатации мембранного биореактора является повышенный иловый индекс, который в дальнейшем приводит к загрязнению мембран, что инициирует большой процент расхода воды на их промывку. При использовании данной технологии происходит потеря жировых компонентов как вторичного сырья для косметической промышленности. Биомембранные технологии имеют высокую стоимость по сравнению с традиционными сооружениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лихачев Н.И., Ларин И.И., Хаскин С.А. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / под общ. ред. В. Н. Самохина. М.: Стройиздат, 1981. 639 с.
2. Катраева И.В. Современные анаэробные аппараты для очистки концентрированных сточных вод // Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. 2011. № 2. С. 179–184.
3. Теплых С.Ю. Очистка масло- и жирсодержащих сточных вод: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. Самара, 2000. 154 с.
4. Praca Zbirowa. Вода и сточные воды пищевой промышленности / под ред. В.М. Каца. М.: Пищевая промышленность, 1972. 536 с.
5. Данилович Д.А., Максимова А.А. Современные решения по очистке сточных вод // Молочная промышленность. 2011. № 8. С. 73–77.
6. Киристаев А.В. Очистка сточных вод в мембранном биореакторе: автореф.дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. М., 2008. 24 с.
7. Stephenson T., Judd S., Jefferson B., Brindle K. Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment / London. U.K: IWA Publishing, 2000.
8. Visvanathan R., Ben Aim K., Parameshwaran // Membrane separation bioreactors for wastewater treatment/ Crit. Rev. Environ. SciTechnol. 2000 V. 30 (1). P. 1–48.
9. Видякин М.Н., Гарипова С.А. Особенности внедрения мембранных биореакторов для обработки сточных вод // Экология производства. 2014. № 11. С. 61–68.
10. Степанов С.В., Стрелков А.К., Швецов В.М., Морозова К.М. Биологическая очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. М.: Издательство АСВ, 2017. 204 с.

REFERENCES

1. Likhachev N. I., Larin I. I., Haskin S. A. *Kanalizatsiya naseleennykh mest i promyshlennykh predpriyatij* [Sewerage of populated areas and industrial enterprises]. 1990, Moscow, Stroyizdat. 639 p.
2. Katraeva I. V. Modern anaerobic cleaning apparatus concentrated wastewater *Vodosnabzhenie, kanalizatsiya, stroitel'nye sistemy ohrany vodnykh resursov* [Water supply, sewerage, construction systems of water resources protection]. 2011, no. 2, p. 179–184. (in Russian)
3. Teplykh S.Yu. *Ochistka maslo- i zhirsoderzhashchih stochnykh vod*. Kand, Diss. [Purification of oil and greasy wastewater. Cand. Diss.]. Samara, 2000. 154 p.
4. Praca Zbirowa. *Voda i stochnye vody pishchevoj promyshlennosti* [Water and wastewater from the food industry]. Moscow, Food Industry, 1972. 536 p.
5. Danilovich D. A., Maximova A.A. Modern solutions for wastewater treatment. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 2011, no. 8, pp. 73–77. (in Russian)
6. Kristaev A. V. *Ochistka stochnykh vod v membranom bioreaktore*. Kand, Diss. [Wastewater treatment in a membrane bioreactor. Cand. Diss.]. Moscow, 2008. 24 p.
7. Stephenson T., Judd S., Jefferson B., Brindle K. T. *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*. London, U.K: IWA Publishing, 2000.
8. Visvanathan C., Aim R. Ben, Parameshwaran K. Membrane separation bioreactors for wastewater treatment. *Crit. Rev. Environ. SciTechnol*, 2000, vol. 30 (1), pp.1–48.
9. Vidyakin M. N., Garipova S. A. Features of the introduction of membrane bioreactors for wastewater treatment. *Ekologiya proizvodstva* [Ecology of production], 2014, no.11, pp. 61–68. (in Russian)
10. Stepanov S. V., Strelkov A. K., Shvetsov V. N., Morozova K. M. *Biologicheskaya ochistka stochnykh vod neftepererabatyvayushchih zavodov* [Biological wastewater treatment of oil refineries Scientific publication]. Moscow, DIA Publishing House, 2017. 204 p.

Об авторах:

СТРЕЛКОВ Александр Кузьмич

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

ТЕПЛЫХ Светлана Юрьевна

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

БЫСТРАНОВА Анастасия Олеговна

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: bystranova14@mail.ru

STRELKOV Alexander K.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: a19400209@yandex.ru

TEPLYKH Svetlana Yu

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: kafvv@mail.ru

BYSTRANOVA Anastasya O.

Postgraduate Student of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: bystranova14@mail.ru

Для цитирования: Стрелков А.К., Теплых С.Ю., Быстранова А.О. Современные методы очистки масложиро-содержащих сточных вод // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 61–65. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.10.

For citation: Strelkov A.K., Teplykh S.Yu., Bystranova A.O. Modern Methods for Cleaning Fat-and-Oil Waste Waters. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 61–65. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.10.

Уважаемые читатели!

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

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, индексируется в РИНЦ, CrossRef и ERIH PLUS

По вопросам, связанным с публикацией статей, обращаться **vestniksgasu@yandex.ru**

Полная информация о журнале на сайте **journal.samgasu.ru**

Т. И. ХАЛТУРИНА
С. Г. ТРЕТЬЯКОВ
О. В. ЧУРБАКОВА
С. А. КОЗЛОВА

ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННАЯ ОБРАБОТКА СОВМЕСТНЫХ МАСЛОЭМУЛЬСИОННЫХ И ХРОМСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЙ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ

ELECTROCOAGULATION TREATMENT OF JOINT OIL-EMULSION AND CHROME-CONTAINING WASTEWATER OF METALWORKING ENTERPRISES

Представлены результаты изучения процесса электрокоагуляционной обработки совместных маслоэмульсионных и хромсодержащих сточных вод, которые образуются на предприятиях металлообработки. Цель исследования: оптимизация процесса электрохимического обезвреживания совместного стока сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты и ионы шестивалентного хрома, и изучение состава и структуры осадка. Получены данные по изучению свойств и состава осадка, образующегося в процессе электрообработки совместно стока сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты и ионы шестивалентного хрома, для разработки технологии утилизации с помощью термогравиметрического и рентгенофазового анализов. Результаты исследований при планировании эксперимента позволили определить оптимальные режимы по величине pH и времени контакта.

Ключевые слова: ионы шестивалентного хрома, эмульгированные нефтепродукты, сточные воды, электрокоагуляция, планирование эксперимента, оптимизация, осадок, термогравиметрический анализ, рентгенофазовый метод, дифрактограмма, термограмма

Введение

На предприятиях металлообработки используются технологические схемы с отдельной электрохимической очисткой сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты и шестивалентный хром [1–6]. Установки по реализации электрообработки компактны, солевой состав очищенной воды не увеличивается и образуется меньшее количество осадка при сравнении с реагентной обработкой [7, 8]. Известно [5], что содержание Cr^{6+} в сточной воде не рекомендуется до 100 мг/дм³, так как вызывает пассивацию железных анодов из-за электролитического растворения и снижение выхода по току.

Целью настоящей работы являлось решение оптимизации процесса электрохимического

The results of studying the process of electrocoagulation processing of joint oil-emulsion and chromium-containing wastewaters, which are formed at metal-working enterprises, are presented. Objective: to optimize the process of electrochemical neutralization of a joint effluent stream containing emulsified oil products and hexavalent chromium ions, and to study the composition and structure of sludge. Data were obtained on the study of the properties and composition of the sludge formed during the electrical treatment of a joint effluent containing emulsified oil products and hexavalent chromium ions to develop a disposal technology using thermogravimetric and x-ray phase analyzes. The results of the research during the planning of the experiment made it possible to determine the optimal regimes by pH and contact time.

Keywords: hexavalent chromium ions, emulsified oil products, wastewater, electrocoagulation, experiment planning, optimization, sediment, thermogravimetric analysis, X-ray diffraction method, diffractogram, thermogram

го обезвреживания совместного стока сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты и ионы шестивалентного хрома.

Материалы и методы

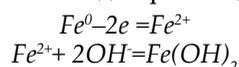
Экспериментальные исследования проводились на моделях стоков, содержащих концентрации нефтепродуктов от 50 до 1050 мг/дм³ и ионов хрома до 60 мг/дм³, в электролизере объемом 0,5 л с железными электродами, расстояние между которыми 8 мм, рабочая площадь 6,47 дм². Обработка происходила под воздействием постоянного тока. Концентрацию нефтепродуктов определяли с использованием концентратомера КН-2. Определение концентрации ионов хрома проводилось на атомно-абсорбционном

спектрометре 3300 производства фирмы Perkin-Elmer. Анализ химического состава осадка был изучен термогравиметрическим методом на приборе NETZSCH STA 449 F1. Для контроля результатов и более точного определения состава осадка был выполнен рентгенофазовый анализ при использовании дифрактометра ADVANCE-D8 фирмы Bruker AXS. Данные исследования совместного процесса электрообработки проводились с помощью планирования эксперимента по методу Бокса-Хантера для получения математических моделей. По уравнениям регрессии проведена оптимизация в программе MathCAD и построены диаграммы для анализа и регулирования режимов обработки совместных сточных вод.

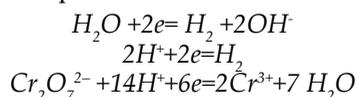
Результаты и обсуждение

В зависимости от соотношения объемов нефтесодержащих и хромсодержащих сточных вод реакция среды изменяется от нейтральной до кислой. Механизм обезвреживания совместного стока сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты и ионы шестивалентного хрома при электрообработке с растворимыми анодами, определяется процессами, происходящими как на электродах, так и за счет окислительно-восстановительной реакции в объеме обрабатываемой жидкости.

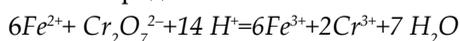
На железном аноде происходит процесс:



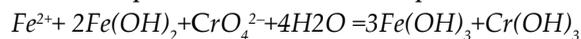
На катоде протекают следующие электрохимические процессы:



В кислой среде



В нейтральной и щелочной среде



Образующиеся гидроокиси являются хорошими сорбентами эмульгированных нефтепродуктов.

На кафедре ИСЗиС ИСИ Сибирского федерального университета были проведены исследования совместного процесса электрообработки с помощью планирования эксперимента по методу Бокса-Хантера для получения математических моделей [9]. В качестве варьируемых факторов были приняты:

x_1 – начальная концентрация нефтепродуктов, мг/дм³; x_2 – исходная концентрация хрома Cr⁺⁶, мг/дм³; x_3 – плотность тока, А/м²; x_4 – время контакта, мин; x_5 – значение pH.

Оценочные параметры:

Y_1 – остаточное содержание нефтепродуктов, мг/дм³; Y_2 – остаточное содержание хрома Cr⁺⁶, мг/дм³; Y_3 – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м³; Y_4 – удельный расход металла, г/м³·ч.

Уровни варьирования контролируемых и управляемых факторов определены на основе проведенного эксперимента и сведены в табл. 1.

Таблица 1
Уровни варьирования факторов

Фактор	Шаг варьирования Δx	Интервал варьирования				
		-2	-1	0	+1	+2
x_1	250	50	300	550	800	1050
x_2	15	0	15	30	45	60
x_3	8	5	13	21	29	37
x_4	2	1	3	5	7	9
x_5	1,2	2,2	3,4	4,6	5,8	7

Регрессионный анализ выполнен в программе «Microsoft Excel», в результате получены математические уравнения безразмерного масштаба:

– для остаточной концентрации нефтепродуктов:

$$\begin{aligned} Y_1 = & 1,7 + 1,3x_1 + 0,21x_2 - 0,23x_3 - 0,33x_4 - 0,92x_5 - \\ & - 0,68x_1x_3 + 1,26x_2x_3 - 0,5x_3x_4 + 0,28x_1x_4 - 0,8x_2x_4 + \\ & + 0,84x_1^2 + 0,33x_2^2 + 0,3x_3^2 + 0,1x_4^2 + 0,45x_5^2; \end{aligned}$$

– для остаточного содержания ионов хрома Cr⁺⁶:

$$\begin{aligned} Y_2 = & 0,14 + 0,04x_1 + 0,05x_2 - 0,005x_3 - 0,02x_4 + 0,03x_5 + \\ & + 0,08x_1x_3 + 0,02x_2x_3 - 0,02x_3x_4 - 0,02x_1x_4 - 0,02x_2x_4 + \\ & + 0,004x_1^2 + 0,01x_2^2 - 0,02x_3^2 - 0,01x_4^2 + 0,002x_5^2; \end{aligned}$$

– для удельного расхода электроэнергии:

$$\begin{aligned} Y_3 = & 7,96 + 0,39x_1 + 0,59x_2 + 0,41x_3 + 0,34x_4 - 0,15x_5 - \\ & - 1,13x_1x_3 - 0,19x_2x_3 - 1,21x_3x_4 + 0,5x_1x_4 + 0,41x_2x_4 + \\ & + 0,3x_1^2 - 0,07x_2^2 + 0,25x_3^2 + 0,25x_4^2 - 0,19x_5^2; \end{aligned}$$

– для удельного расхода металла:

$$\begin{aligned} Y_4 = & 16,09 + 0,32x_1 + 0,86x_2 + 1,03x_3 + 0,54x_4 + 0,24x_5 - \\ & - 1,0x_1x_3 - 0,58x_2x_3 - 1,75x_3x_4 + 1,27x_1x_4 - 0,32x_2x_4 + \\ & + 0,74x_1^2 + 0,74x_2^2 + 0,69x_3^2 + 0,65x_4^2 + 0,18x_5^2. \end{aligned}$$

Регулировочные диаграммы оптимизации процесса проводились при использовании программного компонента «MathCad» (рис. 1, 2).

Планирование по методу Бокса-Хантера позволило получить математические модели для дальнейшей оптимизации диссоциативно-шагового методом. Результаты получены для двух режимов:

– при варьировании начальной концентрации нефтепродуктов плотность тока 13–32 А/м², время контакта 5–9 мин;

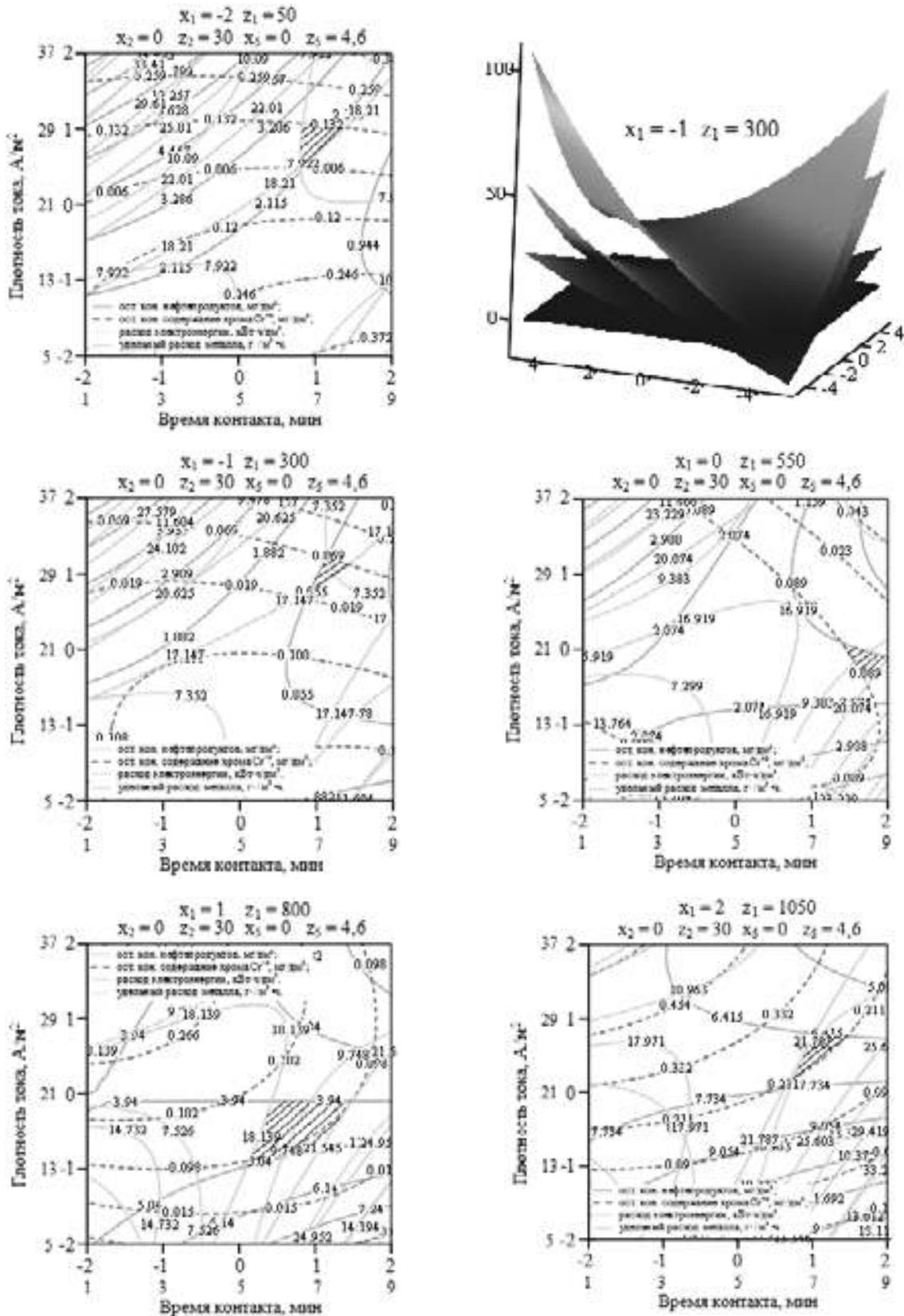


Рис. 1. Регулировочные диаграммы при варьировании начальной концентрации нефтепродуктов

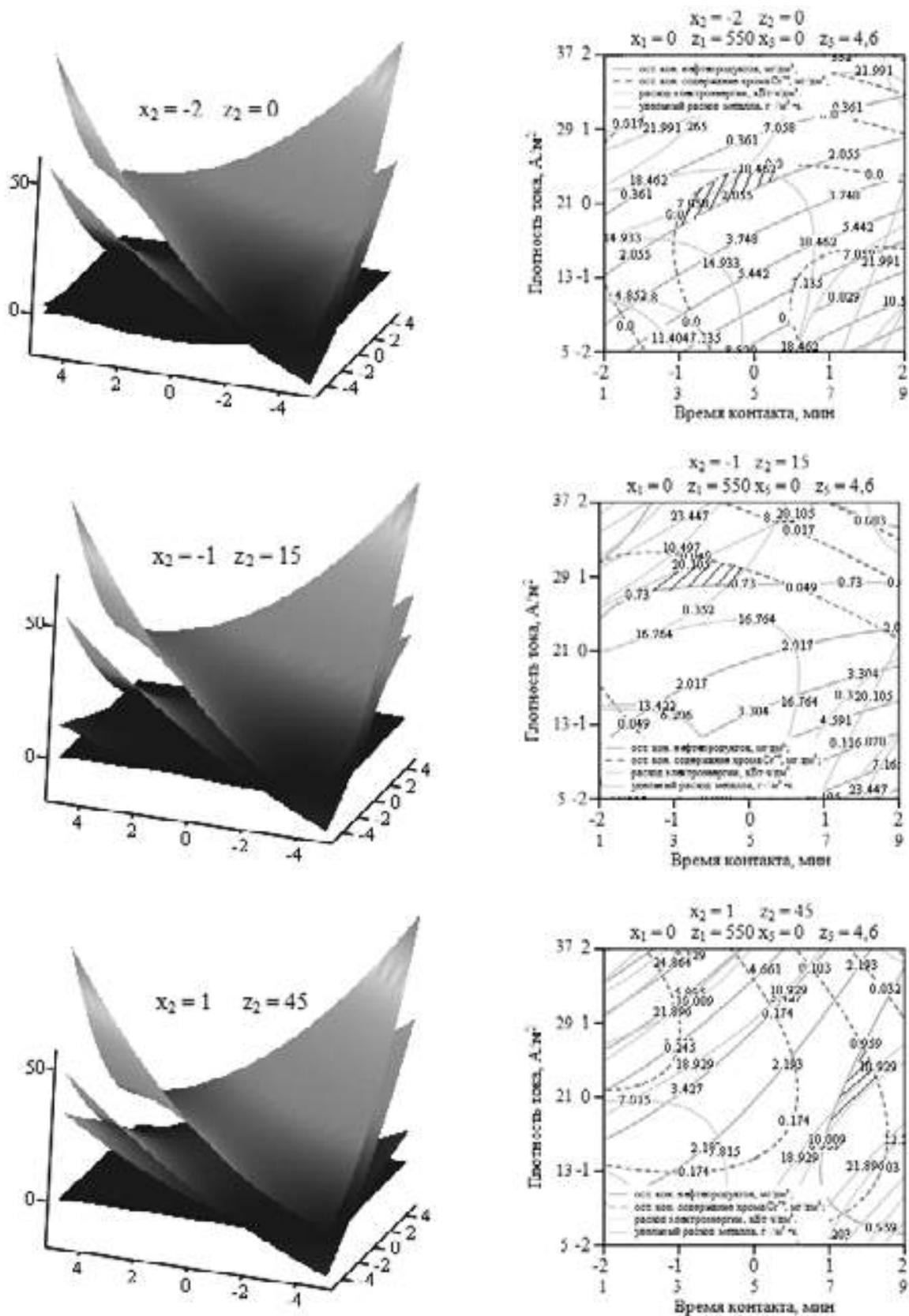


Рис. 2. Регулирующие диаграммы при варьировании начальной концентрации ионов хрома

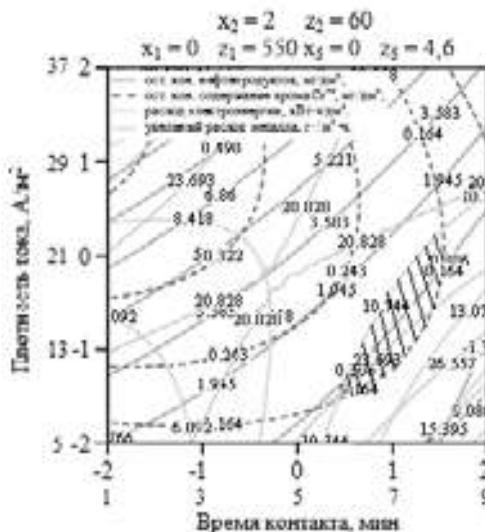
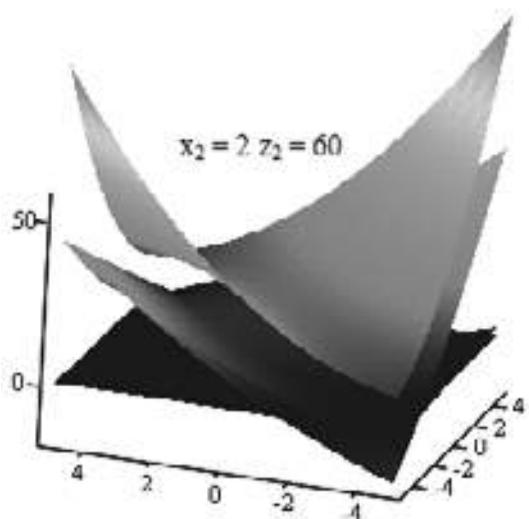


Рис. 2. Окончание

– при варьировании начальной концентрации ионов хрома плотность тока 8–31 А/м², время контакта 2–9 мин.

После электрокоагуляционной обработки жидкость доводилась до значения рН 7,8 при добавлении суспензии известкового молока для последующего отделения осадка. Были определены свойства, состав и структура осадка электрокоагуляционной обработки смеси сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты и ионы шестивалентного хрома. Свойства осадка электрокоагуляционной обработки смеси сточных вод представлены в табл. 2.

Анализ осадка электрокоагуляционной обработки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты и ионы шестивалентного хрома, проводили на приборе

NETZSCH германского производства, марки STA 449 F1 Jupiter, 2007 года выпуска в спектре 30/20,0 (к/мин)/1000 (рис. 3).

Термические кривые показывают пик при $t = 146,4\text{ }^\circ\text{C}$, характерный для дегидратации, термоэффект при $t = 375,0\text{ }^\circ\text{C}$ указывает на наличие гетита, экзоэффект при $t = 782,3\text{ }^\circ\text{C}$ объясняет присутствие в осадке магнетита, эндоэффект при $t = 800,0\text{ }^\circ\text{C}$ связан с разложением карбонатов. Остаточная масса составляет 69,58 %.

Исследование структуры и химического состава осадка рентгенофазовым методом при помощи дифрактометра «Advance D8» фирмы Bruker в $\text{Cu-K}\alpha$ –излучении при использовании рентгеновской картотеки РД F-2 (2007) позволило идентифицировать различные фазы кристаллических веществ в виде порошкообразного образца и в результате получить дифракционную картину с изображением межплоскостных расстояний [10].

Структура и химический состав осадка представлены на дифрактограмме (рис. 4), где четко выявлены интенсивные линии, характерные для гематита $d=3,5$; $d=2,67$; $d=2,4$; $d=1,94$; $d=1,6$, при этом дифракционные максимумы с $d=3,5$; $d=2,67$; $d=2,4$, характерные для гематита, пересекаются с линиями, относящимися к Cr_2O_3 . Линии с $d=2,8$; $d=2,3$; $d=1,8$; $d=1,74$; $d=1,54$; $d=1,49$ характерны для CaCO_3 .

Выводы. Планирование по методу Бокса-Хантера позволило получить математические модели для дальнейшей оптимизации диссоциативно-шаговым методом, результаты получены для двух режимов:

– при варьировании начальной концентрации нефтепродуктов плотность тока 13–32 А/м²; время контакта 5–9 мин;

Таблица 2

Свойства осадка

ρ , г/см ³	W, %	Сухой остаток после просуш., г/дм ³	Прокал., г/дм ³ , при 800 °С	Потери при прокал., г/дм ³ , при 800 °С	Зольность, % при 800 °С	Замасленность, %	Уд. сопротивление фильтра, см/г
0,9897	99,21	7,8	5,3	2,5	68	32	$530 \cdot 10^{10}$

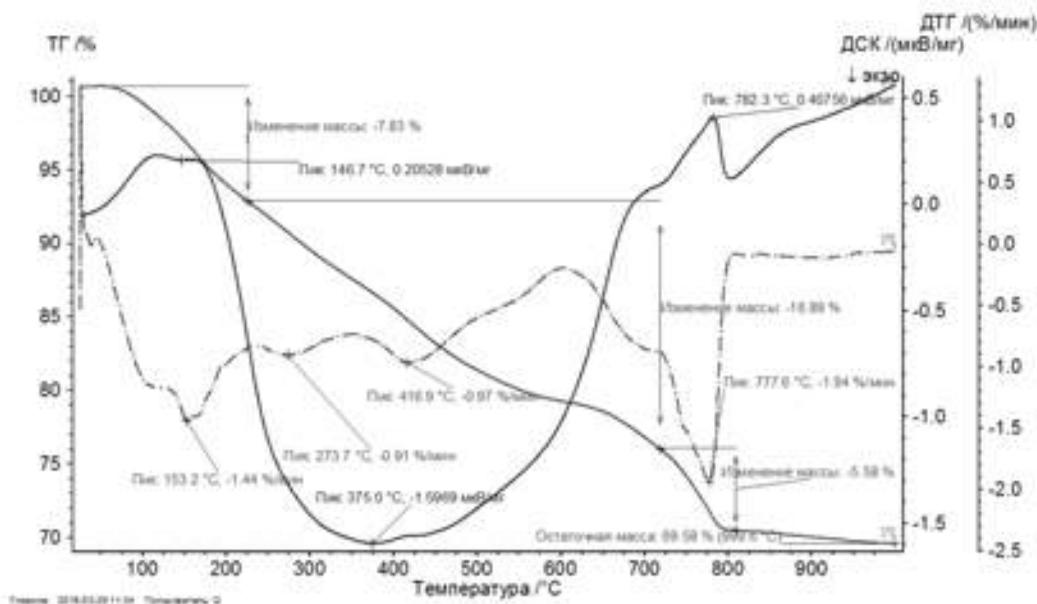


Рис. 3. Термограмма осадка электрокоагуляционной обработки сточных вод, содержащих нефтепродукты и ионы хрома (VI)

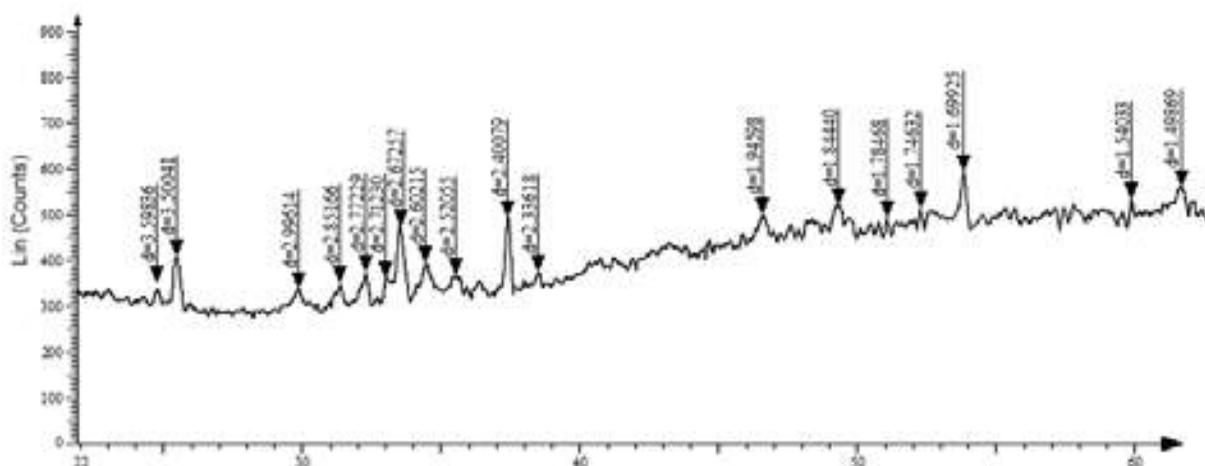


Рис. 4. Диффрактограмма осадка электрокоагуляционной обработки сточных вод, содержащих нефтепродукты и ионы хрома (VI)

– при варьировании начальной концентрации ионов хрома плотность тока $8\text{--}31 \text{ A/m}^2$; время контакта $2\text{--}9$ мин.

Определен химический состав осадка совместного стока термогравиметрическим методом, основанный на изменении массы исследуемых образцов при нагревании в зависимости от температуры на приборе NETZCHSTA 449 F1 в диапазоне $30,0/20,0$ (к/мин)/1000.

Выполнен рентгенофазовый анализ при использовании дифрактометра ADVANCE-D8 фирмы «BrukerAXS» для контроля результатов и более точного определения состава.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руденко Т.М. Разработка эффективной технологии очистки сточных вод, содержащих нефтепродукты: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск: изд-во НГАСУ, 2008.

2. Халтурина Т.И., Козлова С.А., Чурбакова О.В., Третьяков С.Г. Оптимизация технологического процесса электрокоагуляционной обработки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты // Вестник КрасГАУ. 2017 № 5. С. 51–58.

3. Халтурина Т.И., Бобрик А.Г., Чурбакова О.В. Реагентная очистка хромсодержащих сточных вод // Вестник ИрГТУ. 2014. № 6. С. 128–134.

4. Халтурина Т.И., Чурбакова О.В., Бобрик А.Г. К вопросу электрохимического обезвреживания хромсодержащих сточных вод // Вестник ИрГТУ. 2014. № 3(86). С. 103–107.

5. Урецкий Е.А. Ресурсосберегающие технологии в водном хозяйстве промышленных предприятий. Брест, 2007. 396 с.

6. Зубарева М.Н., Филиппова М.И., Дегтев Г.И. Способы очистки сточных вод от соединений хрома (VI) // Экология и промышленность России. 2005. № 2. С. 30–33.

7. Халтурина Т.И., Руденко Т.М., Чурбакова О.В. Исследование технологии электрохимической обработки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты // Изв. вузов. Строительство. 2008. № 8. С. 56–60.

8. Халтурина Т.И., Чурбакова О.В. К вопросу электрокоагуляционной очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты // Вестн. КрасГАУ. 2016. № 5. С. 91–99.

9. Батрак А.П. Планирование и организация эксперимента. Красноярск: Изд-во СФУ. 2010. 60 с.

10. Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. М.: Техносфера, 2004. 384 с.

REFERENCES

1. Rudenko T.M. *Razrabotka effektivnoy tekhnologii ochistki stochnykh vod, sodержashchih nefteprodukty*. Kand, Diss. [Development of effective technology for treatment of wastewater containing petroleum products, Cand. Diss.]. Novosibirsk, NGASU, 2008.

2. Khalturina T.I., Kozlova S.A., Churbakova O.V., Tret'yakov S.G. Optimization of the process of electrocoagulation treatment of waste water containing emulsified petroleum products. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2017, no. 5, pp. 51–58. (in Russian)

3. Khalturina T.I., Bobrick A.G., Churbakova O.V. Reagent treatment of chromium-containing waste water. *Vestnik IrGTU* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2014, no. 6, pp.128–134. (in Russian)

4. Khalturina T.I., Churbakova O.V., Bobrick A.G. K To the question of electrochemical decontamination of chromium-containing waste water. *Vestnik IrGTU* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2014, no. 3(86), pp.103–107. (in Russian)

5. Uretsky E.A. *Resursosberegayushie tekhnologii v vodnom khozyaystve promyshlennyykh predpriyatiy* [Resource-saving technologies in the water economy of industrial enterprises]. Brest, 2007. 396 p.

6. Zubarev M.N., Filip'eva M.I., Degtev G.I. Methods of treatment of waste water from chromium compounds (VI). *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2005, no. 2, pp 30–33. (in Russian)

7. Khalturina T.I., Rudenko T.M., Churbakova O.V. Research of the technology of electrochemical treatment of waste water containing emulsified petroleum products. *Izv. vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 2008, no. 8, pp 56–60. (in Russian)

8. Khalturina T.I., Churbakova O.V. On the issue of electrocoagulation treatment of waste water containing emulsified petroleum products. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2016, no. 5, pp. 91–99. (in Russian)

9. Batrak A.P. Planning and organization of the experiment. Study manual. SFU publishing house, 2010. 60 p.

10. Brandon D., Kaplan W. *Microstruktura materialov. Metody issledovaniya i kontrolya* [Microstructure of materials. Methods of research and control]. Moscow, Technosphere Publ, 2004. 384 p.

Об авторах:

ХАЛТУРИНА Тамара Ивановна

кандидат химических наук, профессор кафедры инженерных систем зданий и сооружений Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79 E-mail: THal1965@yandex.ru

ТРЕТЬЯКОВ Сергей Геннадьевич

аспирант Сибирский федеральный университет Инженерно-строительный институт 660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79 E-mail: ts18@mail.ru

КХАЛТУРИНА Tamara I.

PhD in Chemistry, Professor of the Engineering Systems of Buildings and Structures Chair Siberian Federal University School of Engineering and Construction 660041, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny av., 79 E-mail: THal1965@yandex.ru

TRETYAKOV Sergey G.

Postgraduate Student Siberian Federal University School of Engineering and Construction 660041, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny av., 79 E-mail: ts18@mail.ru

ЧУРБАКОВА Ольга Викторовна

кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной экологии и безопасности жизнедеятельности
Сибирский федеральный университет
Инженерно-строительный институт
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: ochurbacova@mail.ru

CHURBAKOVA Olga V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Environmental Engineering and Life Safety Chair
Siberian Federal University
School of Engineering and Construction
660041, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny av., 79
E-mail: ochurbacova@mail.ru

КОЗЛОВА Светлана Александровна

магистрант
Сибирский федеральный университет
Инженерно-строительный институт
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: svetlanakozlova@mail.ru

KOZLOVA Svetlana A.

Master's Degree Student
Siberian Federal University
School of Engineering and Construction
660041, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny av., 79
E-mail: svetlanakozlova@mail.ru

Для цитирования: Халтурина Т.И., Третьяков С.Г., Чурбакова О.В., Козлова С.А. Электрокоагуляционная обработка совместных маслоэмульсионных и хромсодержащих сточных вод предприятий металлообработки // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 66–73. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.11.

For citation: Khalturina T.I., Tretyakov S.G., Churbakova O.V., Kozlova S.A. Electrocoagulation Treatment of Joint Oil-emulsion and Chrome-containing Wastewater of Metalworking Enterprises. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 66–73. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.11.

Уважаемые читатели!

Центр инженерно-технических разработок СамГТУ (ЦИТР СамГТУ)
приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

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

Руководитель Романчиков Вячеслав Викторович

Контакты:

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



Ю. И. ДОЛАДОВ
М. А. ЗОРИНА
И. В. ХАБУР
Е. Н. БОКАРЕВА
Д. А. ДОДОНОВА

ОСОБЕННОСТИ МОНТАЖА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РЕШЕТЧАТОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПОКРЫТИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЗДАНИЯ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА

INSTALLATION FEATURES OF SPATIAL LATTICE METAL COVERING OF A PRODUCTION BUILDING IN LIMITED SPACE CONDITIONS

Разработан вариант проекта монтажа пространственной конструкции покрытия промышленного здания. Технологической особенностью проекта было наличие стесненных условий производства работ. Техничко-экономический анализ методов сборки-монтажа покрытия с учетом особенностей конструкции покрытия, особенностей строительной площадки и потребностей в грузоподъемных машинах показал эффективность монтажа покрытия крупными блоками, собранными на земле. Монтаж блока с использованием траверсы позволил снизить расчетную высоту подъема крюка и подобрать кран, не отличающийся дороговизной арендной платы. Применить принятую схему монтажа стало возможным при условии разработки индивидуальной конструкции траверсы. Был выполнен расчет и проект самой траверсы, а также расчет укрупненного блока на монтажную ситуацию.

Ключевые слова: складское хозяйство, пространственные решетчатые конструкции, металлические покрытия, укрупнительный блок, строительные краны, грузовысотные характеристики, монтаж

A version of the project for the installation of the spatial structure of the coating of an industrial building was developed. The technological feature of the project was the presence of cramped working conditions. The feasibility study of the methods of assembly and installation of the coating, taking into account the peculiarities of the construction of the coating, the features of the construction site and the needs for lifting machines, showed the effectiveness of the installation of the coating with enlarged blocks assembled on the ground. Mounting the unit using a traverse allowed to reduce the estimated height of the hook and select a crane that does not differ in the high cost of rent. It became possible to apply the adopted installation scheme provided that an individual design of the beam was developed. The calculation and design of the traverse itself was performed, as well as the calculation of the enlarged unit for the installation situation.

Keywords: warehousing facilities, special lattice frames, metal coverings, enlarging block, construction cranes, DEK-50, cargo high-rise characteristics, mounting

При реализации проекта расширения складского хозяйства одного из промышленных предприятий Самарской области сотрудником СамГТУ был выполнен проект металлического каркаса [1]. Металлический каркас был запроектирован в составе колонн, главных балок

и пространственного решетчатого покрытия [2]. Конструктивной особенностью проекта было применение наклонной структурной плиты в покрытии здания. Технологической особенностью проекта было наличие стесненных условий производства работ и монтаж покрытия круп-

норазмерными блоками. Стесненные условия производства строительно-монтажных работ обусловлены двумя причинами. Первая – новое здание примыкает к уже существующему цеху. Поэтому подход техники с одной стороны нового здания невозможен. Вторая – фундамент нового здания представляет собой железобетонную чашу с возвышением сплошных бетонных стен на высоту более 4 м от пола (рис. 1, 2). Поэтому свободное перемещение грузов внутрь здания было затруднено. Габаритные размеры здания составляют 83,6×30×14,4 м (В×L×Н).

Известны несколько технологий сборки-монтажа структурных покрытий зданий [3–9] – поэлементная сборка на монтажной отметке; сборка на земле и монтаж конструкции целиком; монтаж укрупненными блоками, собранными на земле. Техничко-экономический анализ методов сборки-монтажа покрытия с учетом особенностей конструкции покрытия, особенностей строительной площадки и потребностей в грузоподъемных машинах позволил отдать предпочтение последнему варианту (рис. 3). Монтаж укрупненными блоками пред-

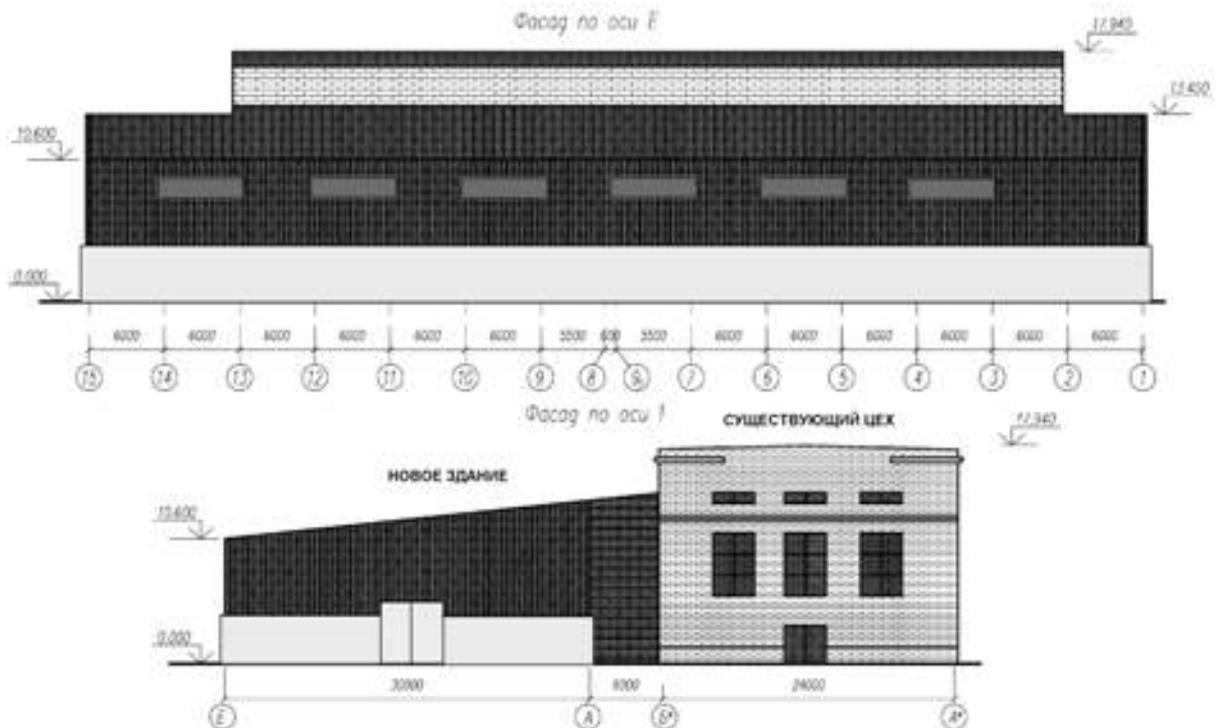


Рис. 1. Общий вид здания

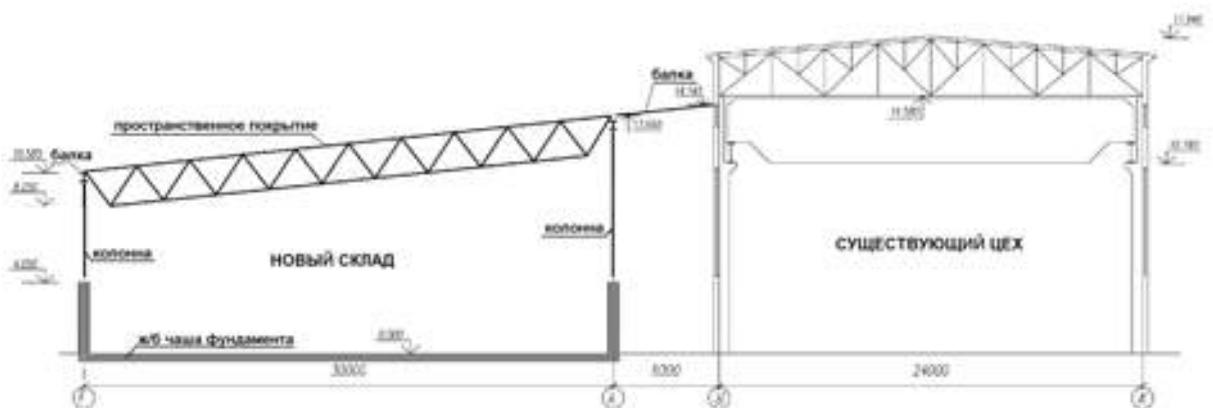


Рис. 2. Поперечный разрез

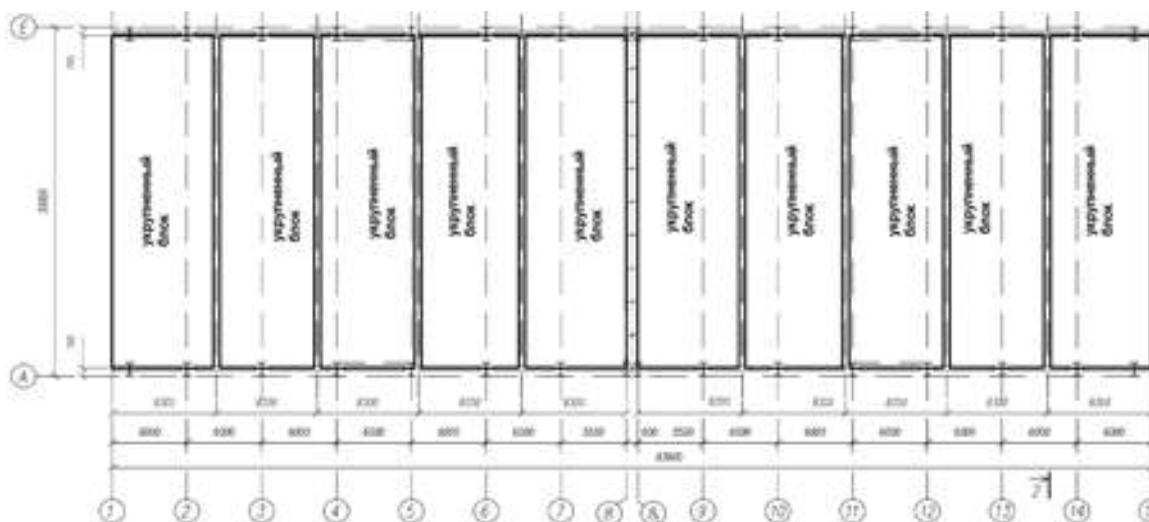


Рис. 3. План деления покрытия на укрупненные блоки

полагает их предварительную сборку на специально подготовленных сборочных площадках, подъем краном и установку на монтажную отметку с последующим закреплением. Для сборки блоков предусмотрели площадки вдоль строящегося здания со свободной стороны. Укрупненные блоки обладают несомненным достоинством, позволяющим осуществить их монтаж без применения стабилизирующих устройств и приспособлений, – это их самодостаточная жесткость во всех пространственных направлениях. У блоков есть недостатки, затрудняющие их монтаж, – большие габариты и относительно большой вес. Размеры блока $30 \times 8,3 \times 2,069$ м ($L \times B \times h$), вес блока 8,6 т (рис. 4).

Так как каждый укрупненный блок перекрывает большую площадь, то их количество в покрытии здания невелико. Монтаж покрытия, состоящего из небольшого количества монтажных элементов, должен удовлетворять условию скоростного монтажа. Из этих сообра-

жений авторами было предложено вести монтаж кранами либо на пневматическом, либо на гусеничном ходу. Были проработаны две схемы строповки блоков – четырехветвевым стропом с крюка крана; четырьмя одноветвевыми стропами со специально изготовленной траверсы.

Монтаж по схеме «без траверсы» имеет следующие особенности: большая длина ветви строп (более 15 м); высокая отметка подъема крюка (из-за большой длины строп и наличия высокой стены фундаментной чаши). Анализ показал, что для принятых условий ведения работ требуется кран с почти уникальными характеристиками и высокой арендной стоимостью.

Монтаж блока с использованием траверсы (рис. 5) позволил снизить высоту подъема и подобрать кран с «обычными» характеристиками, не отличающимися большой дороговизной арендной платы. Применить принятую схему монтажа блоков можно при условии разработки индивидуальной конструкции траверсы. Был выполнен расчет и проект самой траверсы, а также расчет укрупненного блока на монтажную ситуацию. В результате разработана траверса с размерами 10950×1530 мм, представляющая собой прямоугольную раму из прокатного двутавра 45Б1, усиленную в углах раскосами из равнополочного уголка 75×5 . Расчетный вес траверсы составил 1,7 т.

Была выполнена проверка прочности-устойчивости системы траверса-блок на действие монтажных нагрузок в программном комплексе, работающем на основе МКЭ [10]. Проверка по первой группе предельных состояний показала, что несущая способность наиболее напряженного элемента укрупненного блока используется не более чем на 54 %. Схема строповки укрупненного блока с расположением всех инвентарных звеньев представлена на рис. 5.

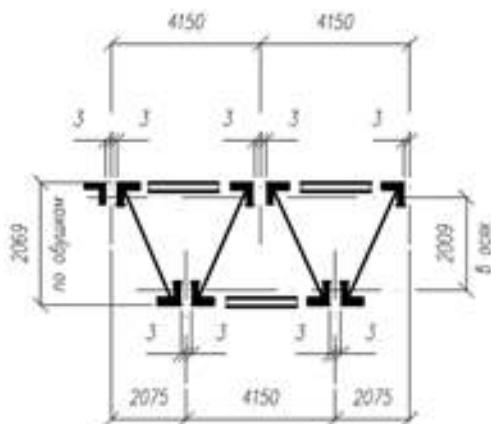


Рис. 4. Разрез по укрупненному блоку

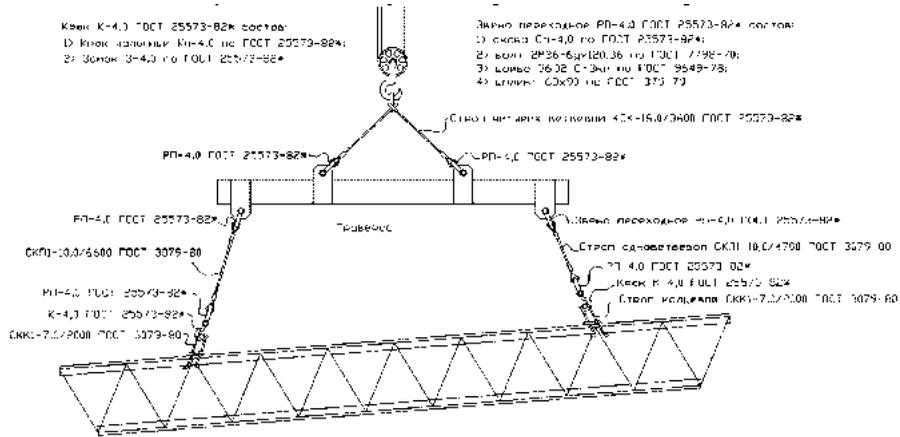


Рис. 5. Схема строповки

Перед монтажом блоков покрытия проектом предусмотрено: установить в проектное положение все колонны здания; выверить и закрепить основные несущие колонны каркаса и стойки фахверка; смонтировать положение опорных балок; установить балки перекрытия межцохового пространства; выставить вертикальные и горизонтальные связи жесткости между колоннами; выполнить систему монтажных связей, систему временных оттяжек, необходимых для обеспечения общей устойчивости каркаса на время монтажа покрытия.

Для подбора монтажного крана были проанализированы характеристики ряда автомобиль-

ных и гусеничных кранов [11–18]. После детального анализа с учетом грузовысотных характеристик и стоимости аренды был выбран кран ДЭК-50.

Монтируемый блок вместе с траверсой весит 10,3 т. Кран ДЭК-50 имеет такую грузоподъемность на вылете стрелы в 17 м. Данный параметр является исходным для принятия решения о привязке крана в плане на строительной площадке. С помощью этого параметра определены места стоянки крана. Линия проходки крана установлена на расстоянии 10,22 м от ряда Е (рис. 6). После монтажа очередного блока кран передвигается на следующую стоянку. Шаг передвижки крана принят равным ширине монти-

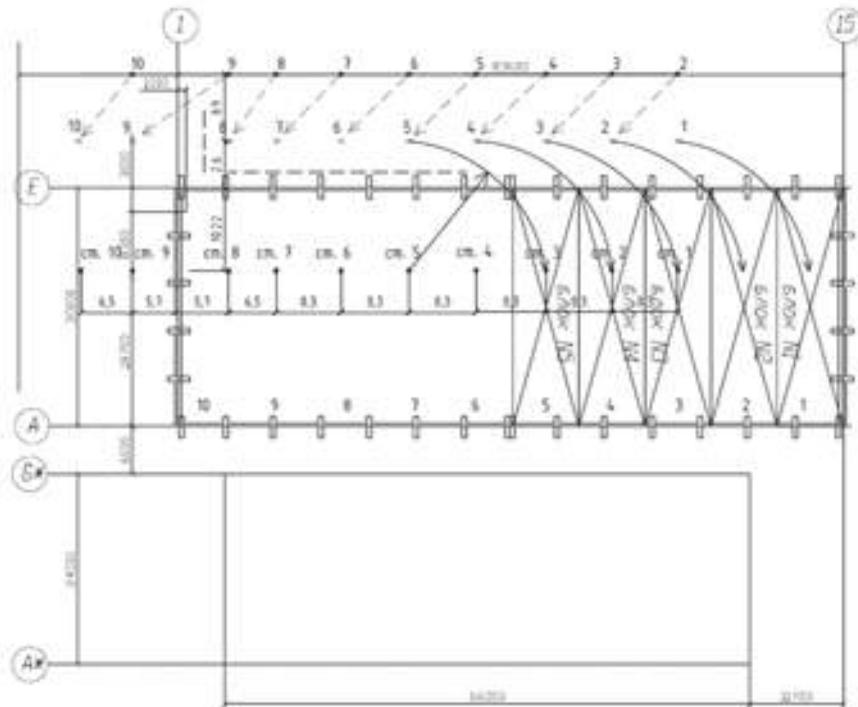


Рис. 6. Схема перемещения блоков на укрупнительно-сборочных площадках

руемого блока, кроме стоянок для монтажа трех последних блоков. Здесь шаг меняется из-за помех от конструкций стены по оси 1.

Сборку блоков предусмотрено вести на площадках, расположенных напротив каждой стоянки, перпендикулярно проходке крана (рис. 6–8). Причем краном ведут сборку сразу двух блоков – ближнего до монтажной готовности, а дальнего до величины грузоподъемности крана на сложившемся по условиям работы

вылете стрелы крана. После монтажа ближнего блока (рис. 7–9), дальний блок перемещают краном в полосу монтажа ближних блоков со смещением вперед на ширину блока.

Перестановку последних трех блоков выполняют с учетом расстояний под намеченные стоянки крана. Общая схема перемещений блоков на укрупнительно-сборочных площадках и на монтаже в проектное положение показана на рис. 9.

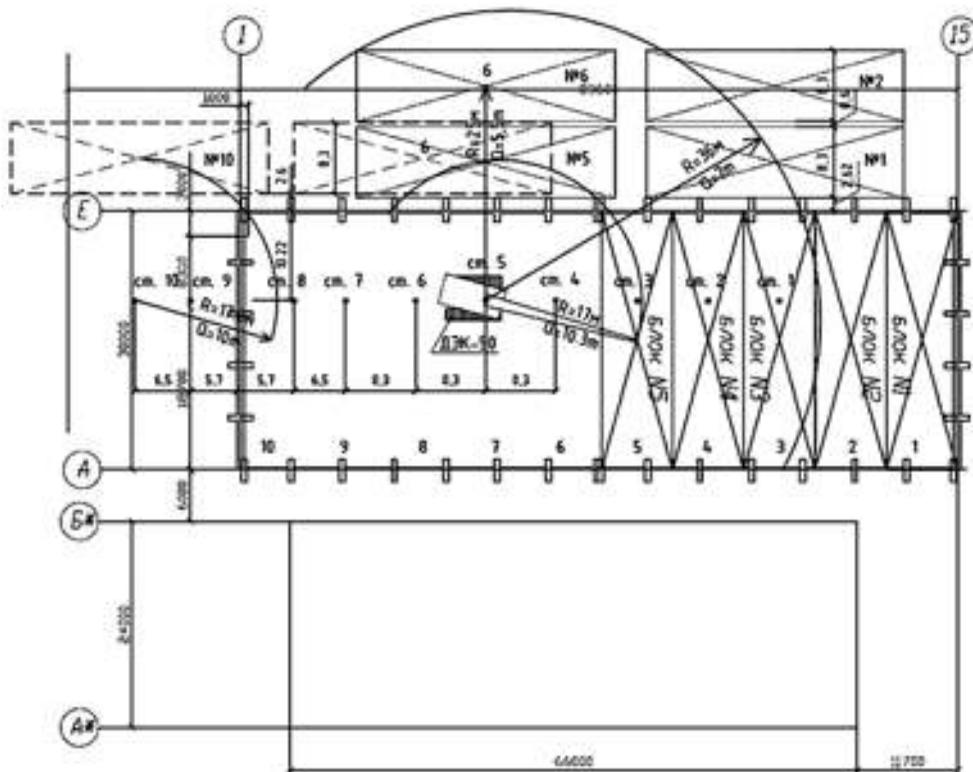


Рис. 7. Схема организации работ по монтажу блоков покрытия

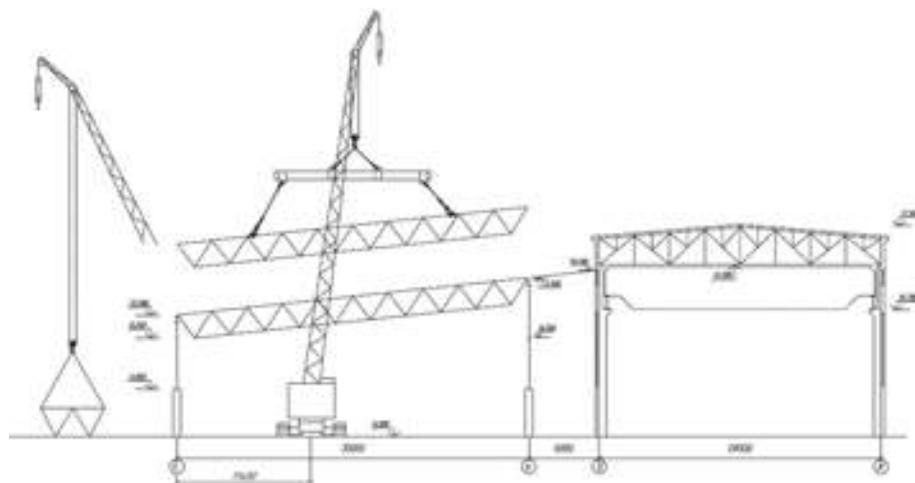


Рис. 8. Схема монтажа блока. Поперечный разрез

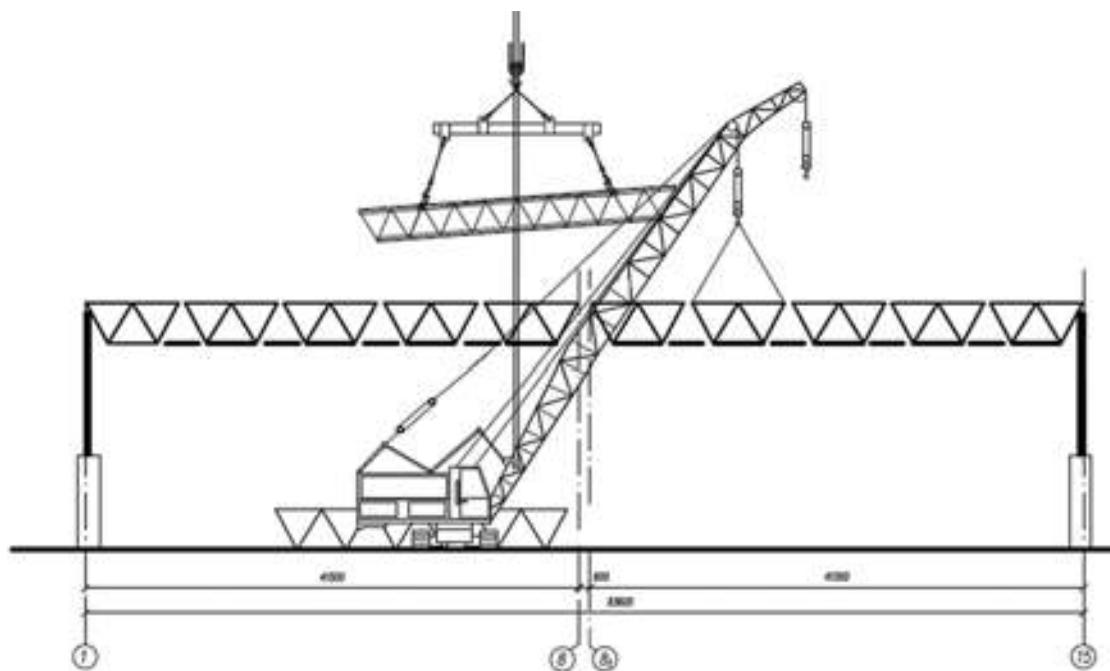


Рис. 9. Схема монтажа блока. Продольный разрез

Выводы. Разработанный проект реализован. Монтаж покрытия выполнен менее чем за месяц. Монтаж блока с использованием траверсы позволил снизить расчетную высоту подъема крюка и подобрать кран, не отличающийся дороговизной арендной платы. Применить принятую схему монтажа стало возможным при условии разработки индивидуальной конструкции траверсы. Был выполнен расчет и проект самой траверсы, а также расчет укрупненного блока на монтажную ситуацию. Стоимость монтажа составила менее 100 тыс. руб.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аллатов В.Ю., Соловьёв А.В. Опытное-экспериментальное проектирование пространственной решетчатой металлической конструкции покрытия промышленного здания // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 4. С. 4–8.
2. Аллатов В.Ю., Соловьёв А.В. Результаты обследования несущих конструкций холодного склада ООО «РЕСАЛ» // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика: материалы 64-й Всероссийской научно-технической конференции по итогам НИР / СамГАСА. Самара, 2007. С. 477–478.
3. Все технологии возведения зданий [Электронный ресурс]. <http://detalprostroy.org.ru/index.php/2010-07-20-10-52-05/54-2010-07-20-16-51-06>. (дата обращения: 21.03.2019).
4. Образовательный портал «все лекции» [Электронный ресурс]. <http://vse-lekcii.ru/mosty-i-tonneli/stroitelstvo-gorodskih-mostovyh-sooruzhenij/montazhkranami-bolshoj-gruzopodemnosti>. (дата обращения: 21.03.2019).
5. Телитченко В.И., Терентьев О.М., Липидус А.А. Технология возведения зданий и сооружений. М.: Высшая школа, 2004. 446 с.
6. Ищенко И.И. Монтаж стальных и железобетонных конструкций. М.: Высшая школа, 1991. 287 с.
7. Викторова О.Л., Петрянина Л.Н., Зворыгина С.В., Матиева Ю.А. Конструкции покрытий залых помещений. Пенза: ПГУАС, 2013. 60 с.
8. Гилязидинова Н.В. и др. Технологические процессы в строительстве. Кемерово: КузГТУ, 2016. 114 с.
9. Тужилкина П.В. Анализ методов монтажа металлических конструкций покрытия // IX Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Россия молодая» / КузГТУ. Кемерово, 2017. С. 1–5.
10. Аллатов В.Ю., Холопов И.С. Использование различных САПР при моделировании работы узлового соединения пространственной решетчатой конструкции // Современные проблемы совершенствования и развития металлических, деревянных, пластмассовых конструкций в строительстве и на транспорте: сборник научных трудов международной научно-технической конференции / СамГАСА. Самара, 2002. С. 186–192.
11. Доладов Ю.И. Краны для возведения зданий и сооружений / СГАСУ. Самара, 2007. 108 с.
12. Курнев А.Д. Строительные краны и грузоподъемные механизмы: справочник. М.: Феникс, 2013. 666 с.

13. Строительные краны /В. П. Станевский, В. Г. Моисеенко, Н. П. Колесник, В. В. Кожушко; под общ. ред. канд. техн. наук В.П. Станевского. Киев: Будивельник, 1984. 240 с.

14. Гусеничный кран МКГ-100 [Электронный ресурс]. <http://www.techstory.ru/kran/krantech/mkg100.htm>. (дата обращения: 21.03.2019).

15. Гусеничный кран ДЭК-50 [Электронный ресурс]. http://zinref.ru/000_uchebniki/02700krani/004_00_00_tehnicheskie_harakteristiki_kranov/057.htm. (дата обращения: 21.03.2019).

16. Изотов В.С., Имайкин Д.Г. Строительные машины. Ч. 2. Строительные краны. Казань: КГАСУ, 2011. 104 с.

17. Курнев А.Д. Строительные краны и грузоподъемные механизмы. М.: Феникс, 2013. 240 с.

18. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Монтаж строительных конструкций промышленного здания. Казань: КГАСУ, 2012. 80 с.

REFERENCES

1. Alpatov V. Yu., Solovyov A.V. Experimental design of a spatial lattice metal structure for covering an industrial building. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban planning and architecture], 2017, no. 4. pp. 4–8. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.1

2. Alpatov V. Yu., Soloviev A.V. Results of the survey of bearing structures of the cold warehouse of LLC "RESAL" Current problems in construction and architecture. *Aktual'nye problemy v stroitel'stve i arhitekture. Obrazovanie. Nauka. Praktika: materialy 64-j Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii po itogam NIR* [Prac. Materials of the 64th All-Russian Scientific and Technical Conference on the Results of Research]. Samara, 2007, pp. 477–478. (in Russian)

3. All technologies of building construction. Available at: <http://detalprostroy.org.ru/index.php/2010-07-20-10-52-05/54-2010-07-20-16-51-06> (accessed 21 march 2019).

4. Educational portal "all lectures". Available at: <http://vse-lekcii.ru/mosty-i-tonneli/stroitelstvo-gorodskih-mostovyh-sooruzhenij/montazhkranami-bolshoj-gruzopodemnosti> (accessed 21 march 2019).

5. Telitchenko V.I., Terentyev O.M., Lapidus A.A. *Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy i sooruzhenij* [Technology of construction of buildings and structures]. Moscow, Higher School Publ., 2004. 446 p.

6. Ishchenko I.I. *Montazh stal'nyh i zhelezobetonnyh konstrukcij* [Installation of steel and reinforced concrete structures]. Moscow, Higher School Publ., 1991. 287 p.

7. Viktorova O.L., Petrynina L.N., Zvorygina S.V., Mathieva Yu.A. *Konstrukcii pokrytij zal'nyh pomeshchenij* [Structures of pavements coatings]. Penza, PGUAS Publ., 2013. 60 p.

8. Gilyazidinov N.V. et al. *Tekhnologicheskie processy v stroitel'stve* [Technological processes in construction]. Kemerovo, KuzGTU Publ., 2016. 114 p.

9. Tuzhilkin P.V. Analysis of Methods of Installation of Metal Structures of Coating. IX *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenykh «Rossiya molodaya»* [IX All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists "Russia Young"] Kemerovo, 2017, pp. 1–5. (in Russian)

10. Alpatov V. Yu., Holopov I.S. Use of various CAD in modeling the work of the node connection of the spatial lattice structure. *Sovremennye problemy sovershenstvovaniya i razvitiya metallicheskih, derevyannyh, plastmassovyh konstrukcij v stroitel'stve i na transporte: sbornik nauchnyh trudov mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii* [Modern problems of improvement and development of metal, wooden, plastic structures in construction and transport: collection of scientific works of the international scientific and technical conference]. Samara, 2002, pp. 186–192. (in Russian).

11. Doladov Yu.I. *Krany dlya vozvedeniya zdaniy i sooruzhenij* [Cranes for the construction of buildings and structures]. Samara, SGASU Publ., 2007. 108 p.

12. Kirnev A.D. *Stroitel'nye krany i gruzopod'emnye mekhanizmy: spravochnik* [Construction cranes and lifting mechanisms: reference book]. Moscow, Phoenix Publ., 2013. 666 p.

13. Stanevsky B.P., Moiseenko V.G., Kolesnik N.P., Kozhushko V.V. *Stroitel'nye krany* [Construction cranes]. Kiev, Budivelnik, 1984. 240 p.

14. Track crane MKG-100. Available at: <http://www.techstory.ru/kran/krantech/mkg100.htm>. (accessed 21 march 2019).

15. Track crane DEK-50 Available at: http://zinref.ru/000_uchebniki/02700krani/004_00_00_tehnicheskie_harakteristiki_kranov/057.htm. (accessed 21 march 2019).

16. Izotov V.S., Imaykin D.G. *Stroitel'nye mashiny. CH. 2. Stroitel'nye krany* [Construction machines. Part 2. Construction cranes]. Kazan, KGASU Publ., 2011. 104 p.

17. Kirnev A.D. *Stroitel'nye krany i gruzopod'emnye mekhanizmy* [Construction cranes and lifting mechanisms]. Moscow, Phoenix Publ., 2013. 240 p.

18. Izotov V.S., Ibragimov R.A. *Montazh stroitel'nyh konstrukcij promyshlennogo zdaniya* [Installation of building structures of industrial building]. Kazan, KGASU Publ., 2012. 80 ps.

Об авторах:

ДОЛАДОВ Юрий Иванович

доцент кафедры технологии и организации
строительного производства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: doladovv@gmail.com

ЗОРИНА Марина Александровна

преподаватель кафедры технологии и организации
строительного производства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: zorina1804@mail.ru

ХАБУР Ирина Владимировна

старший преподаватель кафедры технологии
и организации строительного производства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: habur.irina@yandex.ru

БОКАРЕВА Екатерина Николаевна

магистрант кафедры технологии и организации
строительного производства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

ДОДОНОВА Дарья Александровна

магистрант кафедры технологии и организации
строительного производства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

DOLADOV Yury I.

Associate Professor of the Technology and Organization
of Construction Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: doladovv@gmail.com

ZORINA Marina A.

Lecturer of the Technology and Organization of
Construction Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: zorina1804@mail.ru

KHABUR Irina V.

Senior Lecturer of the Technology and Organization of
Construction Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: habur.irina@yandex.ru

BOKAREVA Ekaterina N.

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

DODONOVA Daria A.

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

Для цитирования: Доладов Ю.И., Зорина М.А., Хабур И.В., Бокарева Е.Н., Додонова Д.А. Особенности монтажа пространственного решетчатого металлического покрытия производственного здания в условиях ограниченного пространства // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 74–81. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.12.

For citation: Doladov Yu.I., Zorina M.A., Khabur I.V., Bokareva E.N., Dodonova D.A. Installation Features of Spatial Lattice Metal Covering of a Production Building in Limited Space Conditions. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 74–81. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.12.

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



УДК 72

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.13

Д. В. КАРЕЛИН
Ю. Э. ЧМИР

АРХИТЕКТОНИКА РАСТЕНИЙ В АСПЕКТЕ ФОРМИРОВАНИЯ ПРИРОДОПОДОБНЫХ ОБЪЕКТОВ

ARCHITECTONICS OF PLANTS IN ASPECT OF FORMATION OF NATURE-LIKE OBJECTS

Большой интерес современного научного общества к архитектурной бионике обусловлен значительной практической направленностью этой науки, изучающей принципы построения и функционирования биологических систем, прежде всего с целью создания новых бионических объектов, характеристики которых были бы столь же совершенными и высокоэффективными, как в живых системах. Архитектурно-бионическая практика породила необычные формы, целесообразные в функционально-утилитарном отношении. Архитектурной бионике может многое предложить семейство злаков, несущее в себе свойство упругости и устойчивости к изгибу и разрушению. В структуре статьи раскрывается понятие устойчивой архитектуры. За основу исследования берётся бионический объект, отображённый в виде стебля пшеницы, свойства которого позволяют пшенице претерпевать атмосферные воздействия при именуемой нагрузке колосом, который в значительной степени превышает собственный вес соломины. Рассматриваются свойства упругости стебля пшеницы через модуль Юнга (E), обеспечивающий устойчивость к полеганию. В экспериментальной части приводится объяснение механической прочности стебля пшеницы, характерной для большинства злаков, за счёт высоты, диаметра стебля, их соотношения, толщины стенок соломины, развития механических тканей. В качестве примера преимущественных свойств стебля пшеницы приводятся расчёты относительного объёма с использованием стандартных материалов при возведении зданий и сооружений.

Ключевые слова: бионика, устойчивость, архитектоника растений, стебель пшеницы, модуль упругости, устойчивая архитектура

The great interest of modern scientific society in architectural bionics is due to the significant practical orientation of this science, which studies the principles of construction and functioning of biological systems, primarily with the aim of creating new bionic objects whose characteristics would be as perfect and highly effective as in living systems. Architectural-bionic practice gave rise to unusual forms, suitable in a functional and utilitarian sense. The architectural bionics family can offer a lot of cereals, which have the property of elasticity and resistance to bending and fracture with a few materials. In wheat, as in a number of other grain crops, the strength of the stem is determined by a set of features of the anatomical structure. The structure of the article reveals the concept of sustainable architecture, referring to antiquity. The basis of the study is a bionic object displayed in the form of a stalk of wheat, the properties of which allow wheat to undergo atmospheric influences under the existing load of ears, which greatly exceeds the own weight of the straw. The properties of the elasticity of the stem of the wheat are examined through the Young's modulus (E), which provides resistance to lodging. In the experimental part, an explanation is given of the mechanical strength of the wheat stalk, characteristic of most cereals, due to: height, diameter of the stem, their ratio, the thickness of the walls of the straw, the development of mechanical tissues. For an illustrative example, the predominant properties of the stalk of wheat, the calculations of the relative volume using standard materials in the construction industry of uplifting buildings and structures are given.

Keywords: bionics, resistance, plant architectonics, wheat stalk, modulus of elasticity

Основной целью изучения архитектурной бионики является уменьшение номенклатуры материалов и энергии, необходимой для их производства, при этом создаваемый объект использует прогрессивные конструктивные возможности зданий и сооружений. Примером легких конструкций и одновременно способных воспринимать значительные усилия в архитектурной бионике выступает природа, служащая источником рациональных и утилитарных решений для технического прогресса. Природоподобные здания и сооружения обуславливаются не только формой, заимствованной из природы, но и учитываются тектонические особенности и закономерности [1].

В строительной бионике легкие конструкции, взятые по аналогии из природы, служат вдохновением для технических решений. Подобно тому, как Эйфелева башня была построена с использованием принципов полых трубок (как и некоторые кости в организме человека), биологические структуры могут служить моделями для разработки новых строительных материалов и конструкций. Например, стебель злаков (соломина) несет в себе большую прочность за счет взаимных расположений прочных и мягких тканей, способность которых заключается в восприятии знакопеременных нагрузок. Большую роль играет в стебле злаков веретенообразная форма и расположенные на них узлы, представляющие собой встроенные упругие шарнирные демпферы. При активных атмосферных осадках возможность вырвать дерево с корневой системой более вероятна, чем стебель злаков.

Цель и постановка задачи исследования

Изучить параметры прочности и устойчивости растений при эквивалентных нагрузках в аспекте адаптации таких параметров, как уменьшение веса зданий и сооружений за счет оптимизации геометрических размеров сечения конструкций. Определить оптимальные пропорции путем обоснования напряженно-деформируемого состояния. Выявить структуры в природе, используя не только внешние сходства, но и конструктивные особенности бионических объектов с внедрением в архитектурную бионику. Определить опоры стоечного типа в структуре растений семейства злаков, вычислить пропорции, влияющие на сохранение упругости и устойчивости в существующих в природе бионических объектах.

Устойчивость в архитектурном проектировании

Устойчивость в архитектуре – способность сохранять и передавать последующим поко-

лениям характерные стилистические черты, отражающие те или иные философские, религиозные и художественные представления, выраженные в объемно-пространственной композиции, декоре, конструкциях зданий и сооружений [2].

Древняя архитектура была более устойчивой, так как использовались локальные и многообразные ресурсы. Люди привыкли строить жилища таким способом, который не позволял тратить слишком много энергии и материалов.

Устойчивость в архитектуре – это результат рефлексии, которую еще нужно достичь знаниями, полученными благодаря процессам, происходящим в природе [3].

Упругость

Природа создаёт различные материалы и конструкции самыми разнообразными способами. Интересно понять взаимосвязь между структурой и свойствами биологических материалов для разработки и развития искусственно полученных материалов и конструкций. Встает вопрос об основах природных аналогов, которые имеют более высокую производительность, чем существующие.

Идея о том, что здания будущего могут быть вдохновлены знаниями и пониманием структуры и функционирования растений, может помочь многим научным исследованиям – от ботаники до архитектуры.

Важным приспособлением растений к обитанию в наземной среде явилось развитие у них комплекса тканей и анатомических структур, обеспечивающих прочность их осевых и боковых органов, устойчивость к механическим нагрузкам. Обратим, например, внимание на такую часто используемую в быту культуру, как пшеница – семейство злаки, род травянистых, в основном однолетних, которая занимает ведущее место как важнейшая продовольственная зерновая культура во многих странах. Прочность, упругость и устойчивость стебля к полеганию являются обязательным критерием качества сорта пшеницы [4].

Упругость описывается с помощью модуля Юнга (E), который связывает нормальное напряжение и относительное удлинение материала при его деформации. Коэффициент описывает значение упругости материала и не зависит от геометрических особенностей стебля пшеницы (рис. 1).

Экспериментальные исследования

В исследованиях, посвященных продуктивности пшеницы, часто подвергаются экспериментам мягкие сорта. Это обуславливается тем, что твердые сорта пшеницы требуют континентального

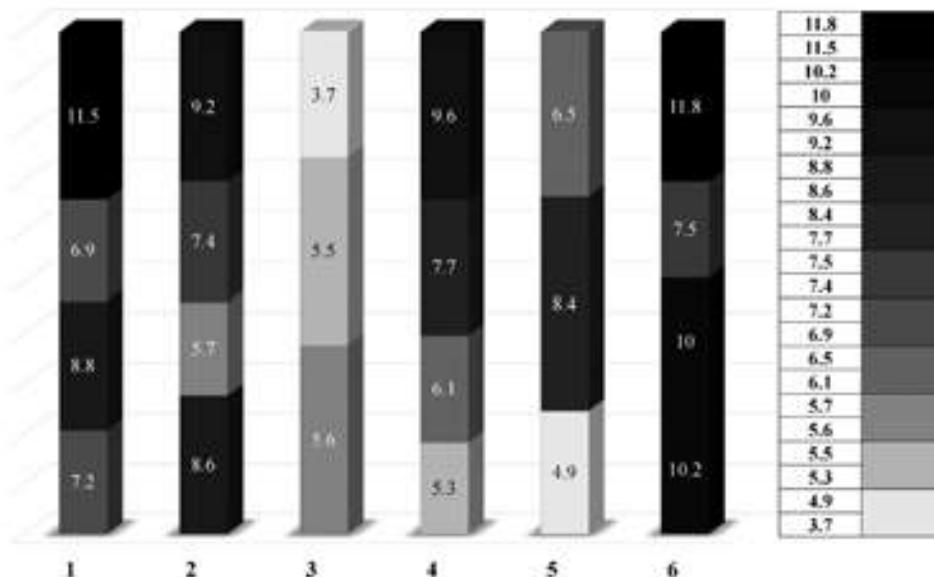


Рис. 1. Значение модуля упругости (E) стебля у видов пшеницы в период уборки (ГПа)*.

Виды пшеницы: 1 – T.monococcum; 2 – T.timopheevii; 3 – T.durum 'Augusto'; 4 – T.spelta; 5 – T.aestivum 'Pavon'; 6 – T.zhukovskiy. Шкала модуля упругости (E) *(Лазаревич С.В. Упругие свойства стебля пшеницы // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. 1997. № 4. С. 55 (табл. 5)

климата, чистых неистощенных почв и по урожайности, как правило, уступают мягким сортам.

Для анализа нами были взяты данные из опубликованных статей, непосредственно посвященных продуктивности стебля сортов мягкой пшеницы в процессе селекции. Это позволило произвести расчеты для дальнейшего анализа бионических объектов с применением часто используемых строительных материалов в соответствующей отрасли, при имитации наложения различных строительных материалов на условно взятую форму подколосового междоузлия стебля пшеницы.

Прочность стебля и устойчивость к полеганию являются обязательными критериями качества сорта пшеницы [5], и во многом данные показатели зависят от типа поперечного сечения. Стебель представляет собой соломину цилиндрической формы, она может быть полая у мягкой пшеницы или заполненная рыхлой паренхимной тканью под колосом у твердой пшеницы.

Стебель пшеницы обладает соотношением объема элемента и веса. Сам стебель мягкой яровой пшеницы представлен полой в междоузлиях соломиной, имеющей метамерное строение. Каждый метамер включает в себя узел, междоузлие, лист и пазушную почку [6] (рис. 2). Под микроскопом показано объяснение механической прочности стебля пшеницы (рис. 3).

Междоузлие на поперечном срезе имеет следующий вид, характерный для большинства злаков. Снаружи стебель покрыт тонкой эпидермой, самой прочной тканью, под которой расположена первичная кора. Она сильно редуцирована и представлена островками хлоренхимы с проводящими пучками первичной коры. Глубже расположено кольцо склеренхимы, составляющей основную часть механической ткани, и усиливается изнутри давлением других тканей, придающим прочность стеблю. Далее расположена основная ткань – паренхима, в самой сердцевине которой у мягкой пшеницы имеется полость – медуллярная лакуна.

Внутренняя стенка стебля построена в виде градиентов, размер ячеек и толщина стенки ячейки изменяются постепенно и сливаются в друг с другом, что способствует прочности стебля. Именно поэтому внутренняя стенка стебля построена в виде градиентов, в которых различные свойства, размер таких ячеек и толщина стенки ячейки изменяются постепенно и сливаются в жидкость друг с другом, что делает композиционный материал более устойчивым и упругим (см. рис. 3).

Рассмотрим поперечное сечение стебля пшеницы под микроскопом и тем самым аргументируем механические свойства прочности семейства злаки. Наружный слой твердой, лиг-

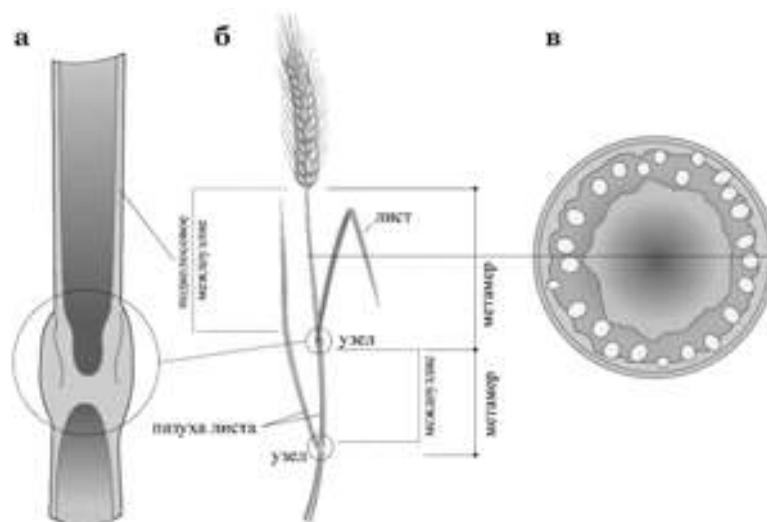


Рис. 2. Строение стебля пшеницы:
 б – колос пшеницы; а – продольный срез;
 в – поперечное сечение колосоносного междоузлия

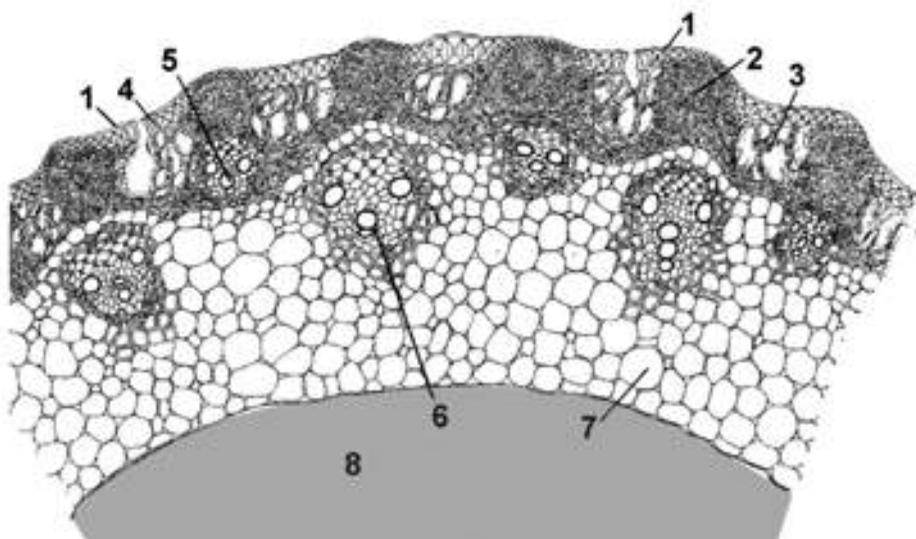


Рис. 3. Микроскопическое изображение (увеличение на 100 см) поперечного сечения стебля пшеницы:

- 1 – эпидермис; 2 – хлоренхима; 3 – островки хлоренхимы; 4 – склеренхима (механическая ткань); 5 – проводящие пучки первичной коры;
- 6 – проводящие пучки паренхимы; 7 – паренхима (основная ткань); 8 – медуллярная лакуна (полость)

нифицированной (древесной) ткани, называемой склеренхимой, усиливается изнутри давлением других тканей, таких как сосудистая ткань и паренхима (см. рис. 3). Вся структура образует цилиндр с самой сильной тканью снаружи. Но у растения есть еще один дополнительный участок, воспринимающий усилия: за внешней стенкой стебля находится волокнистый композитный материал. Лигнифицированные волокна внедряются в более мягкие внутренние ткани, образуя материал, сопоставимый по структуре с железобетоном, – композитный ма-

териал, изготовленный из бетонной матрицы, покрытой стальными подкреплениями [7].

Толщина соломины, ее анатомическое строение (толщина стенок соломины и склеренхимного кольца, количество проводящих пучков) определяют устойчивость пшеницы против полегания. Наличие небольших периферических проводящих пучков, обслуживающих хлоренхиму, крупных пучков в паренхиме стебля, кольца склеренхимы перициклического происхождения обеспечивает высокую устойчивость стебля против постоянно возникающих осевых

нагрузок. Упругие свойства стебля усиливаются также благодаря ритмическому чередованию крупных и малых пучков и наличию у крупных пучков склеренхимы обкладок, хорошо развитых со стороны ксилемы и флоэмы [3].

Стебель по длине разделен на 5–6 участков узлами в виде кольцеобразных утолщений. Участки стебля между узлами называются междоузлиями. Первым нижним междоузлем принято называть промежуток между двумя коль-

цеобразными утолщениями, расположенными над узлом кущения. Длина его неодинакова: в зависимости от сорта и условий выращивания она может колебаться от 2 до 15 см. Длина второго и последующих междоузлий при нормальных условиях роста превышает длину первого. Наиболее длинное у растений последнее колососное междоузлие. Подколосовое междоузлие является оптимальным параметром для характеристики целостного растения (табл. 1).

Таблица 1

Соотношение высоты колоса к высоте верхнего междоузлия

Сорт	Высота пшеницы*, м	Длина колососного междоузлия, м	Отношение длины колососного междоузлия к высоте растения, %
Симбирцит, стандарт	0.659	0.322	48.86191199
Йолдыз	0.671	0.311	46.34873323
Иделле	0.64	0.302	47.18750000
Хаят	0.647	0.253	39.10355487
К-43/04-1	0.674	0.29	43.02670623
Л-48/04-2	0.714	0.325	45.51820728
О-192/03-5	0.774	0.328	42.37726098
Среднее значение	0.682714286	0.304428571	44.63198208

*Признаки продуктивности новых сортов и перспективных линий яровой мягкой пшеницы селекции Татарского НИИСХ / Василова Н.З., Асхадуллин Д. Ф., Асхадуллин Д. Ф., Багавиева Э. З., Тазутдинова М. Р., Хусаинова И.И., Насихова Г.Р. Казань, 2016.

Для начала нами был подсчитан процент длины подколосового междоузлия от высоты всего растения. Затем найдено среднее значение полученных процентов различных сортов мягкой яровой пшеницы для дальнейших вычислений.

Нам не известен вес подколосового междоузлия, так как исследователи, занимающиеся улучшением агрокультур в процессе селекции, придают огромное значение лишь анатомической структуре стебля мягкой яровой пшеницы, включая высоту, массу зерна и количество получившегося зерна главного колоса. Но исходя из известных показателей, относящихся к рассматриваемой агрокультуре, мы можем получить необходимые данные для анализа (табл. 2).

В свою очередь мы знаем, что отношение массы зерна к массе соломы должно соответствовать не менее 1:1,2 и не более 1:0,5.

Среднее значение площади сечения пустотелого стебля мягкой яровой пшеницы (рис. 4, табл. 4) можно определить по формуле

$$S = S_2 - S_1 = \frac{\pi d_2^2}{4} - \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{\pi(d_2^2 - d_1^2)}{4} \quad (1)$$

Таблица 2

Масса зерен в колосе пшеницы

Сорт	Масса зерна в колосе*, кг
Диамант	0.0014
Лютесценс 62	0.0014
Артемовка	0.0020
Краснозерновая	0.0015
Московская 35	0.0018
Симбирка	0.0018
Энита	0.0019
Иволга	0.0024
Лада	0.0017
Биора	0.0023
Среднее значение	0.0018

* Хоссин Дждеид, Пыльнев В.В., Рубец В.С. Изменение анатомической структуры стебля мягкой яровой пшеницы в процессе селекции в центральном районе нечерноземья // Известия ТСХА. 2005. Вып. 4 (табл. 2).

Таблица 3

Соотношение массы зерна в колосе к массе колосоносного
междоузлия соломины пшеницы

Соотношение	Масса зерна колоса, кг	Масса соломы в соотношении с массой зерна колоса, кг	Масса колосоносного междоузлия соломины, кг
Не более 1:0,5	0.00182	0.00091	0.000406151037

Таблица 4

Площадь сечения поперечного среза середины
колосоносного междоузлия стебля пшеницы

Сорт	d_1 , м (диаметр соломины)*	d_2 , м (диаметр медуллярной лакуны)	Площадь сечения пустотелого стебля
Диамант	0.00256	0.00193	0.000002220530
Лютесценс 62	0.0024	0.00175	0.000002117538
Артемовка	0.00271	0.00197	0.000002718612
Краснозерновая	0.00257	0.00183	0.000002555960
Московская 35	0.00254	0.00182	0.000002464272
Симбирка	0.00251	0.00182	0.000002345345
Энита	0.0025	0.00172	0.000002583906
Иволга	0.0027	0.00187	0.000002977584
Лада	0.00233	0.00158	0.000002302013
Биора	0.00261	0.00180	0.000002804099
Среднее			0.000002508986

* Хоссин Джейд, Пыльнев В.В., Рубец В.С. Изменение анатомической структуры стебля мягкой яровой пшеницы в процессе селекции в центральном районе нечерноземья // Известия ТСХА. 2005. Вып. 4 (табл. 3)

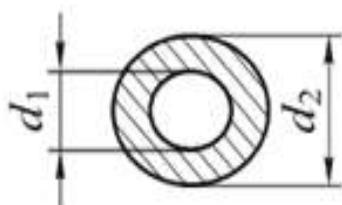


Рис. 4. Схема площади сечения
для пустотелого стебля пшеницы

Приведем сводную таблицу используемых стандартных материалов в строительстве и материалов, относящихся к колосоносному междоузлию стебля пшеницы (табл. 5). В первом столбце перечислены исследуемые материалы; во втором – фактический вес исследуемого материала, содержащегося в 1 м³; в третьем – вес исследуемого материала, содержащегося в условно взятой форме колосоносного междоузлия стебля пшеницы (табл. 6).

Приведенные расчеты (табл. 7) показывают, что в процентном соотношении взятого условного объема и массы материалов больший процент у пшеницы, чем у исследуемых материалов, активно используемых при возведении зданий и сооружений.

Проанализировав анатомическое строение стебля пшеницы и обозначив основные особенности формообразующего – размеры и строение стебля, можно сделать вывод, что имеют значение такие признаки, как высота, диаметр стебля, их соотношение, толщина стенок соломины, развитие механических тканей. Влияние всех этих признаков тесно переплетается, и значение каждого признака выявляется лишь при равенстве других показателей. В связи с этим в некоторых исследованиях не обнаруживалось четкой связи между полегаетостью, высотой и диаметром стебля. Нетрудно понять, что высокий, но толстый стебель с прочными стенками может оказаться устойчивее короткого, но не прочного стебля.

Таблица 5

Вес при одном килограмме и при полученном условном объеме используемого материала

Материал	Вес содержащегося материала, кг	
	в 1 м ³	в полученном V, м ³
Растительная конструкция (пшеница)	1.276189684	0.000406151037
Бетонная конструкция	2376	0.001814805
Деревянная конструкция (ель сухая)	450	0.000343713
Металлическая конструкция (сталь легированная)	7850	0.005995884

Таблица 6

Поэтому необходимо учитывать весь комплекс анатомо-морфологических признаков стеблей пшеницы, главнейшими из которых, как указывают В.Ф. Дорофеев и В.И. Пономарев, следует считать высоту стебля и отношение его высоты к диаметру.

Архитектоника растений

В книге «Архитектоника растений» В.Ф. Раздорский посвящает пункт одной из глав пропорциям размеров осевых органов растений и вводит такое понятие, как показатель «стройности». Данный показатель обуславливается отношением высоты растений к диаметру основания стеблей. Также автор акцентирует внимание на классической «стройности» низкорослых стеблей растений.

Например, стебель–колонна–балка с пропорциями размеров, как у соломы ржи (рис. 5, а), способен без нарушения прочности и даже не переходя за предел упругости выдерживать весьма сильное искривление продольной оси – очень значительный и относительный прогиб – тогда как стебель из того же материала, но с более «громоздкими» пропорциями (как, например, на рис. 5, б) уже при незначительном относительном прогибе претерпел бы излом. Совершенно очевидно также, что при ветре данной «силы» из стеблей, построенных из одинакового материала, стебель более громоздкой конструкции (рис. 5, в) дал бы прогиб со стрелой прогиба, значительно меньшей по отношению к длине, нежели прогиб стебля конструкции менее громоздкой [8].

Как и башня, стебель пшеницы должен оставаться вертикальным, несмотря на ветер и погоду, при использовании минимальных материалов. Конструктивное решение в каждом случае одно и то же: нижняя структура является полый и трубчатой, а не твердой, сохраняя большую часть прочности без большой массы.

Аддитивные технологии

Обратимся к первичным прообразам стебля пшеницы – железобетонные полые

Сводная таблица условного объема формообразующего объекта стебля пшеницы

L соломины	0.304428571	м
S сечения соломины	0.0000025089856000	м ²
V	0.0000007638	м ³

Таблица 7

Процентное соотношение, зависящее от условного объема части стебля пшеницы и веса используемого материала для данного условного объема

Материал	%
Растительная конструкция (пшеница)	0.1880598183
Бетонная конструкция	0.0420875421
Деревянная конструкция (ель сухая)	0.2222222222
Металлическая конструкция (сталь легированная)	0.0127388535

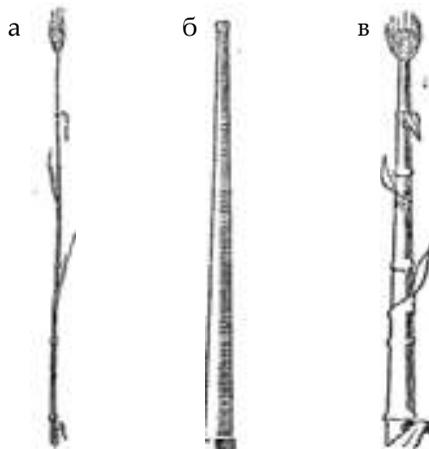


Рис. 5. Схематическая иллюстрация закона Галилея–Барба–Кика:

а, б – пропорции размеров соломины ржи с колосом и дымовой трубы высотой 140 м; в – пропорции размеров воображаемой соломины, которая при высоте в 140 м смогла бы находиться в устойчивом упругом равновесии при отвесном положении [8]

элементы цилиндрической формы (трубы), являющиеся инженерными сооружениями. Данные конструктивные элементы применяются в организации ливневых стоков, для отвода бытовых и промышленных стоков, устройства водоотведения через автодороги; сборки магистралей для транспортировки жидкости.

Нужно сказать, что соломина далеко превосходит любые инженерные сооружения по величине отношения высота/диаметр. У пшеницы это отношение достигает 300–400 и более, тогда как у заводских труб оно не превышает 20–25 [9] (табл. 8).

Таблица 8*

Процентное соотношение, зависящее от условного объема части стебля пшеницы и веса железобетона для данного условного объема

Вид материала	%
Пшеница	78.3582576052
Железобетон	0.0375000000

* Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Серия 3.501.1–144 «Трубы водопропускные круглые железобетонные сборные для железных и автомобильных дорог».

Расчеты железобетонных материалов, применяемых для условной формы верхнего междоузлия, не дают приближенных результатов соотношения объема и веса элемента.

Выводы. Одним из направлений архитектурной бионики является растительный мир, который включает в себя устойчивость объемно-пространственной конструкции, принципы и методы организации форм при проектировании, строительстве зданий и сооружений.

Два неотъемлемых фактора – устойчивость и упругость, влияющих на конструктивные особенности, объединены в стебле пшеницы семейства злаки. Результативные сравнения приведенных величин, указанные в табл. 7, подтверждают дальнейшую актуальность исследования, что способствует детальному изучению формирования тканей, структуры, физических свойств, конструктивных особенностей и семейства злаки с целью воплощения полученных знаний в архитектуре. Стебель пшеницы при удивительно малом количестве материала обладает большой прочностью на изгиб и выдерживает потоки ветров и атмосферных осадков, что является ярким примером обеспечения максимальной прочности наиболее рациональным путем.

Основные принципы возведения зданий и сооружений, положенные в основу архитектурной бионики, обуславливаются обеспе-

чением оптимальной надежности – преимущественной формы при экономии энергии и материалов, что уже заложено природой в «живых» системах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сапрыкина Н.А. Основы динамического формообразования в архитектуре. М.: Архитектура - С, 2005. 312 с.
2. Лейзерова А.В. К пониманию устойчивости в архитектуре // Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург, 2017. № 03(57). Ч. 2. 155 с.
3. Альберто Т. Эстевес: Устойчивость: настоящее и будущее (архитектура и города) [Электронный ресурс] / Т. Афонина // BERLOGOS. 2016. Режим доступа: <http://www.berlogos.ru/interview/ustojchivost-nastoyashee-i-budushee-arhitektura-i-goroda/>.
4. Дорофеев В.Ф., Пономарев В.И. Проблема полягания пшеницы и пути её решения» / ВНИИТЭИСХ МСХ СССР. М., 1970. 124 с.
5. Лазаревич С.В. Упругие свойства стебля пшеницы // Известия Академии аграрных наук Республики Беларусь. 1997. № 4. С. 53–57.
6. Хоссин Дждеид, Пыльнев В.В., Рубец В.С. Изменение анатомической структуры стебля мягкой яровой пшеницы в процессе селекции в центральном районе нечерноземья // Известия ТСХА. 2005. Вып. 4. С. 53–58.
7. Bionic structures: from stalks to skyscrapers», Biology, Engineering, Physics // UNDERSTAND , vol. 12 I Issue 40: Summer 2017 I Science in School.
8. Раздорский В.Ф. Архитектоника растений. М.: Советская наука, 1955. 150 с.
9. Типовые конструкции, изделия и узлы зданий и сооружений. Серия 3.501.1–144 «Трубы водопропускные круглые железобетонные сборные для железных и автомобильных дорог».
10. Zahedinia S. The role of Bionic architecture in achieving sustain-ability (Case study: Mashhad metropolitan) / S. Zahedinia // International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol. 7, Issue 11, November-2016. Pp. 211–217.
11. Siddaiah A. Advances in Bio-inspired Tribology for Engineering Applications / A. Siddaiah, P. L. Menezes // J Bio Tribol Corros - Springer 2016. Pp. 2:23. DOI 10.1007/s40735-016-0053-0.
12. Феодосьев В.И. Соппротивление материалов. 17-е изд., испр. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 542 с.: ил.
13. Yin J., Yang W. Review of the research on “structural bionic” method of large sculpture // IOP Publishing Conf. Series: Materials Science and Engineering 242 (2017) 012083 DOI:10.1088/1757-899X/242/1/012083.
14. Дорофеев В.Ф., Пономарев В.И. Проблема полягания пшеницы и пути её решения / ВНИИТЭИСХ МСХ СССР. М., 1970. 124 с.

15. Sun J, Dai Z. Bionics today and tomorrow. *Acta Biophysica Sinica*, 2007, 32(2): 109–115.

REFERENCES

- Saprykina N.A. *Osnovy dinamicheskogo formoobrazovaniya v arkhitekture* [The basics of dynamic shaping in architecture]. Moscow, Arkhitektura – S Publ., 2005. 312 p.
- Leyzerova A.V. To understanding sustainability in architecture *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal], 2017, no. 03 (57), pp. 150–151. (in Russian)
- Alberto T. Estevez: Sustainability: present and future (architecture and cities) BERLOGOS (2016). Available at: <http://www.berlogos.ru/interview/ustojchivost-nastoyashee-i-budushee-arkhitektura-i-goroda/> (accessed 23 march 2016).
- Dorofeyev V.F., Ponomarev V.I. *Problema polevaniya pshenitsy i puti ee resheniya* [The problem of lodging wheat and ways to solve it]. Moscow, VNIITEISKH MSKh SSSR Publ., 1970. 124 p.
- Lazarevich S.V. Elastic properties of the stem of wheat. *Izvestiya Akademii agrarnykh nauk Respubliki Belarus* [News of the Academy of Agricultural Sciences of the Republic of Belarus], 1997, no.4, pp. 53–57. (in Russian)
- Khossin Dzhheid. Pylnev V.V., Rubets V.S. Changes in the anatomical structure of the stem of soft spring wheat during selection in the central region of the non-black soil. *Izvestiya TSKhA* [News TSHA], 2005, vol. 4, p. 53–59. (in Russian)
- Bionic structures: from stalks to skyscrapers. [Biology, Engineering, Physics UNDERSTAND], 2017 Vol. 12 I. 40.
- Razdorskiy V. F. *Arkhitektonika rasteniy* [Plant architectonics]. Moscow, Sovetskaya nauka Publ., 1955. 431 p.
- Culverts, round reinforced concrete prefabricated pipes for railways and highways. *Tipovyye konstruksii. izdeliya i uzly zdaniy i sooruzheniy* [Typical constructions, products and units of buildings and structures], Series 3.501.1–144.
- Zahedinia S. The role of Bionic architecture in achieving sustainability (Case study: Mashhad metropolitan). *Mezhdunarodnyy zhurnal nauchnykh i inzhenernykh issledovaniy* [International Journal of Scientific & Engineering Research], 2016, Vol. 7, I. 11, p. 211–217. (in English)
- Siddaiah A. Menezes P. L. Advances in Bio-inspired Tribology for Engineering Applications. *Zhurnal Bio Tribo Korros* [Journal Bio Tribo Corros], 2016, pp. 2:23. (in English) DOI 10.1007 / s40735–016–0053–0
- Feodosyev V.I. *Soprotivleniye materialov* [Strength of materials]. Moscow, Publishing House MSTU. N.E. Bauman Publ., 2018. 542 p.
- Yin J., Yang W. Review of the research on “structural bionic” method of large sculpture. [IOP Publishing Conf. Series: Materials Science and Engineering], 2017 vol. 242. (in English) DOI: 10.1088 / 1757–899X / 242/1/012083
- Sun J, Dai Z. Bionics today and tomorrow. [*Acta Biophysica Sinica*], 2007, vol. 32 (2), pp. 109–115. (in English)

Об авторах:

КАРЕЛИН Дмитрий Викторович

кандидат архитектуры, доцент, заведующий кафедрой градостроительства и городского хозяйства Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
Институт архитектуры и градостроительства
630008, г. Новосибирск, ул. Белинского, 151
E-mail: ggxsibir@mail.ru

ЧМИР Юлия Эдуардовна

аспирант, ассистент кафедры градостроительства и городского хозяйства
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет,
Институт архитектуры и градостроительства
630008, г. Новосибирск, ул. Белинского, 151
E-mail: yuliya.chmir.95@mail.ru

KARELIN Dmitry V.

PhD in Architecture, Associate Professor, Head of the Urban Planning and Management Chair
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering
Institute of Architecture and Urban Planning
630008, Novosibirsk, Belinskogo str., 151
E-mail: ggxsibir@mail.ru

CHMIR Yulia E.

Postgraduate Student, Assistant of the Urban Planning and Management Chair
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering
Institute of Architecture and Urban Planning
630008, Novosibirsk, Belinskogo str., 151
E-mail: yuliya.chmir.95@mail.ru

Для цитирования: Карелин Д.В., Чмир Ю.Э. Архитектоника растений в аспекте формирования природоподобных объектов // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 82–90. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.13.
For citation: Karelin D.V., Chmir Yu.E. Architectonics of Plants in Aspect of Formation of Nature-Like Objects. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 82–90. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.13.

Н. А. КОСЕНКОВА
Д. В. ЛИТВИНОВ
Е. В. КОСЕНКОВА

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ИСТОРИЧЕСКИ СЛОЖИВШИХСЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ДОМИНАНТ

**RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE HISTORICALLY
 FORMED URBAN PLANNING DOMINANTS**

Рассматривается градостроительная история г. Самары и особенности формирования его планировочной структуры. Выявляются основные исторические периоды в истории развития города. Рассматриваются особенности структуры дорегулярного, регулярного города, исследуются основные исторические площади. Проводится анализ роли городских площадей в современной Самаре. На основе определения термина архитектурная доминанта приводятся несколько основных классификаций архитектурных доминант, выявляются исторические доминанты Самары. Подробно рассматривается роль основных архитектурных доминант в формировании городской среды исторической и современной и трансформация этой роли с ростом и развитием города. Выявлено влияние более поздней застройки на исторические доминанты города.

Ключевые слова: город, градостроительство, архитектурные доминанты, структура города, регулярная планировка

Градостроительная история городе Самара охватывает период более чем 400 лет. Периодизацию истории города можно проследить по периодам (1 – древнейший, 2 – период первых государственных образований, 3 – период русской колонизации XVI - XVII вв., 4 – период укрепления русской государственности XVIII в., 5 – период капитализации экономики, которая является временем формирования архитектурно-исторической среды Самарского Поволжья в целом XIX – начало XX вв., 6 – советский период [1] 1917–1980 гг. От первых двух периодов сохранилось очень мало, в основном письменные свидетельства. Это связано с тем, что постройки, относящиеся к ранним этапам истории города Самары, были деревянными и впоследствии сгорели. Большинство сохранившихся памятников архитектуры и градостроительства относится к 5 периоду – вторая половина XIX – начало XX в.

Самара начала своё существование в XVI столетии в качестве пограничной крепости на востоке Российского государства и в 1851 г., получила

The urban planning history of Samara and the features of the formation of its planning structure are considered. The main historical periods in the history of the development of the city are revealed. The structural features of the pre-regular, regular city are considered, the main historical areas are investigated. The role of urban squares in modern Samara is analyzed. Based on the definition of the term architectural dominant, several main classifications of architectural dominants are given, and Samara's historical dominants are identified. The role of the main architectural dominants in the formation of the urban environment, historical and modern, and the transformation of this role with the growth and development of the city are examined in detail. The influence of later development on the historical dominants of the city is revealed.

Keywords: city, urban planning, architectural dominants, city structure, regular planning

статус губернского города [2]. С этого времени началось интенсивное развитие Самары.

Границы города передвигались и изменялись в соответствии с территориальным и планировочным развитием города на разных исторических этапах. В 1782 г. для Самары был разработан первый регулярный план, и с начала XIX в. город начал развиваться в регулярной планировочной системе (рис. 1).

В настоящее время полностью сохранилась планировочная структура регулярного города. От дорегулярного города до нашего времени дошли лишь небольшие участки, свидетельствующие о направлении некоторых улиц старого города.

В продольном направлении города существовала только одна полноценная улица, так называемая Большая. Её длинное направление сохранилось по ул. Водников и на участке между улицами Ленинградской и Венцека. Неправильная форма старейшей из городских площадей Хлебной площади (ранее Полицейской) также частично обусловлена размещением вблизи нее крепостных укреплений [3, 4].

Система улиц регулярного города развивалась согласно планам 1782 и 1804 гг. в двух направлениях: вдоль реки Волги под небольшим углом к ее береговой линии и в перпендикулярном направлении к продольным улицам, по которым обеспечивались выходы из города к рекам Волге и Самаре. При дальнейшем развитии города в соответствии с планом 1852 г. в районе ул. Ульяновской (бывшей Симбирской) произошел перелом сетки улиц. Улицы Ульяновская и Яроморочная, пересекаясь под острым углом, обозначили поворот всех продольных улиц параллельно берегу Волги, меняющей направление в этом месте.

Существенным элементом в планировочной структуре регулярного города были площади. Значительные по размерам (13 га – Соборная пл., Ильинская, Петропавловская – около 7 га) открытые пространства вносили разнообразие в монотонную систему улиц. Восемь площадей (элементов), различных по времени формирования, конфигурации, размерам и функциональному значению, равномерно располагались по всей территории города, чаще всего на пересечении наиболее важных улиц в выгодных ландшафтных условиях. Неправильная форма площадей обусловлена сохранившимися на них направлениями улиц дорегулярного города.

Характерной особенностью большинства площадей была постройка церкви в центре площади независимо от её функционального назначения. Со строительством Кафедрального собора большое значение приобрела Соборная площадь города, ставшая по своим размерам и назначению с 80-х гг. XIX в. главной культовой площадью города, ее духовным центром.

Площади, центром которых был храм, получали название в соответствии с посвящением церкви тому или иному святому: Петропавловская (бывшая Сенная), Ильинская (Острожная), Троицкая и др. Прием центрального размещения церкви на площади особенно широко использовался во второй половине XIX в.

В настоящее время в районе исторической застройки из всех площадей, выполнявших роль планировочных и пространственных акцентов, сохранившихся полностью не существует. Наиболее соответствует прежнему облику пл. Революции (Алексеевская), близки к прежним параметрам площади Хлебная (Полицейская пл.), Самарская (Воскресенская), пл. Куйбышева (Соборная). Все площади, имевшие церкви, утратили их. Сохранившаяся Петропавловская церковь находится в недопустимом окружении для культового здания. Часть площадей, получивших уже в советский период новое функциональное, ландшафтное

и архитектурное решение, вошли в состав новых архитектурных ансамблей (пл. Куйбышева, Самарская пл.).

Одним из важнейших компонентов, определяющих своеобразие композиции исторических городов и их эстетическую ценность, являются архитектурные доминанты. Они представляют собой высотные акценты, качественно отличающиеся от рядовой застройки своими параметрами и высокими художественными характеристиками [5]. Это могут быть архитектурные ансамбли или отдельные здания. Архитектурным доминантам принадлежит основная роль в формировании силуэта города и его панорам. В особенности это касается городов, расположенных на берегах крупных рек и водоемов. Высотные акценты замыкают перспективы улиц, придают своеобразие и композиционную целостность городским площадям, а также вносят в рядовую застройку улиц остроту и разнообразие [6, 7].

Как правило, в исторических городах существует целая система архитектурных доминант, находящихся в определенной иерархической зависимости. От пропорционального соотношения массовой застройки и вертикалей различаются главные и второстепенные доминанты. Соотношение высот рядовой застройки с второстепенными доминантами соответственно 1:2, 1:3, может достигать 1:4.

В прошлые века такими акцентами прежде всего являлись культовые здания (рис. 2). Часто роль городских доминант выполняли, водонапорные и часовенные башни, пожарная каланча.

По размещению в структуре города все церкви можно сгруппировать следующим образом:

а) расположенные на главных улицах: Успенская, Вознесенская, Иверский женский монастырь, церковь Мариинского детского приюта, Казанская единоверческая кирха и костел;

б) на городских площадях: Кафедральный собор, церкви Ильинская, Петропавловская, Воскресенская, Троицкая, Казанско-Богородицкая, Спасо-Преображенская, Смоленская;

в) на территориях городских кладбищ: Всевысвятская и Покровская (последняя позже оказалась на территории городского сада);

г) на периферийных улицах и территориях: еврейская синагога, татарская мечеть, церкви За-самарской слободы и Запанского поселка, церковь св. Пантелеймона при земской больнице, комплекс Николаевского мужского монастыря;

д) ряд церквей, ранее находившихся в пригородах Самары за пределами регулярного города и в связи с удаленностью от него не оказавших влияния на объемно-пространственную композицию исторического района города и на его восприятие с рек Волги и Самары.

Также можно классифицировать городские доминанты по композиционному значению [8]:

а) доминанты, активно повлиявшие на формирование силуэта города и его панорам со стороны Волги и Самары: все церкви и монастыри, расположенные на водоразделе и на волжском и самарском склонах;

б) главные доминанты города, превышающие остальные по высоте, сложности силуэта: кафедральный собор с колокольной высотой 89 м, колокольня Иверского женского монастыря высотой 70 м, колокольня Казанской единоверческой церкви высотой 40 м, католический костел и лютеранская кирха, обогатившие силуэт города своими шпильобразными формами;

в) доминанты, являющиеся центрами композиции городских площадей, такие как Петропавловская, Ильинская, Воскресенская, Кафедральный собор;

г) колокольни некоторых церквей, завершающие перспективы городских улиц (Петропавловской, Покровской, Всесвятской, Ильинской, Иверского женского монастыря и др.);

д) часть сравнительно небольших церквей с невысокими колокольнями, разместившихся в уличной застройке на небольшом пространстве на углу пересекающихся улиц (Успенская церковь на углу бывших улиц Успенской и Преображенской) или в разрыве между жилой застройкой с небольшим отступом от



Рис. 2. Культурные архитектурные доминанты на карте города Самары 1894 г.

красной линии (церковь Мариинского детского приюта).

Стоит отметить, что помимо доминант, большое значение в своеобразном силуэте и панорамах города имели крупные архитектурные ансамбли Иверского монастыря, пивзавода Вакано, здание драмтеатра и некоторые другие сооружения, отличавшиеся от рядовой застройки нестандартным архитектурным решением.

До нашего времени дошло мало архитектурных доминант, существовавших в Самаре на рубеже XIX–XX вв. Из главных доминант не сохранилось ни одной (рис. 3, 4), из второстепенных доминант – Петропавловская и Покровская церкви, кирха и костел, синагога (рис. 5).

С проникновением новой застройки в 30-е и более поздние годы XIX в. снос большинства культовых зданий изменил силуэт города и его панораму. Подавленные высотой и массой здания Дома Промышленности, неоправданной с точки зрения силуэта надстройкой некоторых старых зданий, кирха и костел потеряли значение ведущих архитектурных акцентов. Диссонирующим с окружающей застройкой и нарушающим масштаб панорамы исторической части города является здание общежития военно-медицинского факультета.

Территория между улицами Ульяновской и Полевой застроена в основном в 40–80-е гг. XX в. Ансамбли Самарской площади и пл. Славы,

здания повышенной этажности на улицах Полевой и Маяковского вместе с рядовой застройкой, соответствующей этому времени, создают силуэт, резко отличающийся своим масштабом от силуэта исторического.

Анализ топографической карты г. Самары показал, что Храм в честь иконы Божией матери и Храм Андрея Первозванного расположены на высокому рельефе. Храм всех святых и Храм в честь святых жён Миронисиц расположены в пределах тех же горизонталей, ближе к границе перепада рельефа. Благодаря такому расположению, храмы становятся яркими архитектурными доминантами, выделяясь из окружающей застройки своими преобладающими эстетическими качествами и более крупным масштабом. Иверский монастырь и Храм Георгия Победоносца расположены на крутом волжском склоне и с реки воспринимаются как архитектурные доминанты. Разреженность окружающей застройки выделяет храмы в панораме города. Рассматривая эти и другие примеры действующих культовых сооружений Самары, можно сделать вывод, что расположение здания на рельефе также играет важную роль. Выгодное положение на рельефе города позволяет выделить здание и сделать его хорошо просматриваемым сразу с нескольких городских панорам.



Рис. 3. Утраченные градостроительные доминанты города Самары

N	Название	Годы	Фото	N	Название	Годы	Фото
1	Кафедральный собор Храм Христа Спасителя	1894 - 1935		6	Церковь Воскресения Христова	1864-1930	
2	Церковь Спаса Преображения на старой Хлебной площади	1685 - 1952		7	Церковь Казанской иконы Божией Матери («Пятиглавая»)	1865 - в конце XIX в перестроена в театр	
3	Церковь Успения Пресвятой Богородицы на Вознесенской горе	1828 - 1930		8	Церковь Воздвижения Креста Господня на Троицком рынке	1866-1954	
4	Собор Казанской иконы Божией Матери на старой Хлебной площади	1744 - 1952		9	Церковь Смоленской иконы Божией Матери на старой Хлебной площади	1868-1952	
5	Церковь Троицы Живоначальной на Троицком рынке	1844 - 1933		10	Церковь Пантелеймона Целителя при Земской больнице	1911-1930	
11	Церковь Ильи Пророка на Ильинской площади	1889-1932		16	Церковь Успения Пресвятой Богородицы	1912-1969	
12	Соборная мечеть третьего прихода	1913-1963		17	Спаса-Преображенская церковь	1860-в наст время не действует	
13	Церковь Александра Невского при 5-м Гусарском Александрийском полку и 5-м Артиллерийском дивизионе	1915-1930		18	Еврейский молельный дом Б.Б. Маркисона	1909	Фото не сохранилось
14	Николаевский мужской монастырь, Колокольный и Собор Нирлава Чудотворца	1860-1930		19	Церковь при доме душевно больных	-	Фото не сохранилось
15	Церковь иконы Божией Матери «Всех скорбящих Радость»	1860-в наст время не действует		20	Церковь святой Троицы	-	Фото не сохранилось

Рис. 4. Утраченные храмы города Самары

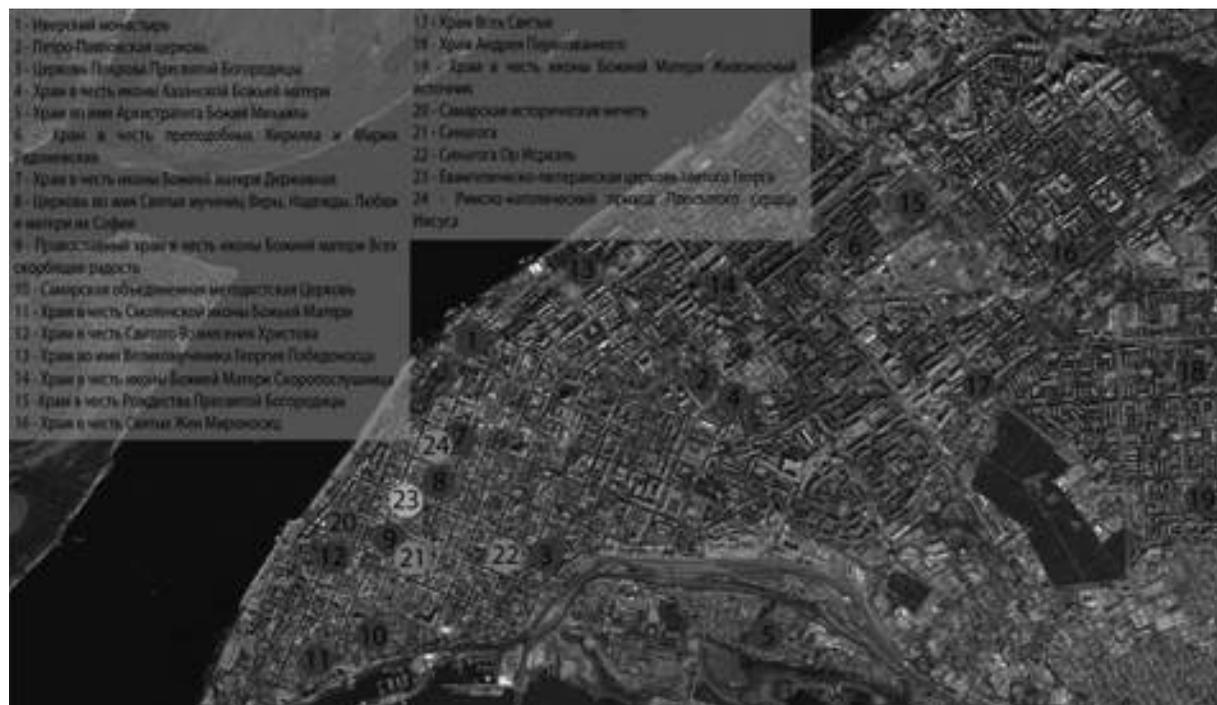


Рис. 5. Сохранившиеся доминанты города Самары

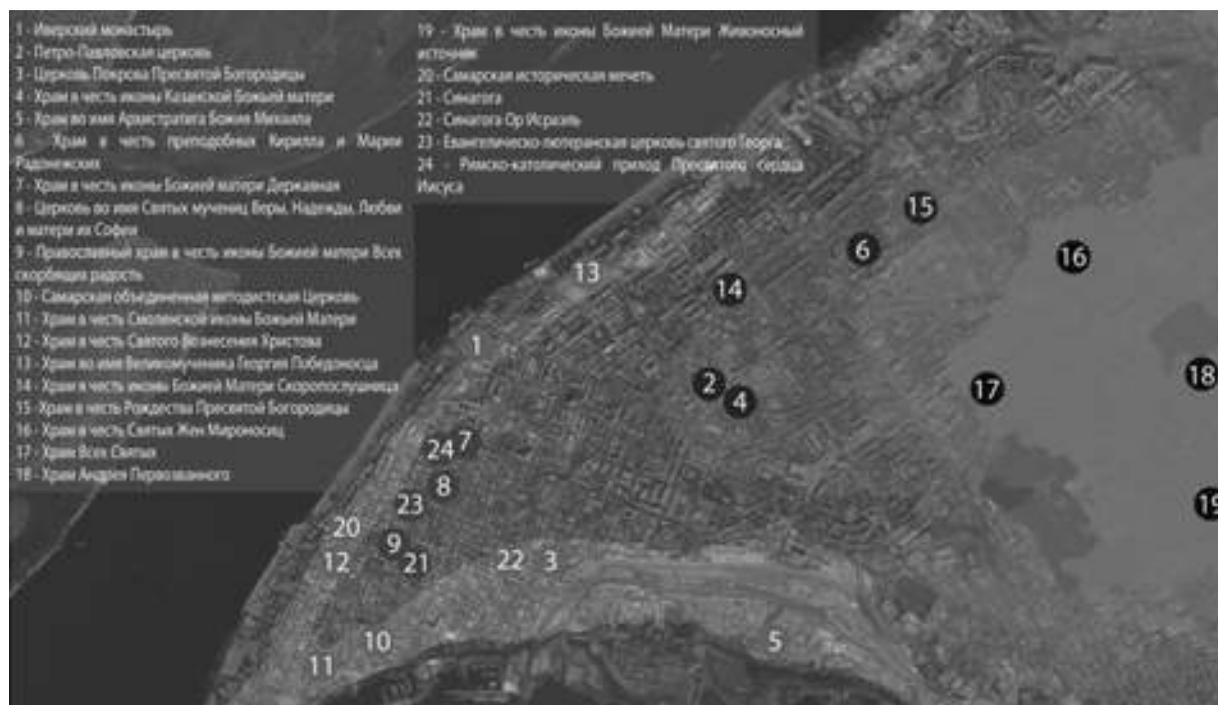


Рис. 6. Расположение храмовых доминант на рельефе города Самары

Вывод. В результате анализа градостроительной истории г. Самары по вышеназванным периодам были выявлены архитектурные доминанты города. Их классификация помогла определить характерные особенности градостроительных доминант Самары и выявить изменение их роли с течением времени и периодом развития городской структуры. Художественная выразительность здания, его расположение в городе относительно природного ландшафта и расположение здания в структуре городской застройки являются основными параметрами классификации архитектурных доминант [9]. Ретроспективный анализ крупных архитектурных ансамблей XX в. показал, что структура городской застройки оказывает наибольшее влияние на восприятие архитектурных доминант.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вавилонская Т.В. Архитектурно-историческая среда Самарского Поволжья: формирование, состояние, концепция устойчивого развития: дис. ... доктора архитектуры. Нижний Новгород. 2017. 890 с.
2. Каркарьян В.Г. Старая Самара: история, дома и люди. Самара, 1998. 254 с.
3. Синельник А.К. Градостроительная история Самарского края / СГАСУ. Самара, 2000. 192 с.
4. Синельник А.К., Самогоров В.А. Архитектура и градостроительство Самары 1920-х – начала 1940-х годов // Известия Самарского научного центра Рос-

сийской академии наук. Самара: СГАСУ, 2010. Т. 13, № 3 (2). С. 568–569.

5. Лопатин Н.Е. Архитектурная доминанта: обобщение знаний и формирование теории проектирования // Архитектон: известия вузов. 2009. № 2 (26). С. 5.

6. Крогуис В.Р. Город и рельеф. М.: Стройиздат, 1979. 129 с.

7. Лапина Е.А. Композиция города и рельеф. Владивосток, 2003. 240 с.

8. Иконников, А.В. Архитектура города. Эстетические проблемы композиции. М., 1972. 226 с.

9. Вавилонская Т.В., Черняк Н. В. Концепция высотного регулирования застройки исторического центра Самары // Градостроительство и архитектура. 2013. № 2 (10). С. 6–11.

REFERENCES

1. Vavilonskaya T. V. *Arhitekturno-istoricheskaya sreda Samarskogo Povolzh'ya: formirovanie, sostoyanie, koncepciya ustojchivogo razvitiya*. Dokt. Diss [Architectural and historical environment of the Samara Volga region: formation, state, concept of sustainable development. Doct. Diss.] Moscow, 2017. 890 p.

2. Karkarian V. G. *Staraya Samara: istoriya, doma i ludi* [Old Samara: history, houses and people]. Samara, SVIR Publ., 1998. 254 p.

3. Sinelnik A. K. *Gradostroitel'naya istoriya Samarskogo kraja* [Town planning history of the Samara region]. Samara, SGASU, 2000. 192 p.

4. Sinelnik A. K., Samogorov V. A. Architecture and urban planning of Samara in the 1920s – early 1940s. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2010, vol. 13, no. 3 (2), pp. 568–569. (in Russian)

5. Lopatin N. E. Architectural dominant: the generalization of knowledge and the formation of the theory of design. *Arhitekton: izvestiya vuzov* [Architecton: Proceedings of Higher Education], 2009, no. 2 (26), p. 5. (in Russian)

6. Krogius, V. R. *Gorod i relief* [City and relief]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979. 129 p.

7. Lapshina, E. A. *Kompozitsiya goroda i relief* [Composition of the city and relief]. Vladivostok, 2003. 240 p.

8. Ikonnikov, A. V. *Arhitektura goroda. Esteticheskie problemy kompozicii* [Architecture of the city. Aesthetic problems of composition]. Moscow, Publ. house on construction, 1972. 226 p.

9. Vavilonskaya T. V., Cherpak N. V. The Concept of high-rise regulation of building of the historical centre of Samara. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2013, vol. 3, no. 2 (10), pp. 6–11. (in Russian)

Об авторах:

КОСЕНКОВА Наталья Алексеевна

кандидат архитектуры, доцент кафедры реставрации и реконструкции архитектурного наследия

Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: kosenkovana@mail.ru

ЛИТВИНОВ Денис Владимирович

кандидат архитектуры, профессор кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия

Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел.(846)333–38–44 E-mail: litvinov-dv@mail.ru

КОСЕНКОВА Елизавета Владимировна

студентка кафедры реконструкции и реставрации архитектурного наследия

Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел.(846)333–38–44 E-mail: elizavetkos@mail.ru

KOSENKOVA Natalya A.

PhD in Architecture, Associate Professor of the Reconstruction and Restoration of the Architectural Heritage Chair

Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: kosenkovana@mail.ru

LITVINOV Denis

PhD in Architecture, Professor of the Reconstruction and Restoration of Architectural Heritage Chair

Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 333–38–44 E-mail: litvinov-dv@mail.ru

KOSENKOVA Elizaveta V.

Student

Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 333–38–44 E-mail: elizavetkos@mail.ru

Для цитирования: Косенкова Н.А., Литвинов Д.В., Косенкова Е.В. Ретроспективный анализ исторически сложившихся градостроительных доминант // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 91–98. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.14.

For citation: Kosenkova N.A., Litvinov D.V., Kosenkova E.V. Retrospective aAnalysis of the Historically Formed Urban Planning Dominants. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 91–98. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.14.

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



УДК 711.011

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.15

Н. Н. ВОЛОГДИНА
О. Ю. АЛЕКСАНДРОВА

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА ИСТОРИКО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРИРОДНОГО ОБЪЕКТА КАК ИМПЕРАТИВ В ИССЛЕДОВАНИИ И ПРОЕКТИРОВАНИИ

MORPHOLOGICAL OF HISTORICAL AND GENETIC RECONSTRUCTION
OF A NATURAL OBJECT AS AN IMPERATIVE IN RESEARCH AND DESIGN

В формате исследования изучается морфология геологической структуры, генезис природного объекта, встроенные в такую «конструкцию», как время. В результате утраты историко-информативных артефактов среды территория теряет свою идентичность. С целью сохранения структурной основы проводится научное исследование генезиса объекта. Рассматривается существующая проблематика моделирования объектов в условиях нарушенных ландшафтов. Вводится понятие метода историко-генетической реконструкции. Предлагается парадигма исследования и моделирования территории и объектов, утративших свою природную, эстетическую и культурную сущность, основанная на формальных признаках и являющаяся императивом проектирования. Для этой цели разрабатываются элементы операционной базы.

Ключевые слова: нарушенная территория, карьер, ландшафт, геоморфологическая структура, промышленные разработки, парадигма, историко-генетическая структура, феномен, форма пространства, метафизика

Объекты антропогенной деятельности играют двойную роль в жизни природы: с одной стороны, нарушают первозданную территорию, определенную сформировавшуюся экосистему; с другой стороны, не может не вызывать восхищения рукотворность и масштаб образований, поражает и «механическая красота» в природе. Через пространство, стоящее на грани между «живым» и «неживым», проявляется диссонанс и в то же время понимание гармонии руин.

In the research the morphology of the geological structure, the genesis of a natural object, embedded in such a "construction" as time, are studied. As a result of the loss of historical and informative artifacts of the environment, the territory loses its identity. In order to maintain the structural basis, a scientific study of the genesis of the object is carried out. The existing problems of modeling objects in conditions of disturbed landscapes are considered. The concept of historical genetic reconstruction method is introduced. A paradigm of research and modeling of the territory and objects that have lost their natural, aesthetic and cultural essence, based on formal features and is an imperative of design, is proposed. For this purpose, elements of the operating base are being developed.

Keywords: disturbed territory, quarry, landscape, geomorphologic structure, industrial development, paradigm, historical-genetic structure, phenomenon, form of space, metaphysics

Феноменология места и пространства включает в себя множество составляющих: генезис, историю, визуальное восприятие, оптическую aberrацию, атмосферу, запахи. Визуальному впечатлению от нарушенной территории может придаваться весьма существенное значение. Считается, что нарушенные территории, такие как рудники, карьеры, каменоломни, находятся в стадии истощения и деградации. Это невозможно отрицать, но эстетический и ландшафт-

ный потенциал данных территорий неисчерпаем. Многолетнее использование территорий возможно усугубляет ряд проблем и требует больших капиталовложений при реконструкции, но в то же время открывает безграничные возможности для проектирования, создания новых ландшафтов, формообразования. Метафизика восприятия геологической структуры рассматривается в трудах Хоскинса, где можно проследить подобного рода противоречия. Называя угольные карьеры Ланкашира «ландшафтами ада», он пишет одновременно с этим о рудниках в Корнуэлле: «когда видишь их на фоне заката, они выглядят меланхоличными и таинственными» [1]. Важность визуального восприятия подтверждает и К.Уолворк: «Нельзя преуменьшать важность визуального впечатления от облика поврежденных территорий и от бросающихся в глаза неблагоприятных социальных и экономических последствий...» [2].

Проектирование и моделирование архитектурной формы основывается на структуре

и морфологии природно-антропогенного объекта в контексте времени. Поэтому предлагается рассматривать существующие архитектурные конструкции и формы, использующие нарушенный контекст, в аспекте формообразовательных особенностей проектирования (рис. 1).

Рассмотренные объекты являются неким синтезом нарушенной геологической структуры и современной архитектуры (рис. 2, 3). Это состояние – процесс исследования среды, учитывающий негативные последствия радикальных преобразований и направленный на создание визуального образа как аппарата воздействия на человека. В большинстве объектов мы можем наблюдать массивные горные породы в сочетании с архитектурными формами, этот визуальный контраст является некой ментальной парадигмой. Существующая практика свидетельствует, что гармония между человеком и природой никогда не была бы достигнута, если бы каждое звено не стремилось доказать свое главенствующее положение (рис. 7–9).



Рис. 1. Эскизные разработки, František Lesák



Рис. 2. Монастырь в ущелье, Al Mokattam Mountain



Рис. 3. Музейный центр в мраморном карьере, Португалия

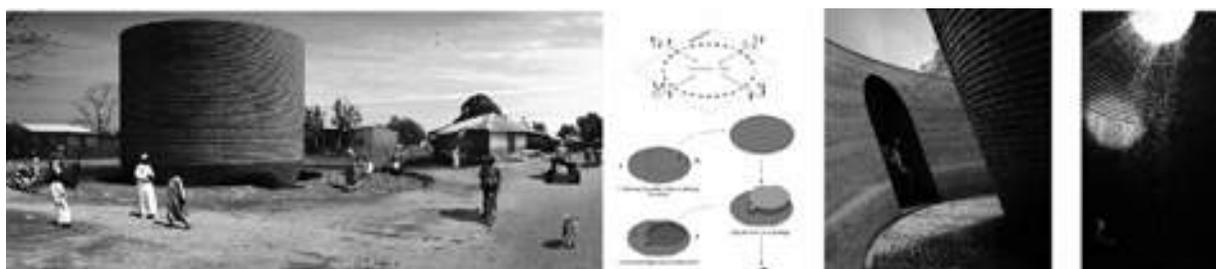


Рис. 4. Церковь на территории глинодобычи, Chapel Proposal, Сенегал

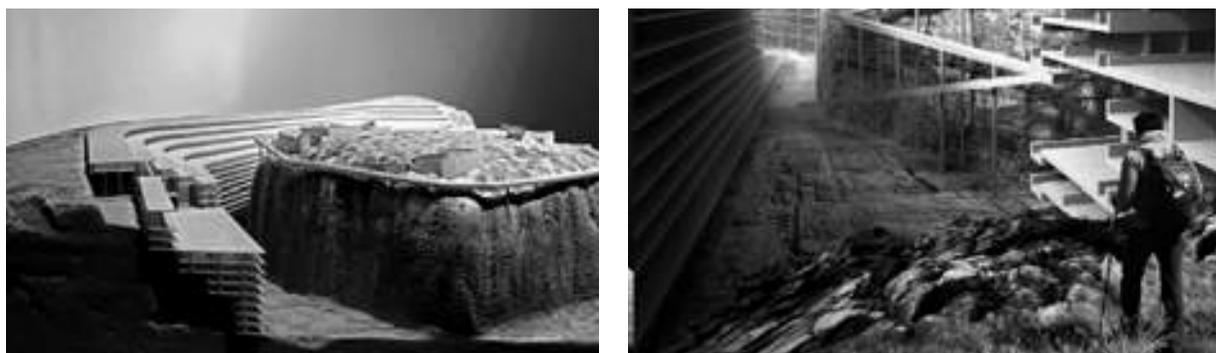


Рис. 5. Проект девелопмент-центра, Norkania Archaeological development, Греция

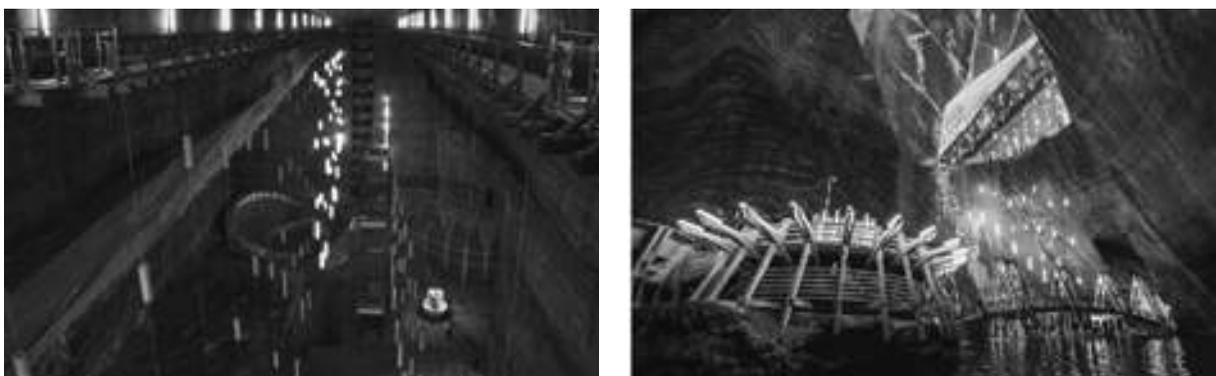


Рис. 6. Музейный центр в бывших соляных шахтах, Salina Turda, Румыния



Рис. 7. Церковь Лалибела, Эфиопия



Рис. 8. Визитор-центр в Хенгчане



Рис. 9. Девелопмент-центр на Мертвом море

Архитектурная форма играет важную роль в формировании новой среды. Морфология рельефа, созданная человеком, называется «антропогенной формой рельефа». В геологии рыхлые отложения, создающиеся в ходе разных видов человеческой деятельности, называют «культурными слоями» [3]. Этот диссонанс между научной терминологией и жизненными понятиями получает свое отражение и в существующих объектах. Где-то мы можем увидеть, как замысел архитектора радикально изменяет контекст места, придавая нарушенным

территориям культурную трактовку. В других случаях мы видим иной подход – скорее сохранения природного или техногенного рельефа (рис. 10, 11).

Рассмотрим этапы формирования и возможности воссоздания истории и генетической основы на примере природно-антропогенного комплекса в Самарской агломерации. Царев Курган – уникальная территория, насыщенная артефактами историко-культурного и геологического содержания. Некоторые исторические данные, различные описания местности позво-

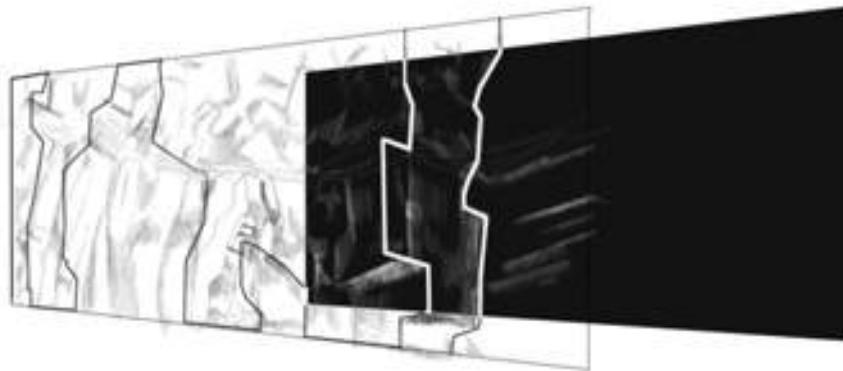


Рис. 10. Радикальное внедрение новых структур (рис. О. Александровой)

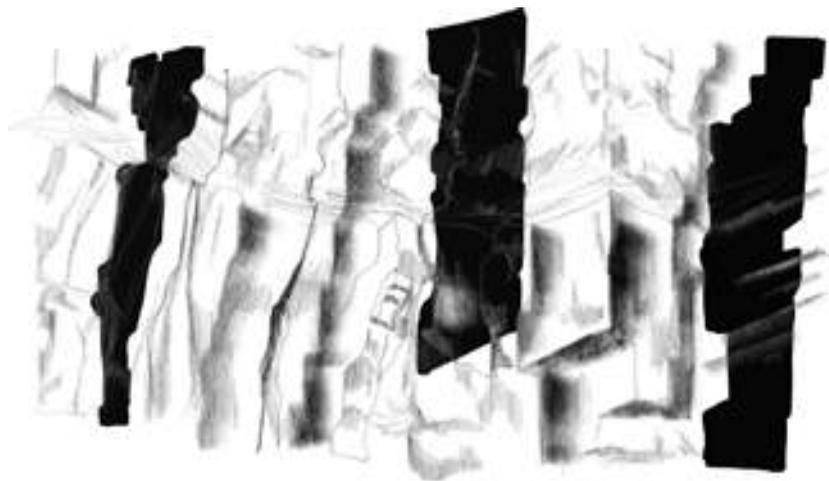


Рис. 11. Контекстуальный подход (рис. О. Александровой)

ляют проследить периоды освоения территории и разработать программу исследования.

Жигулевский массив представлял собой равнину еще 450 млн. лет назад. После затопления территории начинается образование возвышенности и запускается процесс трансгрессии [4]. Природное образование является продуктом Жигулевского разлома, это своеобразный взброс-надвиг из-за сжатия земной коры. За 350 млн. лет толщина пород в некоторых местах достигла 3000 м. Сформированные в период палеозоя разломы до сих пор являются растущей структурой.

Следующий этап формирования Жигулевского массива – возникновение «Палео Волги» в начале миоцена [5]. Примерно в первой трети миоцена происходит откол части горного массива и образуются «Жигулевские ворота». Река отводит осколок горной гряды на левую сторону Волги (рис. 12). Существуют различные мнения о том, что участок современной структуры

является единственным сохранившимся эпизодом древнего русла [5]. В данный момент на Жигулевской возвышенности смывы отложения палеогена высотой не менее 200 м. С высокогорья смывы и пермские породы. Исследователи полагают, что средняя высота в плиоцене составляла 900 м [6].

Непрерывное падение слоев и смена геологических напластований более древних (палеозойский) новыми (мезозойский) должны были вынести на поверхность еще более юные отложения (третичные и т. п.). Именно это не наблюдается в горной системе Жигули: выход неожиданно мощных массивных пород камнеугольного известняка предопределил формирование рельефа местности. Это во многом стало ключевым фактором для структуры ландшафта (рис. 13).

Особенности геологического происхождения Царева Кургана подтверждаются и другими исследованиями: «Северное и северо-вос-

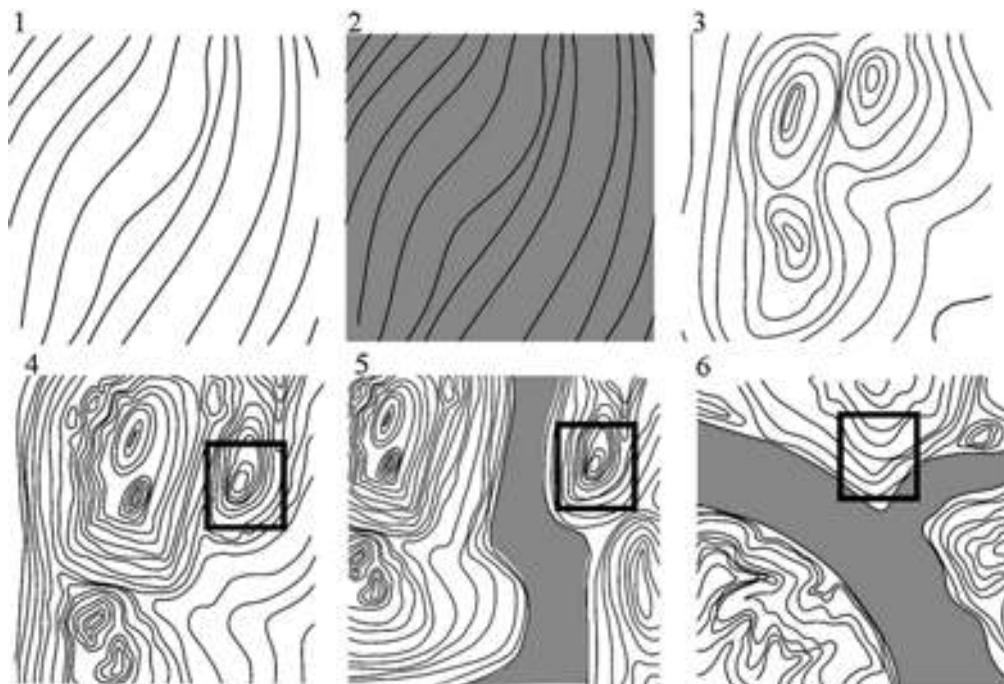


Рис. 12. Этапы формирования природного объекта Царев курган:
 1 – равнинный рельеф; 2 – затопление; 3 – рост и развитие Жигулевских гор; 4 – нарастание массы горной породы; 5 – появление Волги; 6 – отделение останца (рис. О. Александровой)

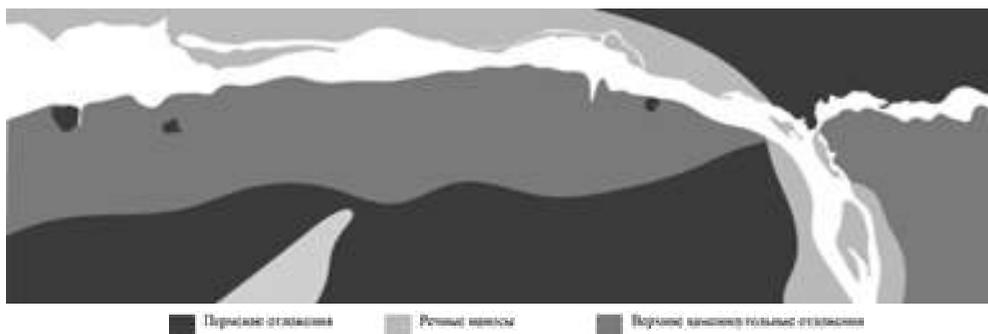


Рис. 13. Геологические массивы фрагмента Самарской Луки

точное – обратное жигулевскому падение пластов говорит о антиклинальной складке, которая некогда была двусторонней, имела не только левое и правое крыло, но, кроме этого небольшого остатка, не сохранилось» [7]. В современную эпоху Жигулевские горы и соответственно Царев Курган являлся объектом исследования многих ученых и путешественников. Основой для исследования послужили научные работы П.П. Семенова-Тянь-Шанского. Ученый описывает это место как уникальное и не имеющее аналогов: «Рельеф этой, вытянувшийся вдоль северного края Самарской Луки, непрерывной гряды Жигулевских гор и необычная резкая противоположность берегов Волги в этой части течения настолько оригинальны, что на всей остальной равнин-

ной площади Европейской России подобных им не встречается» [7].

В советской период начинается процесс урбанизации всего комплекса. Большинство изменений в структуре самого Царева Кургана произошло во время создания промышленных узлов в Самарской области [8].

Первые работы на массиве начались в 1938 г., что было связано с перспективами строительства крупного гидроузла. Карьер, являющийся зоной временной выработки сырья, с большими масштабами добычи со временем потерял свою продуктивность, ценность и перестал существовать как производство. Восстановление карьера до первичной структуры невозможно, с течением времени произошло естественное замещение природной составляющей [9].

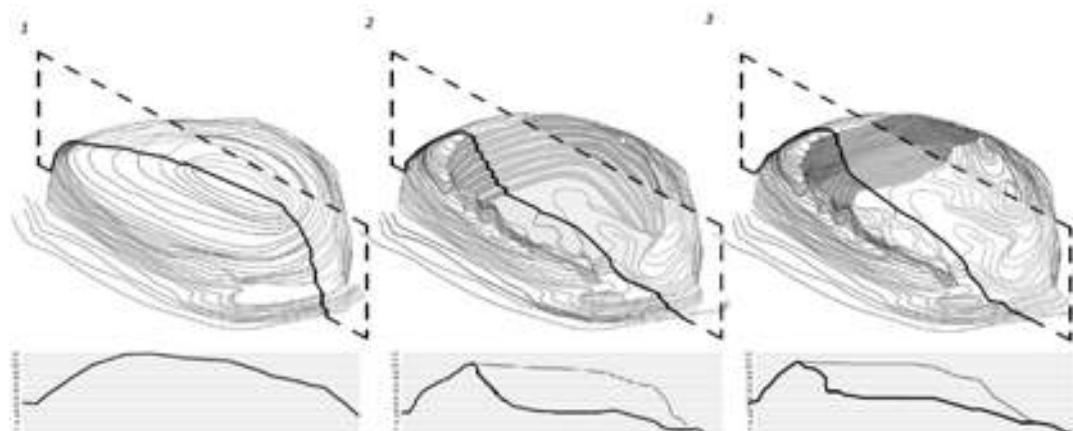


Рис. 14. Модели, характеризующие этапы трансформации структуры природного объекта: 1 – сформированная порода; 2 – разработка карьера; 3 – текущее состояние (рис. О. Александровой)

Для исследования генетического типа объекта необходимо создать модель. В ходе работы были выявлены ключевые состояния и этапы модификации структуры (рис. 14).

Поскольку добыча щебня открытым способом неотвратно влечет за собой техногенное нарушение и деградацию естественных ландшафтов как непосредственно в процессе разработки нерудных строительных материалов, так и при развитии компонентов инфраструктуры горно-обогатительного комплекса в целом, то возникает необходимость построения единой модели всей зоны техногенного воздействия с учетом прилегающих территорий [10]. Вся горная порода после использования человеком подразделяется на части системы, которые можно разложить на определенные группы нарушенных компонентов: локальные каменные осыпи, отвалы вскрышных пород, откосы, насыпи. В данном исследовании наиболее важным является выявление основных формальных качеств рельефа, которые оказывают влияние на будущие преобразования [11]. Территория разработки включает в себя компоненты геологических структур, отражающих определенную морфологию объекта [12]. Представленные фрагменты среды показывают процесс конструирования антропогенных и «условно» природных форм (рис. 15).

Объект несет в себе не только материальную, но и эстетико-символическую составляющую. В данной схеме рассматриваются геологические формы как фенотипы мышления, сочетающие в себе образ, «текст», взаимосвязь с миром (рис. 16, 17).

В этой ситуации поочередно анализируются геологические структуры и формы для каждого из компонентов зоны техногенного

воздействия: карьера, отвалов и прилегающей территории. Использование моделей техногенных ландшафтов, включающих в себя выработку, эстетический контекст, являются основой дальнейшего проектирования.

Представление о карьерах как пространствах для коммуникаций между деятельностью человека и природой позволило расширить границы исследования [13]. Изучая пространство карьеров Самарской области, можно выявить некоторые особенности их взаимосвязи с метафизическим переживанием человека (рис. 18–20).

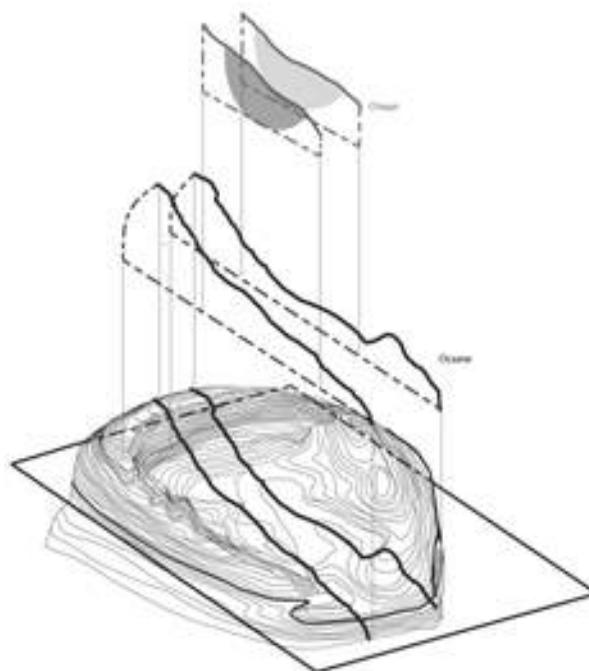


Рис. 15. Сечение выработки (рис. О. Александровой)

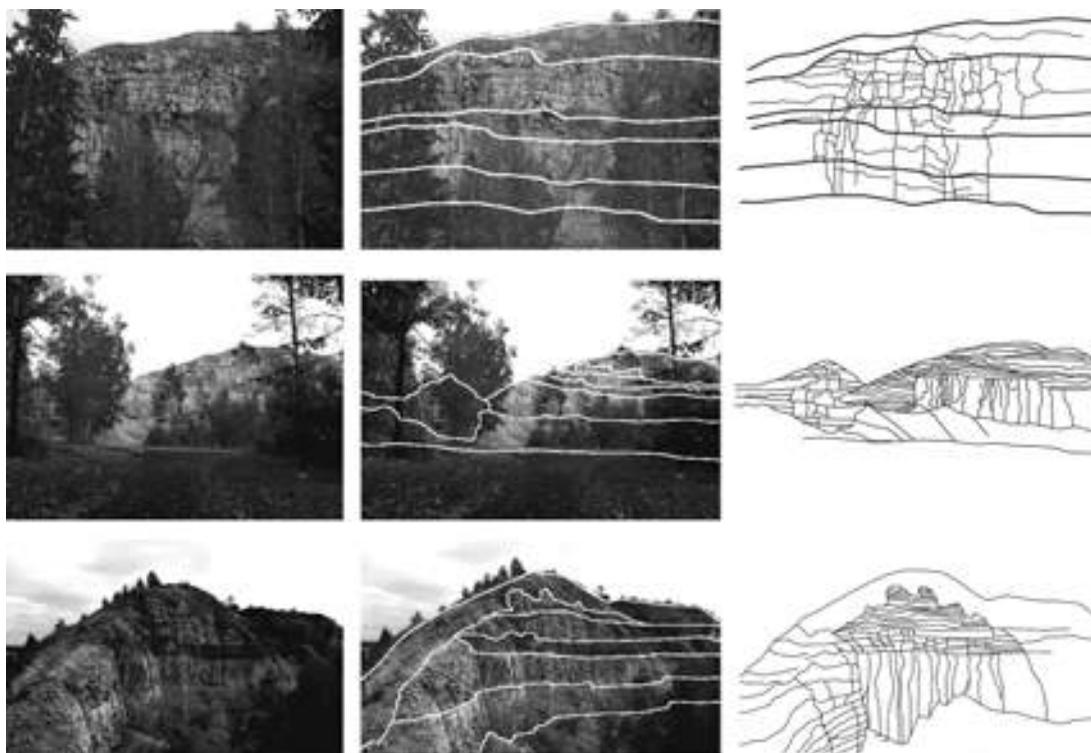


Рис. 16. Типичная структура выработки. Геологические пласты (рис. О. Александровой)

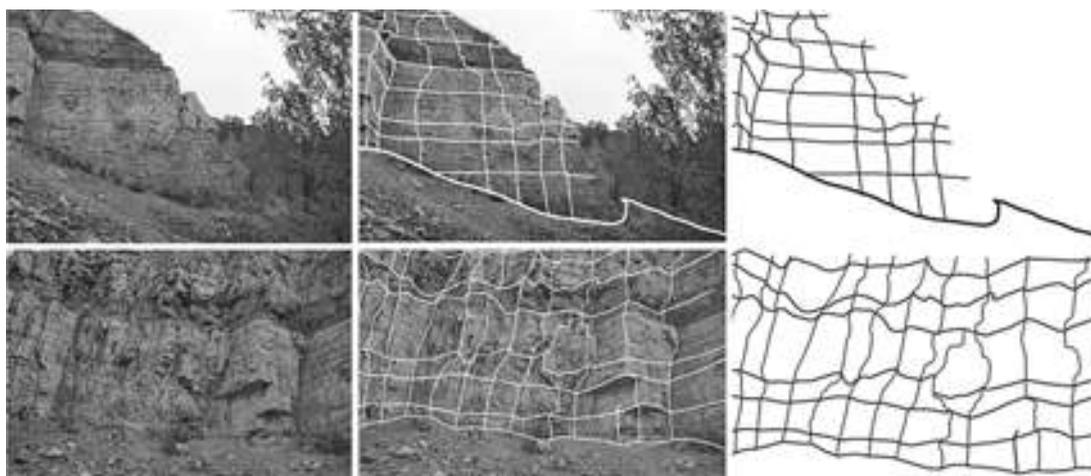


Рис. 17. Структурные элементы выработки. Характер элементов (рис. О. Александровой)



Рис. 18. Символические элементы геологической структуры (рис. О. Александровой)



Рис. 19. Символические элементы геологической структуры (рис. О. Александровой)



Рис. 20. Символические элементы геологической структуры (рис. О. Александровой)

Выводы. 1. Предлагается парадигма исследования и моделирования территории и объектов, утративших свою природную, эстетическую и культурную сущность, основанная на формальных признаках и являющаяся императивом проектирования.

2. В основе теории лежит исследование генезиса геологической структуры, морфологии природного объекта, их пространственно-временной вернакуляр.

3. В формате исследования философия, понимаемая как инструмент, определяющий создание структур и форм, а также метафизика места являются важной составляющей процесса проектирования.

4. В качестве объекта исследования выбрана уникальная форма природно-антропогенного происхождения, структура которой в настоящее время находится в нарушенном состоянии.

5. Предложен метод историко-генетической реконструкции природного объекта.

6. Исследование основных критических моментов истории, геологии и геоморфологии рассматриваемого объекта позволяет создать элементы операционной базы деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Hoskins W.G. The Making of the English Landscape: Hodder & Stoughton, 1955. 147 p.

2. Уоллворк К. Нарушенные земли. М.: Прогресс, 1979. 269 с.

3. Краткий толковый словарь по рекультивации земель / отв. ред. Л. В. Трофимов. М., 2000.

4. Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.

5. Палео-Волга. История великой реки. URL: <http://stepnoy-sledopyt.narod.ru/geologia/paleovolga/volga.htm> (дата обращения: 18.10.2018).

6. Конева Н.В. Глафира Витальевна Обедиентова и ее работа о происхождении природы Жигулей // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2017. № 26 (3). С. 30–35.

7. Семенов В.П. Полное географическое описание нашего отечества: Настольная и дорожная книга для русских людей. Т. 6. СПб.: А. Ф. Девриен, 1899–1914. С. 29–32.

8. Обедиентова Г.В. Из глубины веков. Куйбышев: Книжное издательство, 1988. 216 с.

9. Царев курган. URL: http://xn--p1aace5d.xn--p1ai/?page_id=255 (дата обращения: 28.12.2018).

10. Алаев Э.Б. Социально-экономическая география: понятийно-терминологический словарь. М.: Мысль, 1983. 328 с.

11. Вологодина Н.Н. Контактная территория как объект исследования и проектирования. Классификация нарушенных земель контактных территорий Самарской полицентрической агломерации, их инвентаризация // Теория архитектуры и градостроительства. 2010. № 4. С. 39–45.

12. Вологодина Н.Н. Поиск новых планировочных парадигм в теории и практики градостроительства //

Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды / СГАСУ. Самара, 1997. С. 111.

13. Вологодина Н.Н. «Lend art» как опыт «параллельного проектирования» // Исследования в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды / СГАСУ. Самара, 1998. С. 147–148.

REFERENCES

1. Hoskins W.G. The Making of the English Landscape. London, Hodder & Stoughton Publ., 1955. 147 p.

2. Walwork K. Derelict land. Exeter, Newton, David & Charles publ., 1974. 265 pp. (Russ. ed.: Narusheniye zemli. Moscow, Progress publ., 1979. 269 p.)

3. Reimers N.F. *Prirodopol'zovanie; Slovar'-spravochnik* [Nature Management: Vocabulary-reference book]. Moscow, Mysl' publ., 1990. 637 p.

4. Spiridonov A.I. *Geomorfologiya evropejskoj chasti SSSR* [Geomorphology of the European part of the USSR]. Moscow, Vysshaja shkola publ., 1978. 170 p.

5. Paleo-Volga. The history of the great river (2013). Available at: <http://stepnoy-sledopyt.narod.ru/geologia/paleovolga/volga.htm> (accessed 18 October 2018).

6. Koneva N.V., Glafira Vitalievna Obedientova and her work on the origin of the nature of Zhiguli. *Trudy Samar'skaja Luka: problemy regional'noj i global'noj jekologii* [Proc. Samara Luka: Problems of Regional and Global Ecology], 2017, no 26, 43–47, pp. 30–35. (in Russian)

7. Semenov V.P. *Polnoe geograficheskoe opisanie nashego otechestva; Nastol'naya i dorojnaya kniga dlya russkich lyudej* [Complete Geographical Description of Our Fatherland: Road Book for Russian People], Vol. 6, St. Petersburg, A. F. Devrien publ., 1914, pp. 29–32.

8. Obedientova G.V. *Iz glubiny vekov* [From the depth of ages]. Kuibyshev: Book publishing house publ., 1988. 216 p.

9. Tsarev Kurgan (2013). Available at: http://xn--p1aaee5d.xn--p1ai/? Page_id = 255 (accessed 28 December 2018).

10. Alaev E.B. *Social'no-ekonomicheskaya geografiya; ponyatijno-terminologicheskij slovar'* [Socio-Economic Geography: Conceptual and terminological Dictionary] Moscow, Mysl' publ., 1983. 328 p.

11. Vologdina N.N. Contact area as an object of research and design. Classification of disturbed lands of the contact territories of the Samara polycentric agglomeration, their inventory. *Vestnik SGASU* [Proc. of the SGASU], 2010, pp. 39–45. (in Russian)

12. Vologdina N.N. Search for new planning paradigms in the theory and practice of urban planning. *Tezisy dokladov «Poisk novyx planirovochnykh paradigim v teorii i praktiki gradostroitel'stva»* [Proc. of Samara State Academy of Architecture and Construction], Samara, 1997, p. 111. (in Russian)

Об авторах:

ВОЛОГДИНА Наталия Николаевна

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

VOLOGDINA Nataliya N.

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

АЛЕКСАНДРОВА Ольга Юрьевна

магистрант кафедры архитектуры
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: lyalexandrova@mail.ru

ALEXANDROVA Olga Y.

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

Для цитирования: Вологодина Н.Н., Александрова О.Ю. Морфологическая парадигма историко-генетической реконструкции природного объекта как императив в исследовании и проектировании // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 99–108. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.15.

For citation: Vologdina N.N., Alexandrova O.Yu. Morphological Paradigm of Historical and Genetic Reconstruction of a Natural Object as an Imperative in Research and Design. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 99–108. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.15.

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ



УДК 69.574

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.16

Н. С. АСТАФЬЕВА
И. В. ЛАГУТА
Е. Е. КУКАРИНА
Я. О. ЕМЕЛЬЯНОВА

ТЕНДЕНЦИИ «ЗЕЛЕННОГО» СТРОИТЕЛЬСТВА В МИРЕ И СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

TENDENCIES OF “GREEN” CONSTRUCTION IN THE WORLD AND MODERN RUSSIA

«Зеленое» строительство – это новое принципиальное экологическое направление в проектировании, строительстве, эксплуатации и демонтаже зданий. В настоящее время существует две международные системы оценки эко-эффективности строительства: BREEAM (британская система) и LEED (американская система). BREEAM – это научный стандарт, сфокусированный на большое количество экологических проблем. LEED – коммерческий стандарт, направленный на энерговодопотребление. У вышеперечисленных систем оценивания разный уровень минимальных требований; здания, удовлетворяющие этим требованиям, получают соответственно сертификат BREEAM или сертификат LEED. В статье рассмотрены здания, сертифицированные по разным системам оценивания экоэффективности, расположенные как на территории Российской Федерации, так и в других странах. Лидирующее место по количеству «зеленых» зданий в России принадлежит городу Сочи благодаря прошедшей Олимпиаде 2014. Затем идут столичные города Москва и Санкт-Петербург, на территории которых располагаются не только торгово-развлекательные и офисные «зеленые» здания, но и жилые экокварталы. К чемпионату мира по футболу 2018 в городах, принимающих гостей, были построены спортивные арены. В частности самарский 45-тысячный спортивный стадион стал самой первой российской ареной при подготовке к чемпионату по футболу 2018 г., которая удостоилась сертификата по стандарту системы BREEAM.

Green construction is a new fundamental environmental direction in the design, construction, operation and dismantling of buildings. Currently, there are two international systems for assessing the eco-efficiency of construction: BREEAM (British system) and LEED (American system). BREEAM is a scientific standard focused on a large number of environmental issues. LEED is a commercial standard for energy consumption. The above assessment systems have different levels of minimum requirements; buildings that meet these requirements receive respectively a BREEAM certificate or a LEED certificate. The article discusses buildings certified according to different systems for assessing eco-efficiency, located both in the Russian Federation and in the world. The leading place in the number of “green” buildings in Russia belongs to the city of Sochi, thanks to the 2014 Olympics. Then, there are the capital cities of Moscow and St. Petersburg, on the territory of which are located not only shopping, entertainment and office “green” buildings, but also residential eco quarters. Sports arenas were built for the 2018 FIFA World Cup in host cities. In particular, the Samara 45-thousandth sports arena became the first Russian facility for the 2018 football championship, which won international recognition, having received a certificate according to the standard of the BREEAM system.

Ключевые слова: «зелёное» строительство, проблемы экологии, возобновляемые источники энергии, энергоэффективность, сертификация

Keywords: «green» construction, environmental problems, renewable energy sources, energy efficiency, certification

Установлено, что на содержание зданий и сооружений идёт почти половина всех энергетических ресурсов. Эта и другие причины стали предпосылками к созданию такого направления, как «зелёное» строительство, рассматривающее проблемы влияния человека на окружающую среду. Вследствие этого в разных уголках мира начали возникать экспериментальные энергоэффективные и экологичные постройки, которые и были взяты за основу для создания сертификации таких зданий. Также приведены примеры самых выдающихся и интересных с точки зрения инноваций сооружений, построенных с учётом экопринципов. Произведён анализ энергоэффективного строительства и сделаны выводы о дальнейшем его развитии в мире и в России в частности.

В настоящее время проблема исчерпания ресурсов является достаточно острой и актуальной. Некоторые страны уже активно используют альтернативные источники энергии во многих отраслях промышленности, в частности в строительстве. Информационные технологии ускоряют аналитическую обработку государственных статистических данных. Последний анализ показал, что на содержание зданий идет до 45 % всех вырабатываемых энергетических ресурсов, как правило за счет теплопотерь. Таким образом, ученые и инженеры во всём мире начали искать пути снижения негативного влияния человека на окружающую среду. Одним из путей стало так называемое «зелёное» строительство.

«Зелёное» строительство – это принципиально новый подход к проектированию зданий, когда сам процесс возведения, конструирования и дальнейшая эксплуатация оказывают минимальное воздействие на окружающую среду. Экологические инновации должны учитываться на всех этапах функционирования зданий: начиная с разработки проекта и завершая демонтажем здания [1]. Другой целью экостроительства является повышение качества внутренней среды зданий и создание комфорта. Достигается это благодаря соблюдению следующих принципов:

- применение инновационных подходов для сокращения губительного воздействия строительной отрасли на здоровье человека и окружающую среду;
- использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечная, энергия воздушных масс, геотермальная энергия;
- применение экологически чистых строительных материалов, а именно материалов местного производства, чтобы исключить загрязнение воздуха транспортными средствами при перевозке;

- использование материалов с высокими показателями энергоэффективности и энергосбережения;

- любое решение, принимаемое при разработке объекта, рассматривается в рамках экологической концепции [2].

Реализуется такое строительство с помощью следующих мероприятий и технологий:

- освещение с помощью светодиодных технологий;
- принудительная вентиляция с утилизацией теплоты;
- «зеленые» кровли в качестве покрытия;
- экономичные системы обогрева, воздушные и подземные;
- датчики присутствия человека;
- водосберегающие решения для экономии воды.

Первые здания, построенные на основе экологически чистых материалов и технологий, начали появляться в 70-х гг. прошлого века в США. Однако быстрого и широкого распространения они не получили. Толчком к активному возведению экодому стала поддержка принципов «зеленого» строительства на уровне государственной власти. Этому способствует специальная рейтинговая система, созданная для анализа экоэффективности «зеленых» объектов с точки зрения защиты окружающей среды и комфортного времяпрепровождения людей. В рейтинге сравниваются количественные и качественные экологические критерии.

Первыми международную систему для рейтинга строительных объектов с позиции защиты окружающей среды разработала британская компания BRE Global в 1990 г. (англ. Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)). На сегодняшний день сертификацию BREEAM прошли около полумиллиона объектов и около миллиона данную сертификацию проходят. Такая распространенность BREEAM обусловлена гибкостью подхода к каждому объекту. Их метод содержит несколько критериев, рассматривающих безопасность и комфортность жизнедеятельности человека при пользовании объектом, а также степень воздействия функционирующего объекта на окружающую среду с экологических позиций. По каждому критерию проставляются баллы, которые затем перемножаются на поправочные коэффициенты, учитывающие актуальность «зеленого» объекта на месте строительства. Данные поправочные коэффициенты и гибкий научный экологический подход позволяют использовать систему BREEAM в различных климатических и экономических регионах. Сертификаты бывают следующих видов: базовый, хороший,

очень хороший, отличный и выдающийся. В нашей стране сертификацию BREEAM получили около семидесяти объектов и около сотни комплектуют документацию на получение данного сертификата [3].

Другой признанный во всём мире стандарт сертификации «зелёных» сооружений разработан американским Советом по «зелёному» строительству LEED в 1998 г. Это руководство энергоэффективного и экологического проектирования (англ. Leadership in Energy and Environmental Design, LEED). Стандарт LEED представляет собой 100-балльную систему, включающую пять главных критериев: место строительства, эффективность водоиспользования, эффективность использования энергии, экологичность материалов, качество среды в помещениях. Можно получить дополнительные баллы за инновационный дизайн, а также за региональную приоритетность. Объект получает сертификацию по четырем возможным уровням сертификации: простая, серебряная, золотая и платиновая [4].

Если по техническим критериям BREEAM и LEED имеются сходства, то процессы регистрации значительно различаются. В BREEAM есть понятие «оценщик», и когда проект разработан (обычно привлечением BREEAM консультанта), то его проверяет оценщик – одно лицо, а не группа экспертов. По результатам оценки выдается сертификат. Важно отметить, что в системе BREEAM сертификат выдают дважды (на сам проект и по его завершении), в LEED сертификат выдается единожды по завершении объекта. Но главное различие состоит в подходе оценивания. LEED – стандарт больше коммерческий, направленный на энерговодопотребление.

BREEAM – стандарт научный, сфокусированный на большое количество экологических проблем. Также у данных систем оценивания разный подход в выборе минимального соответствия сертификатам. В системе BREEAM нет строгих непоколебимых догматов. Эта рейтинговая система позволяет совершенно разным объектам с разными экологическими критериями получить одинаковые сертификаты оценки. В LEED требования единообразные, и в связи с этим объекты, сертифицированные по данной системе, очень просто сравнивать между собой. Рассмотрим некоторые объекты.

Самое высокое и самое большое «зеленое» здание сертификации LEED Platinum в мире с 2011 г. – это Taipei 101 высотой 509,2 м вместе со шпилем. Небоскрёб, расположенный в столице Тайваня – Тайбэе, построен ещё в 2003 г., но в 2007 г. его решили реконструировать (рис. 1). В ходе экологической реконструкции, длившейся три года, в здании заменили старые системы охлаждения на новые, усовершенствовали системы расхода энергии. В итоге, небоскрёб выделяет значительно меньше отходов и тратит на 30 % меньше энергии, чем раньше.

Экономическим достижением явился факт сокращения ежегодных расходов на коммунальные услуги на 700 тыс. долларов [5].

Одним из самых экологически чистых небоскрёбов в мире является башня PNC Plaza, построенная в 2015 г. и расположенная в Питтсбурге. Особенностью его является двойной стеклянный фасад для уменьшения расходов на охлаждение и содействия попаданию естественного воздуха в здание, система климат-контроля с высоким КПД для нагрева или охлаждения определённых зон здания по мере необходи-



Рис. 1. Тайбэй 101

мости. В качестве альтернативных источников энергии используются топливные элементы, а также солнечная и геотермальная энергии, которые сокращают выбросы углекислого газа.

Интересным объектом является бизнес-центр «The Edge», который набрал невероятное количество баллов по системе стандарта BREEAM: 98,4 из 100. В результате этот проект единственный удостоился сертификата в мире с оценкой «выдающийся». Старший консультант, отвечающий за проектирование данного здания, заявляет, что с помощью смартфона можно контролировать температуру внутреннего воздуха и внутреннюю вентиляцию объекта. Освещение здания функционирует исключительно по технологии LED. Уникальный проект улавливает все особенности положения солнца. Стекланный фасад на северной стороне здания пропускает все лучи солнца, в то время как южный фасад аккумулирует электроэнергию, передавая её на рабочие места работников офиса. Солнечные панели, установленные на крыше, генерируют энергию для систем вентиляции и отопления. Значимым элементом вентиляции комплекса является атриум высотой в пятнадцать этажей. Территория экстерьера орошается дождевой водой, которая собирается специальным механизмом. Уникальная система освещения, включающая в себя более шести тысяч элементов, управляется с помощью компьютерной программы на основании показаний многочисленных датчиков освещения, температуры, движения, которые распределены по всему объекту [6].

Одним из самых известных «зелёных» зданий в нашей стране является так называемый «Гиперкуб», который находится в столичном Сколково (рис. 2).

На его проектирование и возведение были привлечены лучшие специалисты, поскольку данный объект является имиджевым проектом для нашей страны. Он сконструирован таким образом, что в соответствии с требованиями меняющейся моды или перепрофилирования объекта фасад «Гиперкуба», так же как и внутренний объём, может трансформироваться под актуальные потребности на текущий момент времени. Эта новая тенденция определяет новое поколение проектирования объектов во всем мире, так как зачастую именно демонтаж объектов строительства наносит ущерб окружающей среде и комфорту проживающих и работающих людей в непосредственной близости от демонтируемого объекта.

На сегодняшний день основой медиафасада «Гиперкуба» является сетка из нержавеющей стали. На медиафасад постоянно проецируется информация и изображения. На крыше и верхних этажах расположены солнечные световолноводы, обеспечивающие энергией осветительные приборы в технических помещениях по оптическому волокну. Большая часть воды для нужд объекта берется из артезианской скважины, небольшая часть потребляемой воды собирается во время дождя. Для полива комнатных растений в здании существует специальная система очистки воды с повторным использованием хозяйственно-бытовых сточных вод. В системе отопления и охлаждения объекта применяются тепловые насосы. Теплопотери в «Гиперкубе» сведены к минимуму благодаря комплексным мероприятиям в системе отопления. Применено тройное остекление и тепловые завесы на окнах, отопление помещений осуществляется конвекторами. Объектом



Рис. 2. «Гиперкуб» в Сколково

управляет комплексная система Desigo Insight, которая контролирует все подразделения объекта. Здание получило сертификат, соответствующий уровню «серебро» по устойчивому строительству от стандарта LEED [7].

Торговый Центр «Nowadays», расположенный в Москве, также получил высокую оценку системы сертификации BREEAM. Для создания этого объекта нужно было реконструировать два противоположных здания, сконструировать соединяющий пассаж, расширить и облагородить прилегающую территорию, изменить фасад. Требования заключались не только в изменениях внутренних объемов и инженерной базы, установке солнечных панелей, но и в мероприятиях по защите окружающей среды. Экономический эффект после реконструкции также очевиден. После реконструкции доход, приносимый комплексом «Nowadays», вырос более чем в два раза.

В нашей стране бесспорным лидером по количеству сертифицированных «зелёных» объектов стал Сочи. Благодаря прошедшей Олимпиаде 2014 г. курортный город приобрёл множество объектов, отвечающих самым современным требованиям устойчивого строительства. Одним из таких зданий стал ледовый дворец «Большой», который набрал более 55 баллов по системе BREEAM. Проект получил сертификат системы BREEAM, соответствующий третьему уровню – «Very Good» («очень хороший»). Объёмы сооружения изменяются, что позволяет использовать ледовый дворец не в одном режиме, а сразу в нескольких и для различных видов спорта. Освещение здания частично генерируется за счёт солнечного света, расход воды снижен благодаря специальному оборудованию. Потребление прочих ресурсов

контролирует «умная» система. При отделке арены использовались только экологичные материалы. Также экологическую ценность участка подняли за счёт следующих мероприятий: в целях проведения строительных работ изъятый плодородный слой сохранён и использован при проведении рекультивации и благоустройстве территории. Создан перспективный план природоохранных мероприятий, который содержит рекомендации для эксплуатирующих организаций по сохранению и поддержанию видового состава Имеретинской низменности.

Конечно, и к мундиалу 2018 г. были выдвинуты требования по экологичности сооружений, где будут проводиться матчи. Многие стадионы прошли сертификацию. Самарская спортивная Самара-Арена стала первым российским объектом из возведенных к футбольному чемпионату 2018 г., который получил признание на международном уровне, получив сертификат по стандарту BREEAM BREEAM Good (47 %) 31 октября 2014 г. (рис. 3).

Представитель, руководящий компанией по экологическим инновациям, отметила, что эксперты подчеркнули сложность конструкции стадиона в Самаре и возникающие с ней трудности в организации энергосберегающих технологий и экологической безопасности. Открытый футбольный газон, лишь частично накрытые трибуны и строгие требования к обеспечению пикового энергопотребления – для авторов проекта эти аспекты немало осложнили задачу. Но в то же время в получившемся на выходе документе удалось учесть все возникшие проблемы и максимально эффективно использовать проверенные инновационные технологии, что



Рис. 3. Стадион Самара-Арена:
а – строительство Самара-Арены; б – вид сверху;
в – вид изнутри



Рис. 3. Окончание

и позволило добиться соответствия авторитетным международным «зеленым» стандартам, а у подрядчиков, при правильной реализации и рекламе, есть все шансы стать одними из самых востребованных строителей в России [8].

В сегменте жилой недвижимости «зелёное» строительство в России не так популярно – собственники жилья не готовы платить за экологические решения, которые оправдаются только через десяток лет. Однако стоит отметить, что инновационные проекты появляются и здесь. Например, в Санкт-Петербурге ЖК «Триумф Парк» получил свидетельство BREEAM. Экономия электроэнергии получается за счёт энергосберегающих ламп, датчиков движения и освещённости. Раздельный сбор мусора поддерживает экологичность эксплуатации ЖК, а в ходе строительства на площадке работали бесшумные краны и использовалась технология вкручивающихся свай, что также удовлетворяет требованиям «зелёных» стандартов. Хорошо продуманная система освещения общественных зон, система контроля и предотвращения утечек системы водоснабжения, энергоэффективные конструктивные решения устройства фасадов и крыши, использование материалов с пони-

женной теплопроводностью и другие мероприятия позволяют экономить на энергопотреблении и теплотреблении до 20 %, водопотреблении – до 40 %. Поэтому данный объект заслуженно получил «зеленый» сертификат BREEAM.

Другими известными сертифицированными зданиями в России являются:

- Бизнес-центр «Японский дом» в Москве (BREEAM In-Use). Этот объект первым в России был сертифицирован по схеме BREEAM.

- Производство «Хамилтон Стандарт-Наука» в Кимрах (LEED-NC). Первый в России объект, сертифицированный по схеме LEED.

- Офис компании «Siemens» в Москве (LEED-CI). Одно из первых зданий в России, сертифицированное по системе LEED, с использованием инноваций компании «Siemens».

- Многофункциональный комплекс «Лакта-центр», строящийся в Приморском районе Санкт-Петербурга. По результатам оценок критериев экологической эффективности на этапе проекта предсертифицирован на «LEED for Core & Shell» Gold.

Сертификация зданий безусловно повышает привлекательность объектов недвижимости для инвесторов. Достаточно большое количество

зарубежных компаний соглашается использовать офисные или производственные помещения только при наличии «зелёного» сертификата. Вследствие этого повышается и стоимость аренды помещения, обладающего таким сертификатом, – примерно на 15 %, а при продаже цена возрастает до 35 %. Вместе с этим расходы на содержание здания снижаются на 25–30 %. Наличие сертификата является отличной рекламой архитектурному сооружению и способно заинтересовать долгосрочных арендаторов, которые заботятся о своём статусе и репутации в корпоративных кругах и готовы за это платить.

Стоит отметить, что во всём мире экостроительство набирает все больше и больше оборотов, с каждым годом в Европе и США строится всё больше домов, отмеченных сертификатами «зелёных» компаний. Не отстают и восточные регионы: в настоящее время в Арабских Эмиратах строится экогород Масдар, в Китае появляется ряд «городов будущего» (Биньхай, Донган). В некоторых странах требования к строительству экологических домов переводятся на законодательную базу: в Канаде здания правительств должны соответствовать «золотому» стандарту LEED, а для всех жилых домов в Англии обязательна к получению одна из версий BREEAM. Это не просто дань моде со стороны правительства: экодому дают свой вклад в рост ВВП.

В нашей стране большую роль для развития строительства, «дружелюбного» по отношению к природе, выполнили сочинские Зимние Олимпийские игры: обязательным условием со стороны Международного олимпийского комитета были экологические соответствия построек. В России до недавнего времени отсутствовала даже законодательная база для развития экостроительства. Однако в 2012г. был принят первый национальный стандарт устойчивого строительства – ГОСТ Р 54964–2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости», а также появился Совет по экостроительству (RuGBC).

Прогнозы специалистов по поводу развития экостроительства в России разнятся: одни говорят, что у нас будут появляться собственные разработки в области инновационных технологий и стройматериалов. Другие относятся к этой проблеме скептически. Из-за отсутствия элементарных знаний о плюсах «зелёного» строительства российские девелоперы не торопятся внедрять эту систему. Большинство из них не понимают, что, помимо сохранения окружающей среды, эко-объекты предоставляют более качественный и экономически эффективный уровень жизни. Несмотря на сделанные усилия в создании законодательной базы для «зеленого» строительства в нашей

стране, успешное возведение олимпийских объектов, качество строительства которых признали на мировом уровне, проблемы внедрения в повседневную практику неизбежно остаются. В первую очередь это отсутствие кадров для эффективной и масштабной подготовки «зеленых» специалистов, а также отсутствие финансирования «зеленых» проектов за счет банковских программ или государственных целевых средств [9].

Следовательно, для масштабного внедрения «зеленого» строительства как неотъемлемой части российского строительного рынка в Российской Федерации, необходимо сначала поменять экономическую составляющую в регионах страны. Необходимо ставить вопрос о инновационном развитии системы жилищно-коммунального хозяйства, удовлетворяющей современным потребностям жителей городов и мегаполисов, внедрять энергосберегающие технологии. Продвижение энергосберегающих технологий напрямую будет связано именно с реформированием жилищно-коммунального хозяйства.

Вывод. Проанализировав перспективы «зеленого» строительства, можно прогнозировать, что данная тенденция будет способствовать поддержанию здоровой окружающей среды, стимулировать новые научные разработки ученых в плане поиска альтернативных углеводородом источников энергии, продвигать экологический рынок строительных материалов, вдохновлять архитекторов на инновационный дизайн в строительстве, обеспечивать психологический и физиологический комфорт человеку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Страница о недвижимости – Зеленое экологическое строительство: международный и российский опыт <http://www.zametrani.ru/evropa/rossiya/zelyonoe-ekologicheskoe-stroitelstvo-mezhdunarodnyj-rossijskij-opyt/> (дата обращения: 18.04.2019).
2. Иванова К.А., Журенкова А.С. «Зеленые» стандарты в строительстве // Молодой ученый. 2016. № 9.1. С. 31–34.
3. Рейтинговая система BREEAM – [Электронный ресурс] URL: <http://www.breeam.com/> (дата обращения: 20.04.2019).
4. Рейтинговая система LEED [Электронный ресурс] URL: <https://new.usgbc.org/leed> (дата обращения: 20.04.2019).
5. Курбанов З.А. Особенности возведения высотных зданий на примере башни Тайбэй // International innovation research: сборник статей XII Международной научно-практической конференции: в 3 ч. Пенза: Изд. «Наука и просвещение», 2018. С. 48–50.
6. Страница в журнале speech: об архитектуре – The Edge – самое умное здание в мире [Электронный

ресурс] URL: <https://archspeech.com/article/fokkema-partners> (дата обращения: 25.04.2019).

7. Бернаскони Б. Гиперкуб. Как сделано первое здание в «Сколково». М., 2016. 120 с.

8. Страница в портале о современных технологиях – Строящийся в Самаре футбольный стадион получил сертификат BREEAM [Электронный ресурс] URL: <https://mplast.by/novosti/2014-11-10-breeam/> (дата обращения: 6.05.2019).

9. Гаевская З.А., Лазарева Ю.С., Лазарев А.Н. Проблемы внедрения системы «зеленых» стандартов // Молодой учёный. 2015. № 16(96). С. 145–152.

8. *Stranica v portale o sovremennyh tekhnologiyah – Stroyashchisya v Samare futbol'nyj stadion poluchil sertifikat BREEAM* [Page in the portal about modern technologies-football stadium under Construction in Samara received BREEAM certificate]. Available at: <https://mplast.by/novosti/2014-11-10-breeam/> (accessed 6 May 2018).

9. Gaevskaya Z.A., Lazareva YU.S., Lazarev A.N. Problems of implementation of the system of “green” standards. *Molodoy uchenyj* [Young Scientist], 2015, no. 16(96), pp.145–152. (in Russian)

REFERENCES

1. *Stranica o nedvizhimosti – Zelenoe ekologicheskoe stroitel'stvo: mezhdunarodnyj i rossijskij opyt* [Page about real estate-Green ecological construction: international and Russian experience.] Available at: <http://www.zametrami.ru/evropa/rossiya/zelyonoe-ekologicheskoe-stroitelstvo-mezhdunarodnyj-i-rossijskij-opyt/> (accessed 18 April 2018).

2. Ivanova K. A., Zhurenkova A. S. “Green” standards in construction. *Molodoy uchenyj* [Young Scientist]. 2016, no. 9.1, pp.31–34. (in Russian)

3. BREEAM rating system. Available at: <http://www.breeam.com/> (accessed 20 April 2018).

4. LEED rating system. Available at: <https://new.usgbc.org/leed> (accessed 20 April 2018).

5. Kurbanov Z.A. Features of the construction of high-rise buildings on the example of Taipei tower. *Trudy XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Penza, 2018, pp. 48–50.

6. *Stranica v zhurnale speech: ob arhitekture – The Edge – samoe umnoe zdanie v mire* [Speech magazine page: about architecture - the Edge is the smartest building in the world]. Available at: <https://archspeech.com/article/fokkema-partners> (accessed 25 April 2018).

7. Bernaskoni B. *Giperkub. Kak sdelano pervoe zdanie v «Skolkovo»* [Gypercube. How the first building in SKOLKOVO was made]. Moscow., 2016. 120p.

Об авторах:

АСТАФЬЕВА Нонна Сергеевна

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

ASTAFYEVA Nonna S.

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

ЛАГУТА Ирина Владимировна

старший преподаватель кафедры технологии и организации строительного производства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: ilaguta2013@yandex.ru

LAGUTA Irina V.

Senior Lecturer of the Technology and Organization of the Construction Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: ilaguta2013@yandex.ru

КУКАРИНА Елена Евгеньевна

ассистент кафедры технологии и организации
строительного производства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: elena21674138@yandex.ru

KUKARINA Elena E.

Assistant of the Technology and Organization of the
Construction Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: elena21674138@yandex.ru

ЕМЕЛЬЯНОВА Яна Олеговна

студентка факультета промышленного
и гражданского строительства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: emelyayana@yandex.ru

EMELYANOVA Yana O.

Student of the Faculty of Industrial and Civil Engineering
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: emelyayana@yandex.ru

Для цитирования: Астафьева Н.С., Лагута И.В., Кукарина Е.Е., Емельянова Я.О. Тенденции «зеленого» строительства в мире и современной России // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 109–117. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.16.

For citation: Astafyeva N.S., Laguta I.V., Kukarina E.E., Emelyanova Ya.O. Tendencies of “Green” Construction in the World and Modern Russia. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 109–117. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.16.

Уважаемые читатели!

Испытательный центр «Самарастройиспытания» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

- проведение сертификационных испытаний строительной продукции в соответствии с закрепленной областью аккредитации
- испытание экспериментальных образцов строительной продукции
- испытание опытных образцов при постановке промышленной продукции на производство
- испытание зданий и сооружений в процессе приемки и эксплуатации
- испытание серийно выпускаемой продукции
- периодические испытания образцов, взятых в торговле
- контроль качества строительной продукции
- периодическая проверка состояния производства
- обследование зданий и сооружений
- выполнение судебных экспертиз в области строительства
- анализ состояния производства продукции
- разработка технических условий
- проведение аттестаций испытательных строительных лабораторий
- испытания по признанию иностранных сертификатов соответствия
- совершенствование методик испытаний
- освоение и внедрение новых стандартных методов испытаний
- организация повышения квалификации и аттестации сотрудников строительных предприятий и организаций
- участие в разработке нормативных документов

Руководитель *Зубков Владимир Александрович*

Контакты:

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 315
тел./факс (846) 242-50-87, 242-32-84
E-mail: samstroyisp@gmail.com

Н. В. ДАНИЛИНА
С. В. ПРИВЕЗЕНЦЕВА

РАЗРАБОТКА ПЛАНИРОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ ПЕШЕХОДНО-КОММУНИКАЦИОННОГО КАРКАСА В ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛАХ С УЧЕТОМ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ МАЛОМОБИЛЬНЫХ ГРУПП ГРАЖДАН

**DEVELOPMENT OF A PLANNING DECISION OF PEDESTRIAN COMMUNICATION
FRAME IN TRANSPORT HUBS TAKING INTO ACCOUNT THE ORGANIZATION
OF THE MOVEMENT OF PEOPLE WITH LIMITED MOBILITY**

Раскрывается методологическая схема последовательности действий и реализации методик, с помощью которых проводится оценка потенциала территории транспортно-пересадочных узлов города для создания универсальной среды. Социальный аспект заключается в повышении качества транспортных услуг для населения с учетом организации движения маломобильных групп граждан: создание комфортных условий, возможность планирования времени, экономия денежных средств, расширение географии поездок и выбора способов их совершения. Рассмотренные требования и рекомендации по проектированию универсальной среды на пешеходных коммуникациях в транспортно-пересадочных узлах явились результатом комплексного анализа существующего опыта и особенностей организации пешеходных коммуникаций в транспортно-пересадочных узлах мегаполиса.

Ключевые слова: универсальная среда, транспортно-пересадочные узлы, пешеходные коммуникации, безопасное движение, требования, комфорт, маломобильные группы граждан

The methodological scheme of the sequence of actions and the implementation of methods for evaluation of city transport hubs potential to create a universal environment is revealed. The social aspect is to improve the quality of transport services for the population, taking into account the organization of movement of citizens groups with limited mobility: the creation of comfortable conditions, the possibility of planning time, saving money, expanding the geography of trips and the choice of ways to make them. The considered requirements and recommendations for the design of a universal environment on pedestrian communications in transport hubs were the result of a comprehensive analysis of the existing experience and features of the organization of pedestrian communications in transport hubs of the metropolis.

Keywords: universal environment, transportation hubs, pedestrian communications, safe traffic, requirements, comfort, people with limited mobility

Введение

В настоящее время в России действует программа ООН по определению стандартных правил обеспечения равных возможностей для всех групп населения. Обеспечение доступного использования городской среды маломобильными группами граждан является одной из приоритетных задач градостроительной и социальной политики в мировой практике [1]. Транспортно-пересадочные узлы (ТПУ) представляют собой узловые точки городской среды, соединяющие транспортную и общественную функцию и являющиеся фокусом притяжения населения. Обеспечение доступа к услугам, предлагаемым транспортно-пересадочными узлами для маломобильных групп граждан (МГГ), становится одной из важных задач градостроительного проектирования данного региона и города. По

характеру расположения пешеходные коммуникации транспортно-пересадочных узлов дифференцируются на следующие типы: подземные, надземные и наземные. Зачастую они представляют собой многоуровневую структуру для распределения транспортных потоков по нескольким направлениям с пересечением разных видов транспортного сообщения. Предполагаемая на их территории сеть пешеходных маршрутов, связывающих железнодорожные станции и вокзалы, автобусные и троллейбусные остановки и автостанции, является полюсом притяжения и объектов обслуживания, среди которых зоны ожидания, приобретения товаров, рекреации, получения информации и пр. Скопление значительных масс населения на территории транспортно-пересадочных узлов актуализирует задачи архитектора по форми-

рованию универсальной среды с учетом организации пешеходных коммуникаций для всех категорий населения и прежде всего – для маломобильных групп граждан.

Теория

Отечественный опыт в исследовании вопроса формирования планировочных решений, расчета параметров пешеходных коммуникаций представлен работами таких авторов, как В.М. Предтеченский, Д.А. Самошин, О.Ю. Лептюхова, Д.Н. Власов, Е.В. Щербина и другие [2–6].

В зависимости от расположения выделяют три основных типа линейных участков пешеходных путей: уличные, внеуличные основные, внеуличные второстепенные. Предельные минимальные значения ширины для выявленных категорий линейных участков составляют: для уличных – 1,8 м, для внеуличных основных – 1,5 м и для внеуличных второстепенных – 1,2 м [5].

Ряд авторов рассматривали функционально-планировочную организацию коммуникационного транспортно-пешеходного узла с помещениями коммерческого назначения над проезжей частью наземного рельсового транспорта, предусматривая локацию крытой пешеходной зоны в наземном и надземном уровнях с включением лестничных маршей и эскалаторов, а также различные варианты транспортно-пешеходных модулей [7]. Эти научные работы внесли значительный вклад в отечественном исследовании транспортно-пешеходных узлов, рассматривая их как «узловой элемент планировочной структуры города транспортно-общественного назначения», в котором осуществляется взаимодействие различных элементов транспортной общественной инфраструктуры [8]. Транспортно-пересадочный узел является местом сосредоточения множества инфраструктур с множеством принципиальных взаимосвязей составляющих элементов (рис. 1, 2) с различной организацией пешеходного обслуживания.

Следует отметить, что в исследованиях, посвященных анализу функционально-планировочных проблем транспортно-пересадочных узлов, вопросы формирования пешеходной структуры для маломобильных групп граждан не получили должного развития. Особого внимания требует соблюдение следующих требований по созданию универсальной среды:

- использование качественного нескользящего покрытия;
- соблюдение поперечного и продольного наклона тротуара;
- обустройство зоны отдыха;



Рис. 1. Схема элементов транспортно-пересадочного узла



Рис. 2. Принципиальная схема организации пешеходного обслуживания транспортно-пересадочного узла

- обеспечение кратчайшего, комфортного пешеходного маршрута;
- создание условий беспрепятственного движения по пешеходным коммуникациям;
- установка дополнительного освещения и информационных указателей;
- использование цветовой индексации элементов пешеходных коммуникаций;
- монтаж элементов уличного благоустройства.

Эксперимент

Авторами статьи проводились натурные обследования планировочной организации

транспортно-пересадочных узлов мегаполиса Москва на предмет организации пешеходных коммуникаций и их адаптации для маломобильных групп населения. Методика обследования пешеходных коммуникаций транспортно-пересадочных узлов основывалась на данных теоретических изысканий и анализе существующего опыта обследования пешеходных коммуникаций (рис. 3). Она описывает порядок проведения и состав обследуемых параметров пешеходных коммуникаций в рассматриваемых транспортно-пересадочных узлах.

При проведении натурных исследований и анализе статистических данных авторами статьи было выявлено, что максимальная интенсивность использования территории транспортно-пересадочного узла маломобильными группами граждан приходится на дневное время с 13.00 до 15.00 часов. При этом фиксация условий организации их движения по территории транспортно-пересадочного узла

показывает низкий уровень общего обустройства пешеходных коммуникаций, что создает критические условия движения. Анализ позволил выявить следующие характерные особенности:

– Маломобильные группы из числа лиц пожилого возраста и детей, которые плохо передвигаются самостоятельно и испытывают затруднения в посещении транспортно-пересадочных узлов, соответственно составляют 10 и 6,5 % [9].

– Наибольший процент посещений маломобильных групп граждан приходится на транспортно-пересадочные узлы районного значения, расположенные в зонах с низкой плотностью населения.

– На удалении до 200 м от выходов из станций внеуличного транспорта и до 100 м от остановочных пунктов наземного пассажирского транспорта необходимо сформировать основное ядро транспортно-пересадочного узла.



Рис. 3. Алгоритм проведения исследований существующей ситуации в транспортно-пересадочных узлах

Результаты

Результаты натурных обследований и теоретических изысканий авторов позволили сформулировать специфические требования к условиям организации движения пешеходов в транспортно-пересадочных узлах, а также определить роль проекта планировки территории транспортно-пересадочного узла как важнейшей составной части документации градостроительного проектирования, обеспечивающей рациональное размещение инфраструктурных элементов между собой; проектирование линейных пешеходных и транспортных связей с параметрами, обеспечивающими функциональность, безопасность и комфортность передвижения для всех пользователей транспортно-пересадочного узла [10]. На рис. 4 приведен порядок проектирования пешеходных коммуникаций с учетом включения в поток маломобильных

групп населения, состоящий из трех этапов: анализ существующего положения, расчет параметров, разработка проектного решения.

Предпроектный анализ строится на оценке существующих условий работы пешеходно-коммуникационного каркаса в транспортно-пересадочных узлах:

- анализ геометрических параметров существующих пешеходных коммуникаций, а также оценка условий движения по плотности пешеходного потока [11];

- анализ основных инфраструктурных элементов пешеходных коммуникаций (остановочные пункты транспорта, станции, выходы / входы с прилегающих территорий и объектов обслуживания населения).

Такой подход обеспечивает создание безопасных условий пешеходного движения и доступ всех групп населения к объектам в транспортно-пересадочных узлах.

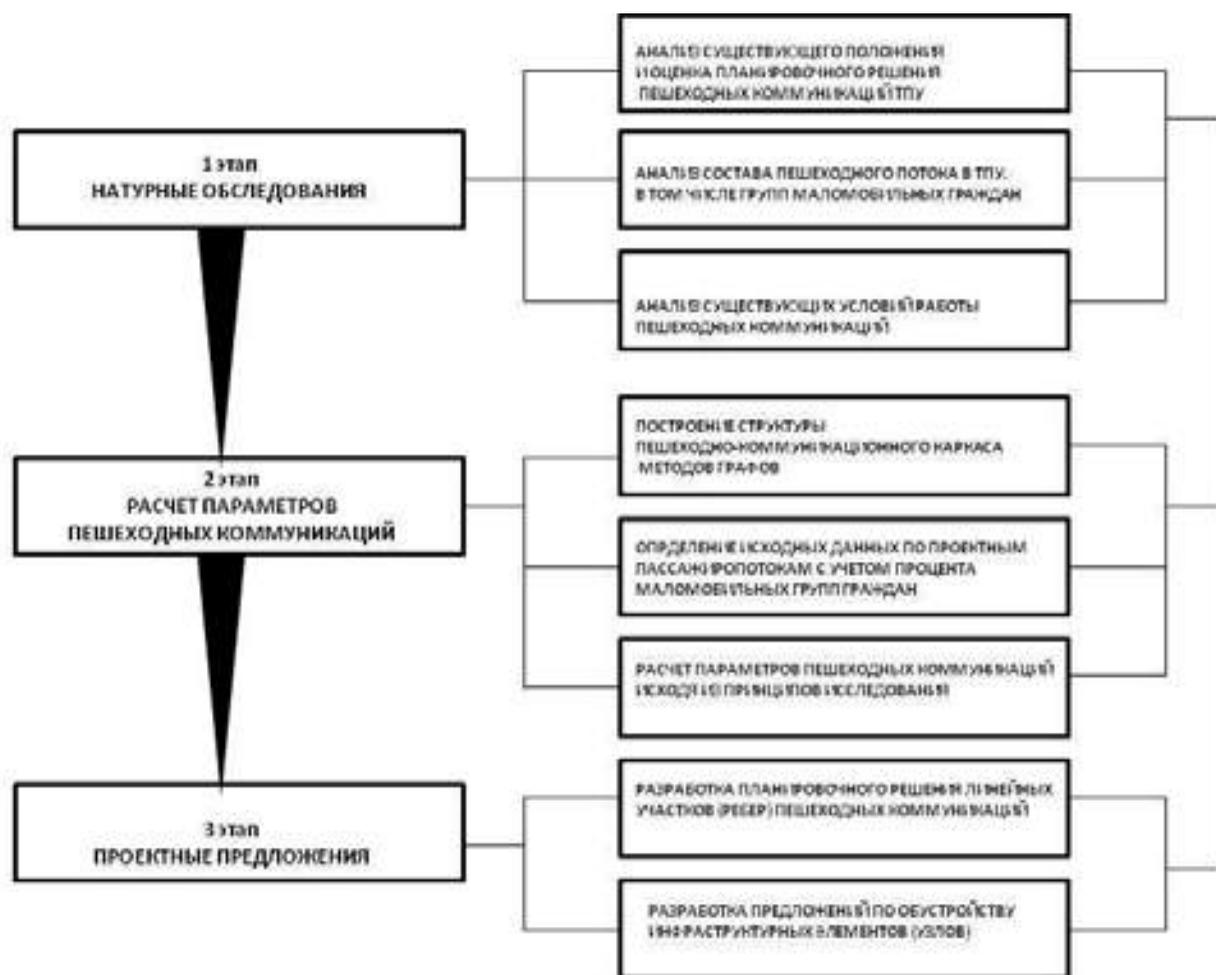


Рис. 4. Алгоритм разработки планировочного решения пешеходно-коммуникационного каркаса транспортно-пересадочного узла с учетом маломобильных групп населения

Вывод. Предложенная методика разработки планировочного решения пешеходно-коммуникационного каркаса в транспортно-пересадочных узлах с учетом маломобильных групп граждан позволяет определить расчетные характеристики каждого из участков пешеходного пути, а также комплекс планировочных и организационных мероприятий по благоустройству и формированию универсальной среды, среди которых: удаление препятствий с пути пешеходов, организация информационной и навигационной среды, размещение зон отдыха, благоустройство путей для движения пешеходов и организация пешеходных переходов в местах пересечения пешеходных путей и автомобильных дорог, в местах входов-выходов из зданий [12].

Разработанные рекомендации по планировочным и организационным мероприятиям на основе существующего мирового опыта учитывают специфические особенности формирования пространственной среды в транспортно-пересадочных узлах и позволяют сформировать универсальную среду на пешеходных коммуникациях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распоряжение Правительства РФ № 484-р от 31 марта 2014 г. о распределении субсидий, предоставляемых в 2014 году из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на софинансирование расходов на реализацию мероприятий, включенных в программы субъектов Российской Федерации, разработанные на основе примерной программы субъекта Российской Федерации по обеспечению доступности приоритетных объектов и услуг в приоритетных сферах жизнедеятельности инвалидов и других маломобильных групп населения.

2. Предтеченский В.М. О расчете движения людских потоков в зданиях массового назначения // Известия высших учебных заведений. Серия «Строительство и архитектура». 1958. № 7. С.157.

3. Предтеченский В.М., Тарасова Т.А., Калинин В.А. Методика натурных наблюдений за процессами движения людей при помощи кинофото съемки // Материалы XXI науч.-техн. конф. М.: МИСИ, 1962. С. 122.

4. Самошин Д.А. Современные программные комплексы для моделирования процесса эвакуации людей // Пожарная безопасность в строительстве. 2011. № 1. С. 62–65.

5. Лептюхова О.Ю. Комплексная оценка потребительского качества пешеходных коммуникаций в городских районах: автореф. дис. ... кандидата технических наук: 05.23.22 / МГУ. М., 2014. 24 с.

6. Щербина Е.В., Власов Д.Н. Развитие системы транспортно-пересадочных узлов Российской

Федерации // Архитектура и строительство России. 2013. № 6. С. 2–7.

7. Банк патентов [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://bankpatentov.ru/node/456863>.

8. Власов Д.Н. Транспортно-пересадочные узлы крупнейшего города (на примере Москвы). М.: Издательство АСВ, 2009. 96 с.

9. Привезенцева С.В., Данилина Н.В. Обеспечение условий доступа маломобильных групп граждан к инфраструктуре транспортно-пересадочных узлов // Вестник ТГАСУ. 2018. № 1. С. 373–378.

10. Данилина Н.В., Привезенцева С.В. Маломобильные группы населения в транспортно-пересадочных узлах // Вестник ТГАСУ. 2018. № 3. С. 49–56.

11. Older S.J. Movement of pedestrians on Footways in Shopping Streets // Traffic Engineering and Control, 1968, no. 4, pp. 160–163.

12. World health statistics 2014. World Health Organization. Report NLM classification: WA 900.1, Gva, 2014.

REFERENCES

1. *Rasporjazhenie Pravitel'stva RF № 484-r ot 31 marta 2014 g. o raspredelenii subsidij, predostavljaemyh v 2014 godu iz federal'nogo bjudzhetam bjudzhetam subjektov Rossijskoj Federacii na sofinansirovanie rashodov na realizaciju meroprijatij, vkljuchennyh v programmy subjektov Rossijskoj Federacii, razrabotannye na osnove primernoj programmy subjekta Rossijskoj Federacii po obespecheniju dostupnosti prioritnyh objektov i uslug v prioritnyh sferah zhiznedejatel'nosti invalidov i drugih malomobil'nyh grupp naselenija* [Decree of the Government of the Russian Federation No. 484-r dated March 31, 2014 on the distribution of subsidies provided in 2014 from the federal budget to the budgets of the constituent entities of the Russian Federation for co-financing expenses for the implementation of activities included in the programs of the constituent entities of the Russian Federation, developed on the basis of the approximate program of the constituent entity of the Russian Federation to ensure the availability of priority facilities and services in priority areas of life of people with disabilities and other low-mobility groups].

2. Predtechenskij V. M. On the calculation of the movement of human flows in buildings of mass purpose. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija «Stroitel'stvo i arhitektura* [News of Higher Educational Institutions. Series "Construction and Architecture"], 1958, no 7, p.157. (in Russian)

3. Predtechenskij V. M., Tarasova T. A., Kalincev V. A. Methods of full-time observation of the processes of movement of people using film photography. *Mat-ly XXI nauch. tehn. konf.* [Proceedings of the XXI Scientific Technical Conference]. Moscow, MISI, 1962. (in Russian)

4. Samoshin D. A. Modern software systems for modeling the process of evacuation of people. *Pozharnaja bezopasnost' v stroitel'stve* [Fire Safety in Construction], 2011, no 1, p. 62–65. (in Russian)

5. Leptjuhova O, Yu. *Kompleksnaja ocenka potrebitel'skogo kachestva peshехodnyh kommunikacij v gorodskih rajonah*. Kand. Diss. [Comprehensive assessment of consumer quality of pedestrian communications in urban areas. Cand. Diss.]. Moscow, 2014. 24 p.

6. Shherbina E.V., Vlasov D.N. Development of a system of transport and interchange hubs of the Russian Federation. *Arhitektura i stroitel'stvo Rossii* [Architecture and Construction of Russia], 2013, no 6, pp. 2–7. (in Russian)

7. Vlasov D.N. *Nauchno-metodologicheskie osnovy razvitiya aglomeracionnyh sistem transportno-peresadochnykh uzlov (na primere Moskovskoj aglomeracii)*. Dokt. Diss. [Scientific and methodological foundations of the development of agglomeration systems of transport hubs (for example, the Moscow agglomeration)]. Moscow, 2013. 37 p.

8. Vlasov D.N. *Transportno-peresadochnye uzly krupneishego goroda (na primere Moskvy)* [Transport hubs of the largest city (on the example of Moscow)] Moscow, ASV publ., 2009. 96 p.

9. Danilina N.V., Privezenцева S.V. Obespechenie uslovij dostupa malo – mobil'nyh grupp grazhdan k infrastruktуре transportno-peresadochnykh uzlov. *Vestnik TGASU*. Volgograd 2018. no 1, p. 373 – 378.

10. Danilina N.V. Mobility groups in transport hubs. *Vestnik TGASU* [JOURNAL of Construction and Architecture], 2018, no 3, p. 49 – 56. (in Russian)

11. Older S. J. Movement of pedestrians on Footways in Shopping Streets. *Traffic Engineering and Control*, 1968, no. 4, pp. 160–163.

12. World health statistics 2014. World Health Organization. Report NLM classification: WA 900.1, Geneva, 2014.

Об авторах:

ДАНИЛИНА Нина Васильевна

кандидат технических наук, заведующая кафедрой градостроительства
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26
E-mail: nina_danilina@mail.ru

DANILINA Nina V.

PhD in Engineering Science, Head of the Town Planning Chair
National Research University Moscow State University of Civil Engineering
129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe av., 26
E-mail: nina_danilina@mail.ru

ПРИВЕЗЕНЦЕВА Светлана Вячеславовна

преподаватель кафедры градостроительства
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26
E-mail: eledvendeesen@gmail.com

PRIVEZENTSEVA Svetlana V.

Lecturer of the Town Planning Chair
National Research University Moscow State University of Civil Engineering
129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoe av., 26
E-mail: eledvendeesen@gmail.com

Для цитирования: Данилина Н.В., Привезенцева С.В. Разработка планировочного решения пешеходно-коммуникационного каркаса в транспортно-пересадочных узлах с учетом организации движения маломобильных групп граждан // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 118–123. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.17. For citation: Danilina N.V., Privezentseva S.V. Development of a Planning Decision of Pedestrian Communication Frame in Transport Hubs Taking into Account the Organization of the Movement of People with Limited Mobility. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 118–123. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.17.

Н. А. КАЛИНКИНА
И. В. ЖДАНОВА
А. А. КУЗНЕЦОВА

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ВИДОВ ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЗДАНИЙ

SYSTEMATIZATION OF TYPES OF BUILDINGS NATURAL LIGHTING

Выбор вида естественного освещения в архитектурно-строительной практике зависит от целого ряда конструктивных, технологических и инженерных мероприятий. Проведенный авторами анализ российского и зарубежного опыта проектирования и строительства зданий позволяет констатировать факт стереотипного подхода к вопросу обеспечения помещений солнечным светом и отсутствие интереса к активно развивающимся техническим средствам, позволяющим улучшить освещенность. Статья посвящена вопросам организации и повышения качества освещения в зданиях различного назначения. В работе проведено обобщение видов естественного освещения, применяемых в современных постройках. Проанализированы положительные и отрицательные стороны всех видов освещения и даны рекомендации по возможности их применения для зданий с «трудноосвещаемыми» пространствами. Выделены параметры, влияющие на выбор вариантов освещения солнечным светом в зависимости от функционального назначения здания и его планировочной структуры.

Ключевые слова: естественное освещение, солнечный свет, боковое освещение, верхнее освещение, трудноосвещаемые пространства

Вопросы эффективности использования энергетических ресурсов в последнее время стоят очень остро во всем мире. Эта тема активно обсуждается и в России, находя развитие в государственных программах различного уровня. На искусственное освещение приходится значительная часть затрат в строительной сфере, и потенциал экономии данного вида ресурсов очень высок. Широкое использование естественного освещения – это способ значительно экономить, создавая одновременно с этим комфортную среду для людей, которые находятся в зданиях [1, 2]. Свет необходим для обеспечения требуемых параметров микроклимата в помещении, он оказывает благоприятное психофизиологическое воздействие на человека, решает эстетические и утилитарные задачи (обеспечение продолжительности инсоляции, нормативного значения освещенности пространства) [3, 4].

The choice of the type of natural lighting in architectural and construction practice depends on a number of constructive, technological and engineering measures. The authors' analysis of Russian and foreign experience in the design and construction of buildings allows us to ascertain the fact of a stereotypical approach to providing premises with sunlight and the lack of interest in actively developing technical means that can improve lighting. The article is devoted to the organization and improvement of the quality of lighting in buildings for various purposes. The paper generalizes the types of natural lighting used in modern buildings. The positive and negative sides of all types of lighting are analyzed and recommendations are given on the possibility of their use for buildings with "difficult to light" spaces. The parameters that influence the choice of options for lighting with sunlight are highlighted depending on the functional purpose of the building and its planning structure.

Keywords: natural lighting, sunlight, side lighting, overhead lighting, difficult to light spaces

Существуют следующие виды освещения: боковое, верхнее и комбинированное. Использование того или иного вида освещения в зданиях и сооружениях зависит от большого числа различных внешних и внутренних факторов [5]. К ним относятся: природно-климатические условия, внешний контекст местности (природное или городское окружение), архитектурное решение, режим эксплуатации объекта и многое другое. В зарубежной практике проектирования и строительства можно встретить интересные архитектурные и конструктивные решения, приводящие к более эффективному использованию естественного освещения. Эти решения, к сожалению, обычно связаны с удорожанием проекта на стадии проектирования и строительства, увеличением сроков окупаемости проекта, что снижает заинтересованность заказчиков в данных мероприятиях [6]. Повсеместно можно наблюдать – как по мере

развития техники и технологий, совершенствования материалов не происходит модернизация принципов освещения помещений. Рассмотрим варианты и приемы освещения зданий естественным светом [7, 8].

Боковое освещение – это освещение через оконные проемы, находящиеся на фасаде здания. Это самый распространенный вид освещения во всем мире. Это единственное решение, где расположение светопрозрачных конструкций позволяет обеспечить людям визуальную связь с «внешней средой». У данного типа освещения есть целый ряд ограничений и минусов в применении: отсутствие солнечного света в глубине зданий, недостаточная инсоляция в помещениях, ориентированных на север; переизбыток света и тепла в помещениях с южной ориентацией; высокие теплопотери (до 20 % от общих потерь здания) [9, 10]. Грамотная ориентация окон, безусловно, может свести к минимуму переосвещенность и перегрев в помещениях, но вопрос освещения «глубинных» помещений или пространств, не имеющих в качестве ограждений наружную стену, таким образом решить невозможно. В работе не рассматриваются варианты организации двустороннего, многостороннего или кругового освещения помещений, поскольку это является частным случаем и проблем с доступностью солнечного света в данных пространствах нет.

Для увеличения глубины проникновения естественного освещения через оконные проемы в стене зданий можно использовать «световые полки» (рис.1) – горизонтальные поверхности, которые перенаправляют свет вглубь помещения. В прераспределении света участвует и потолок, поэтому все элементы должны быть отделаны материалами с высоким коэффициентом отражения.

Большую роль при использовании этого приема освещения играет ориентация проемов, которая позволяет существенно увеличить количество проникающих лучей. При этом существует целый ряд требований, обеспечивающих эффективность подобного решения: окна должны располагаться максимально близко к потолку, на световой полке должны отсутствовать загрязнения, снижающие ее отражающую способность. При этом увеличение глубины проникновения света в помещении будет не столь уж значительным.

Для существенного повышения глубины проникновения естественного света в помещении потребуется значительное увеличение оконных проемов, но такой путь, во-первых, не всегда возможен с архитектурно-технологических и конструктивных точек зрения, во-вторых, приводит к росту теплопотерь и неравномерности освещения. Таким образом, более эффективным способом освещения «глубинных» пространств зданий будет применение комбинированного (бокового и верхнего) или верхнего освещения [11, 12].

Самым распространенным типом **верхнего освещения** является фонарь. **Фонари** достаточно часто используются для освещения общественных и производственных зданий. Существует большое количество видов фонарей, отличающихся по форме и конструктивному решению, но они всегда располагаются на крышах, в связи с чем имеют свои плюсы и минусы. Положительными моментами верхнего освещения можно считать возможность обеспечить естественным светом помещения или их зоны, в которых нет возможности обеспечить его при боковом освещении, так называемые «трудноосвещаемые» пространства [13, 14]. К минусам можно отнести: снижение аэродинамических

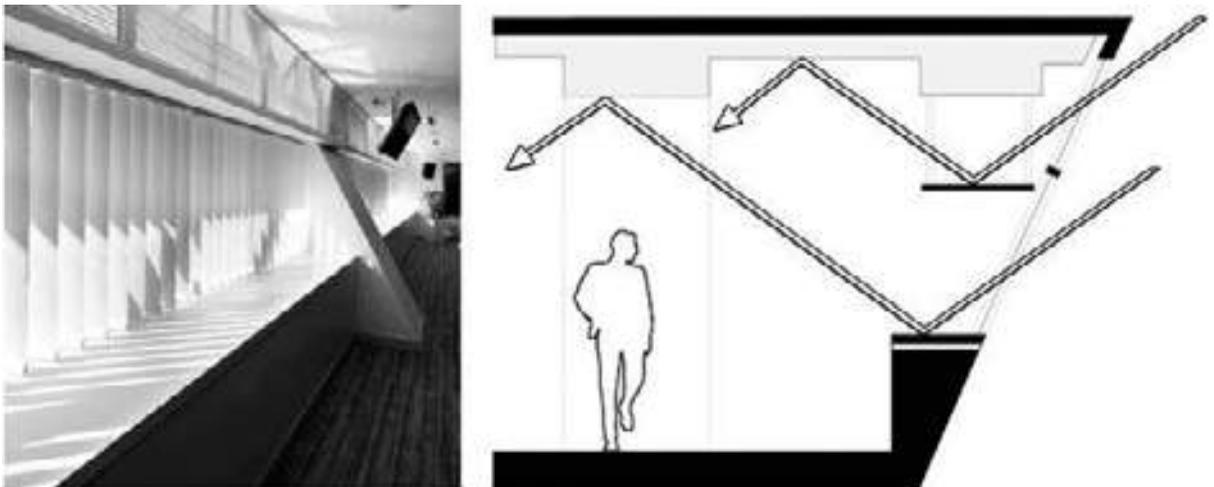


Рис. 1. Световые полки. Головной офис Министерства энергетики Малайзии

свойств зданий, увеличение снеговых нагрузок из-за снеговых мешков, протечки кровли в местах стыков с фонарем, снижение эффективности работы фонаря при низком положении солнца, особенно зимой [3, 15].

Атриумы также можно отнести к одному из архитектурных приемов организации освещения глубинных частей зданий естественным светом (рис. 2). Существует широкая типология атриумов и их деление по классификационным признакам, но при проектировании в большинстве случаев они лишь косвенно направлены на решение вопросов естественного освещения в здании, а выступают скорее как архитектурно-композиционный акцент. «Идеальный» атриум участвует в распределении естественного освещения в структуре здания. Он предполагает систему верхнего освещения, обеспечивающего максимальное светопропускание. Солнечный свет, отражаясь от боковых стен, перераспределяется на нижние этажи, обеспечивая «трудноосвещаемые» пространства естественным освещением. При грамотном проектировании и подборе формы атриума и отражающих материалов солнечный свет прой-

дет по нему как по световоду, распределяясь по уровням. Рациональной считается такая схема организации атриумного пространства, при которой на каждый уровень поступает достаточное для его освещения количество естественного света, а остальная часть перераспределяется дальше на нижележащие этажи.

В современном проектировании при грамотном учете всех климатических особенностей места проектирования атриум выступает как активный элемент в программе энергосбережения, участвующий в обеспечении качественного микроклимата в здании [16, 17].

Светопроницаемые покрытия и изделия. К ним можно отнести различные изделия и конструкции из стекла и стеклопластиков (рис. 3). Архитектурные решения, включающие светопрозрачные конструкции, обычно отличаются оригинальностью и образностью решений.

Интересно применение этих элементов как в объеме здания, так и в структуре пешеходно-рекреационных пространств. К минусам можно отнести достаточно высокую стоимость элементов. Конструкции «работают» днем для освещения объектов и подземного пространства



Рис. 2. Атриум Innovation Tower at the Polytechnic University (Hong Kong), архитектор Zaha Hadid's

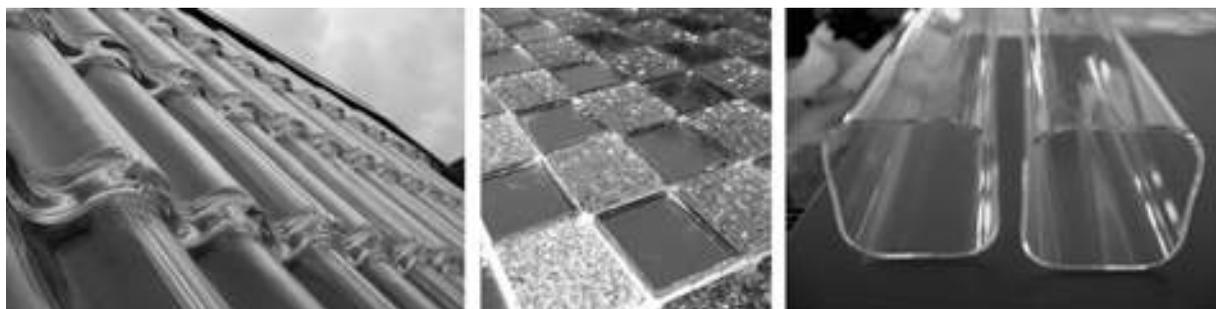


Рис. 3. Светопроницаемые изделия

естественным светом, а ночью – как элемент подсветки среды, объект искусственного освещения (т. е. свет идет изнутри – наружу) [18].

При большой площади застройки и небольшом количестве этажей достаточно хорошо себя зарекомендовал такой способ естественного освещения, как **световые колодцы** (рис. 4). Данная технология появилась еще в конце прошлого века и по мере развития и доработки стала набирать популярность. Основные плюсы данной технологии – энергоэффективность, допустимость установки как на крыше, так и на фасаде здания, возможность обеспечивать помещение естественным светом вне зависимости от ориентации самого здания [9, 19]. Энергетическая эффективность связана, во-первых, со строением самого устройства: малая площадь остекления приводит к незначительным потерям тепла. Во-вторых, оно позволяет освещать «глубинные» части здания, допуская возможность проектирования объектов с широким корпусом. Таким образом, данное устройство снижает нагрузку на многие инженерные системы, обеспечивая высокую степень экономии энергоресурсов и абсолютную экологичность.

Устройство состоит из коллектора (приемный элемент), трубы (проводящий элемент) и диффузора. Большим плюсом данной системы является использование в структуре коллектора подвижных зеркал, поворачивающихся по мере движения солнца (постоянно ориентированных по солнцу). Свет собирается коллектором в течение всего дня, что позволяет освещать помещения естественным светом от восхода солнца и до его заката. Внутри трубы за счет зеркальных линз свет может рассеиваться или собираться в пучки, менять направление и спектр благодаря включению определенных технических устройств. Оно обеспечивает равномерность освещения, высокое качество цве-

топередачи и отсутствие пульсации потока. Также в структуру данного устройства может включаться источник искусственного освещения, усиливающий дневной свет или полностью компенсирующий его недостаток в пасмурный день и ночью [20, 21].

К недостаткам данной системы можно отнести: наличие в ее структуре сложной оптической системы, имеющей высокую стоимость; устройство может применяться только в помещениях, где не нужно обеспечивать визуальный контакт человека с окружающей средой. Еще одним весьма существенным минусом системы является необходимость выделения определенного объема в структуре здания на светопроводящую трубу, что существенно влияет на планировочную и инженерно-технологическую структуру объекта. Данная технология уже получила достаточно широкое распространение в зарубежной практике проектирования, но применение в России очень ограничено [11, 22].

Гибридные системы естественного освещения (рис. 5). Данная технология уже довольно широко представлена «на рынке» и подходит для зданий различного функционального назначения. Система работает идентично «световому колодцу» и предназначена для перенаправления солнечного света и улучшения качества естественного освещения в помещениях. В ее структуру дополнительно включаются солнечные батареи и аккумуляторы, обеспечивающие сбор и накопление солнечной энергии для использования ее в пасмурные дни и ночное время.

Электропотребление в зданиях, обеспеченных подобными гибридными системами, снижается до 75 % [23]. Огромное достоинство данной системы в ее автономной работе, активном использовании экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Использование подобных систем будет очень привлека-



Рис. 4. Световой колодец

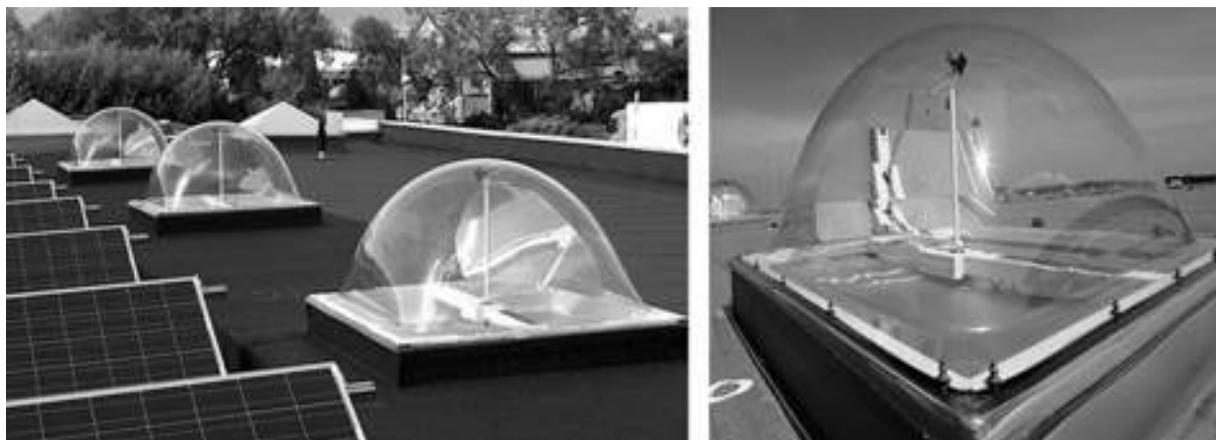


Рис. 5. Гибридное освещение. Системы LightCatcher

тельно с точки зрения экономии ресурсов при эксплуатации объектов.

Освещение с применением гелиостатов. Эту систему можно в какой-то степени сравнить со световым колодецем, но в «укрупненном виде». В классическом виде данная система освещения состоит из приёмно-концентрирующего устройства гелиостата, которое, находясь в окружающей среде, принимает и перенаправляет свет на «зеркальную стену», с которой, в зависимости от типа трансформации света (одноступенчатой или двухступенчатой), свет направляется либо непосредственно во внутреннее пространство, либо через световые шахты в «труднодоступные» для освещения места (рис.6). Гелиостаты могут располагаться как на крыше самого здания, так и на соседних, а также в уровне земли. Использование подобных установок позволяет экономить 40–70 %

электроэнергии, затрачиваемой на освещение. Большой плюс этой системы в том, что она способна работать автономно и достаточно легко интегрируется с системами искусственного освещения. Таким образом, применение интеллектуальных установок, позволяющих рационально использовать преимущества комбинированного типа освещения (естественного и искусственного), безусловно актуально.

К недостаткам системы можно отнести ее высокую стоимость, сложность монтажа, громоздкость оборудования, поскольку количество гелиостатов обычно соответствует числу освещаемых пространств и требует больших площадей для размещения устройств. Кроме того, при использовании световых шахт в организации освещения здания данной системе будут присущи все недостатки, которые характерны устройствам типа «световой колодец».



Рис. 6. Освещение с применением гелиостатов в здании One Central Park. Архитектор Jean Nouvel

Выводы. Проведённая систематизация сведений о возможных способах освещения помещений естественным светом позволяет подо-

брать наиболее подходящий вариант использования солнечного света в структуре здания. Проведённый анализ в очередной раз доказал

эффективность применения «зеленых» технологий, способных не только улучшить качество и равномерность естественного освещения здания в целом и его отдельных пространств, но и существенно экономить энергетические затраты в процессе эксплуатации здания.

Выбор вида естественного освещения в здании должен проходить путем отказа от стереотипов в проектировании [24]. Обеспечение высокого качества естественного освещения и комфорта в помещении, а также максимальной энергоэффективности предлагаемых решений для современных зданий требует нестандартных научно-технических решений. Для подбора оптимального, с точки зрения всех факторов, варианта использования естественного освещения здания необходим индивидуальный подход в каждом конкретном случае, с учетом всех макроклиматических параметров среды и создаваемого микроклимата в помещениях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кокаман Б., Рустемли С. Обзор современного состояния и перспектив стандартизации в области естественного внутреннего освещения // Светотехника. 2019. № 1. С. 6–20.
2. Vavilova T., Zhdanova I. Energy saving methods as a necessary component of architectural improvement of uniform housing development // MATEC Web of Conferences Ser. "International Science Conference SPbWOSCE-2016 "SMART City"" 2017. С. 06024.
3. Соловьёв А.К. Научные основы повышения энергоэффективности систем верхнего естественного освещения промышленных зданий с применением теории светового поля. : дис. ... доктора технических наук : 05.23.01 / Научно-исследовательский институт строительной физики. М., 2011. 251 с.: ил.
4. Егорченков В.А. Естественное освещение помещений и биоритмы человека // Светотехника. 2011. № 5. С. 61–65.
5. Малышева А.Н., Кононова М.С., Воробьева Ю.А. Анализ применимости различных систем естественного освещения для зданий гражданского назначения // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. № 2 (5). С. 9–17.
6. Хлабыстин А.Н., Рогатовских М. А. Улучшение естественного освещения в зданиях // Строительство и архитектура. тенденции развития современной науки. 2018. С. 211–212.
7. Шилкин Н.В., Естественное освещение – эффективный инструмент энергосбережения // Энергосбережение. 2016. № 5. С. 58–72.
8. Шилкин Н.В., Системы естественного освещения // Здания высоких технологий. 2013. № 4. С. 74–83.
9. Селянин Ю.Н. Естественное освещение – современный подход // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 2. С. 16–17.
10. Vavilova T.Ya., Potienko N.D., Zhdanova I.V. On modernization of capital construction projects in the context of sustainable development of social sphere // Procedia Engineering. 2016. Т. 153. С. 938–943.
11. Естественное освещение помещений URL: https://studref.com/553117/tehnika/estestvennoe_osveschenie_pomescheniy (дата обращения: 24.04.2019).
12. Горшкова А.Б., Вышегородских Б.А. Естественное и искусственное освещение общественных пространств в многофункциональных зданиях // Всероссийская научно-практическая конференция «Диск-2017»: сборник материалов. 2017. С. 189–193.
13. Калинкина Н.А., Малышева Е.В. Особенности устойчивого развития паркингов // Градостроительство и архитектура. 2016. № 4 (25). с. 103–106. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.19.
14. Сташевская Н.А., Скрипник Т.В., Нестерович П.Г., Системы верхнего естественного освещения, применяемые в общественных зданиях // Инженерные системы – 2014: Труды VII Международной научно-практической конференции / Российский университет дружбы народов. 2014. С. 69–74.
15. Мохельникова Й. Естественное освещение и фонари верхнего света // Светотехника. 2008. № 2. С. 26–30.
16. Потенко Н.Д., Курносенкова А.В. Актуальность использования атриумов в структуре университетов. Зарубежный опыт // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн: сборник статей [Электронный ресурс] / под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, Е.А. Ахмедовой. Самара, 2018. С. 138–143.
17. Generalova E., Generalov V., Kuznetsova A. Innovative solutions for building envelopes of bioclimatical high-rise buildings // Environment. Technology. Resources Proceedings of the 11-th International Scientific and Practical Conference. 2017. С. 103–108.
18. Шенетков Н.И. Энергоэффективный подход к освещению помещений и городской среды [Электронный ресурс] // Энергосбережение. 2016. № 3. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6399 (дата обращения: 24.04.2019).
19. Соловьёв А.К. Полые трубчатые световоды и их применение для естественного освещения зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 2. С. 53–55.
20. Соловьёв А.К. Естественное освещение подземных пространств // Светотехника. 2018. № 2. С. 70–74.
21. Бадикова А.Р. Комплексное сравнение систем естественного освещения // Комплексное сравнение систем естественного освещения. 2018. № 5. С. 9–11.
22. Соловьёв А.К., Туснина О. А. Сравнительный теплотехнический расчет систем верхнего естественного освещения (зенитные фонари и полые трубчатые световоды) // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 2 (46). С. 24–35.

23. Кузнецова А.А. Современные способы применения осветительных установок в архитектуре дошкольных организаций // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Архитектура и дизайн: сборник статей. Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. с. 82–86.

24. Кокорина Е.В., Баграмян М.С., Адоньева Д.А. Роль естественного освещения в формировании архитектурного пространства // Архитектурные исследования. 2018. № 4 (16). с. 48–59.

REFERENCES

1. Kokaman B., Rustemli S. Review of the current state and prospects of standardization in the field of natural interior lighting. *Svetotekhnika* [Light Engineering], 2019, no.1, pp. 6–20. (in Russian)

2. Vavilova T., Zhdanova I. Energy saving methods as a necessary component of architectural improvement of uniform housing development. MATEC Web of Conferences Ser. "International Science Conference SPb-WOSCE-2016 "SMART City"", 2017, no. 06024.

3. Solov'yov A.K. *Nauchnye osnovy povysheniya energoeffektivnosti sistem verhnego estestvennogo osveshcheniya promyshlennykh zdaniy s primeneniem teorii svetovogo polya*. Dokt, Diss [Scientific bases of increase of energy efficiency of systems of the top natural lighting of industrial buildings with application of the theory of a light field. Dokt, Diss]. Moscow, 2011. 251 p.

4. Egorchenkov V.A. Natural lighting and human biorhythms. *Svetotekhnika*. [Light Engineering], 2011, no.5, pp. 61–65. (in Russian)

5. Malysheva A. N., Kononova M. S., Vorob'eva YU. A. Analysis of applicability of various natural lighting systems for civil buildings. *ZHilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura* [Housing and Communal Infrastructure], 2018, no.2 (5), pp. 9–17. (in Russian)

6. Hlabystin A.N., Rogatovskih M. A. Improving natural light in buildings. *Stroitel'stvo i arhitektura. Tendencii razvitiya sovremennoj nauki* [Construction and Architecture. Trends in the Development of Modern Science], 2018, pp. 211–212. (in Russian)

7. Shilkin N.V. Natural light is an effective energy saving tool. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2016, no.5, pp. 58–72. (in Russian)

8. Shilkin N.V. Natural lighting systems. *Zdaniya vysokih tekhnologij* [High-tech Buildings], 2013, no.4, pp.74–83. (in Russian)

9. Selyanin YU.N. Natural lighting-a modern approach. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Building Materials, Equipment, Technology of the XXI Century], 2014, no.2, pp.16–17. (in Russian)

10. Vavilova T.Ya., Potienko N.D., Zhdanova I.V. On modernization of capital construction projects in the context of sustainable development of social sphere. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 153, pp. 938–943.

11. Natural lighting of the premises. Available at: https://studref.com/553117/tehnika/estestvennoe_osveshchenie_pomescheniy (accessed 24 April 2019).

12. Gorshkova A.B., Vyshegorodskih B.A. Natural and artificial lighting of public spaces in multifunctional buildings *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "Disk-2017"* [All-Russian scientific and practical conference "Disc-2017"], 2017, pp. 189–193.

13. Kalinkina N.A., Malysheva E.V. Features of sustainable development of Parking lots. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2016, no 4 (25), pp. 103–106. (in Russian)

14. Stashevskaya N.A., Skripnik T.V., Nestorovich P.G., Upper natural lighting systems used in public buildings. «*Inzhenerye sistemy – 2014*» *Trudy VII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [«Engineering systems-2014» Proceedings of the VII International scientific and practical conference], 2014, pp. 69–74.

15. Mohel'nikova J. Natural lighting and overhead lights. *Svetotekhnika* [Light Engineering], 2008, no. 2, pp.26–30. (in Russian)

16. Potienko N.D., Kurnosenkova A.V. The relevance of the use of atriums in the structure of universities. Foreign experience. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Arhitektura i dizajn* [Traditions and innovations in construction and architecture. Architecture and design], 2018, pp. 138–143. (in Russian)

17. Generalova E., Generalov V., Kuznetsova A. Innovative solutions for building envelopes of bioclimatical high-rise buildings. *Environment. Technology. Resources Proceedings of the 11–th International Scientific and Practical Conference*, 2017, pp. 103–108.

18. Shchepetkov N. I. Energy efficient approach to indoor and urban lighting. Available at: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6399 (accessed 24 April 2019)

19. Solov'ev A.K. Hollow tubular light guides and their application for natural lighting of buildings. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2017, no. 2, pp. 53–55. (in Russian)

20. Solov'yov A. K. Natural lighting of underground spaces. *Svetotekhnika* [Light Engineering], 2018, no. 2, pp.70–74. (in Russian)

21. Badikova A.R. A comprehensive comparison of the systems of natural lighting. *Kompleksnoe sravnenie sistem estestvennogo osveshcheniya* [A comprehensive comparison of the systems of natural lighting], 2018, no. 5, pp. 9–11. (in Russian)

22. Solov'ev A. K., Tsnina O. A. Comparative heat engineering calculation of upper natural lighting systems (skylights and hollow tubular light guides). *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal* [Civil Engineering Magazine], 2014, no. 2 (46), pp. 24–35. (in Russian)

23. Kuznecova A.A. Modern methods of application of lighting systems in the architecture of preschool organizations. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Arhitektura i dizajn* [Traditions and innovations in construction and architecture. Architecture and design], 2017, pp. 82–86. (in Russian)

24. Kokorina E.V., Bagramyan M.S., Adon'eva D.A. The role of natural light in the formation of architectural space. *Arhitekturnye issledovaniya* [Architectural Research], 2018, no. 4 (16), pp. 48–59. (in Russian)

Об авторах:

КАЛИНКИНА Надежда Александровна

кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры жилых и общественных зданий Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: nad_si@mail.ru

KALINKINA Nadezhda A.

PhD in Architecture, Associate Professor of the Architecture of Residential and Public Buildings Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (904) 749-20-00 E-mail: nad_si@mail.ru

ЖДАНОВА Ирина Викторовна

кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры жилых и общественных зданий Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: zdanovairina@mail.ru

ZHDANOVA Irina V.

PhD in Architecture, Associate Professor of the Architecture of Residential and Public Buildings Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (927) 203-20-10 E-mail: zdanovairina@mail.ru

КУЗНЕЦОВА Анна Андреевна

кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры жилых и общественных зданий Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: amore_86@mail.ru

KUZNETSOVA Anna A.

PhD in Architecture, Associate Professor of the Architecture of Residential and Public Buildings Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (927) 748-65-51 E-mail: amore_86@mail.ru

Для цитирования: Калинкина Н.А., Жданова И.В., Кузнецова А.А. Систематизация видов естественного освещения зданий // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 124–131. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.18. For citation: Kalinkina N.A., Zhdanova I.V., Kuznetsova A.A. Systematization of Types of Buildings Natural Lighting. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 124–131. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.18.

Уважаемые читатели!

Научно-технический центр «АРХИГРАД» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

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

Руководитель *Вавилонская Татьяна Владимировна*

Контакты:

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

И. В. КУКИНА
Я. В. ЧУЙ
А. А. ГОРША

КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОТКРЫТЫХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ НА ЖИЛЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

KEY ASPECTS OF FORMATION OF OPEN PUBLIC SPACES IN RESIDENTIAL TERRITORIES

Рассматривается проблема формирования открытых общественных пространств жилых территорий с позиции устойчивого развития. Данный подход в исследовании рассмотрен по социальному, экономическому и экологическому направлениям с целью создания инвестиционной заинтересованности, индивидуализации территории, концентрации активности жителей и благоприятных условий проживания. Территория, представляющая интерес для разных профессиональных, социальных, самодельных групп жителей, требует рационального подхода к ее использованию, структуризации пространства.

Ключевые слова: устойчивое развитие, общественные функции, жилые территории, социальные аспекты, экологические аспекты, экономические аспекты

Открытые общественные пространства можно определить как интегрирующие в структуру жилой территории трудовые, рекреационные и образовательные функции, что характеризует их как полифункциональный организм, тем самым повышается социальная активность и привлекательность жилых территорий. Общественные пространства жилых территорий должны соответствовать психологическим, социальным и эмоциональным потребностям обитателей.

Исследование открытых общественных пространств жилых территорий позволило сформулировать следующие проблемы:

– жилая территория городов формируется в виде непрерывных и плотно застроенных типовыми жилыми блоками зон, вследствие чего одной из задач следует считать восстановление естественного озеленения, биоразнообразия, долин малых рек, формирование непрерывно-зеленого каркаса района и т. д.;

– на открытых общественных пространствах жилых территорий отмечается рост коммерциализации, проявляющийся во внедрении на эти территории малого и среднего бизнеса, что порождает новые виды взаимоотношений,

The problem of forming open public spaces of the residential areas from the perspective of sustainable development is viewed. This approach is considered in the study in social, economic and environmental areas with the aim of creating investment interest, individualization of the territory, concentration of activity of residents and favorable living conditions. The territory of interest to various professional, social, amateur groups of residents requires a rational approach to its use, the structuring of space.

Keywords: sustainable development, social functions, residential territories, social aspect, ecological aspect, economic aspect

захват розничной торговлей общественных пространств, проблемы с увеличением количества автомобильного транспорта у населения и т. д. Все эти процессы трудно поддаются контролю и негативно сказываются на организации общественных пространств жилых территорий.

Организация общественных пространств жилых территорий даст импульс для развития социального контроля над территорией, разграничения общественного и частного землепользования, полноценной и самодостаточной среды жизнедеятельности, идентификации районов, вовлечения жителей в процесс проектирования и реализацию проекта. Большая роль при устройстве общественных пространств жилых территорий должна отводиться вопросам ландшафтной организации, направленной на сохранение природных особенностей, экологического воспитания жителей, развития непрерывных зеленых связей. Понимание ключевых аспектов может быть полезно при проектировании новых жилых территорий и реновации исторически сложившихся.

Проектирование открытых общественных пространств жилых территорий в настоящее время становится все более многогранным,

обуславливается общими целями создания оптимальной жилой территории с учетом современных потребностей населения. Принимаемые решения по развитию открытых общественных пространств жилых территорий как никогда раньше предопределяются «концепцией устойчивого развития», рассматривающей экономические, экологические и социальные аспекты организации территорий, которые постоянно взаимодействуют и неразрывно связаны между собой.

Комплексному рассмотрению аспектов экологической реновации природно-антропогенного ландшафта в городе соответствуют научные исследования В.А. Нефедова, И.В. Кукиной, Н.А. Унагаевой [1–3]. Вопрос взаимоотношений частных и общественных интересов на открытых пространствах раскрывает Я.В. Чуй, также она исследует изменения общественных пространств городов в конце XX–начале XXI в. и формирование системы общественных пространств [4]. Воздействие организации городского ландшафта на социально-психологическое состояние человека рассмотрено в научно-исследовательской работе Л.В. Анисимовой [5]. Л.В. Анисимова и А.В. Крашенинников предложили принципы формирования жилого пространства в зависимости от типа межличностных отношений [5, 6]. В работе А.В. Крашенинникова затрагиваются проблемы градостроительной деятельности в условиях перехода к рыночной экономике и градостроительное регулирование жилой застройки. Отдельный ряд исследований связан с социально-ориентированным планированием, авторы исследований – И.Г. Федченко, И.В. Кукина, А.В. Крашенинников, Г.А. Птичникова, К.В. Кияненко, Н.А. Унагаева [7–9]. Ряд научно-исследовательских работ посвящены социологическим аспектам пространственной организации городской среды: М.А. Вотинов, Г.А. Птичникова, Ю.Н. Жилина, Л.Б. Коган, М.А. Шамычкова, В.Л. Глазых, Н.П. Крайняя. Интеграция рабочего пространства в жилую среду прослеживается в работах К.В. Камаловой [10], И.Г. Федченко, И.В. Кукиной, А.Э. Гутнова. Современные тенденции функционального назначения нижнего яруса как средового субъекта в процессе развития городской застройки исследованы Д.Л. Коптяевым [11], Д.В. Березиным. Типология пространств жилых территорий затрагивается в работах А.В. Крашенинникова, Е.Е. Нитиевской [12], И.Н. Етеревской, Л.В. Анисимовой [5]. Изучение пространственной мобильности и доступности отражены в работах Н.П. Крайней, Л.В. Анисимовой. Основные критерии оптимизации регламентации ландшафтного планирования, направленные на улучшение

экологических качеств среды, сформулированы А.Н. Тетиором, В.А. Хомичем. В исследованиях Р.Г. Аракелян, Л.В. Бабушкиной предложены принципы и способы формирования жилой среды для повышения ее качества [13].

Однако нормативно-правовая документация по градостроительству и научные труды в совокупности по этой тематике только формируются, существующие нормы не дают в полной мере возможности создания открытых общественных пространств жилых территорий, обеспечивающих гармоничное функционирование многофункциональной среды и ее высокое качество.

Актуальность темы данного исследования заключается в выявлении и поиске направлений повышения комфортности и безопасности городской среды российских городов, что является важной архитектурно-градостроительной задачей, решающей задачи национального проекта «Жилье и комфортная городская среда». Оценка качества городской среды проживания, по версии авторов, должна быть разработана в целях проведения анализа качества городской среды проживания для обеспечения принятия эффективных решений в сфере градостроительной и жилищной политики.

Эффективность такой политики существенно повышается при ее территориальной дифференциации с учетом социально-экономических и демографических перспектив развития регионов, городов и иных поселений. Для выработки такой стратегии как на государственном, так и на региональном уровнях и принятия квалифицированных решений по развитию городов и иных поселений критически важной становится задача рассмотреть социальные, экологические и экономические проблемы существующего состояния жилой среды, сложившейся как в исторический, так и в индустриальный периоды развития общества, когда формировалось массовое строительство типовых микрорайонов. Также важно наметить предпосылки повышения социально-экономическими и архитектурно-градостроительными средствами функционального комфорта, эстетической привлекательности, экологической и социальной безопасности в сложившейся типовой стандартизированной застройке.

Международный опыт показывает, что оценивать качество городской среды можно различными способами, с использованием различных методик, в основе которых лежат разные подходы к трактовке понятия «городская среда». Вместе с тем общей чертой большинства таких методик является использование в разных комбинациях более или менее постоянного набора показателей (индикаторов) (как

объективно измеряемых, так и субъективно оцениваемых), характеризующих такие сферы городской жизни, как транспортная связность, жилищные условия, доступность услуг, экологическая обстановка, благоустройство, безопасность и ощущение комфортности городской среды жителями. Эти аспекты как раз и исследуют авторы статьи.

Ими рассматривается проблема формирования открытых общественных пространств жилых территорий с позиции устойчивого развития. Данный подход в исследовании рассмотрен по социальному, экономическому и экологическому направлениям с целью создания инвестиционной заинтересованности, индивидуализации территории, концентрации активности жителей и благоприятных условий проживания.

Экономические аспекты

Интеграция малого и среднего бизнеса оказывает существенное влияние на формирование общественных пространств жилых районов – на их «*коммерциализацию*». Стоит отметить, что коммерческие предприятия располагаются как на территориях, так и в жилых зданиях, а также наблюдается несанкционированная торговля в виде «мобильных» рынков, фестивалей, ярмарок выходного дня и т. д. Рассматривая такое явление, как «мобильные» рынки на жилой территории, важно обратить внимание на то, что некоторые из них носят сезонный характер. При неконтролируемой организации таких пространств неудивительно, что торговцы спонтанно занимают территории неофициальным образом и продают товары (цветы, овощи, цветы, сельскохозяйственную продукцию) без лицензии, располагаясь в местах жилых территорий – на автобусных остановках, транзитных пространствах, на перекрестках вдоль магистральных улиц, в местах массового скопления жителей, возле магазинов, на машинах возле дома, раскладывая товар на какую-либо поверхность или организуя самодельный навес. Такие частные предприниматели провоцируют определенный вид социальных взаимоотношений на жилой территории, устанавливая свою ценовую политику, и не способствуют архитектурному качеству среды.

Одним из важнейших направлений, о котором также идет речь в статье, является так называемое смешанное использование (**mixed use**). Оно предполагает внедрение в первые этажи жилых зданий, помещения которых расположены в сторону улицы, функций обслуживания жителей услугами повседневного спроса на основе пешеходной доступности. Это сфера для мест приложения труда горожан, особенно предприятий малого и среднего бизнеса.

Пешеходная доступность таких общественных пространств может снижать уровень транспортных потоков, усиливать общественную значимость улицы, ее социальную и эстетическую привлекательность.

Коммерческое обслуживание чаще других видов занятости располагается в нижних ярусах жилых домов и безусловно влияет на формирование общественных пространств. Д.Л. Коптяев выделяет несколько типов использования нижнего яруса: «культурно-досуговое, общественное, коммерческое, хозяйственно-бытовое, производственная деятельность жильцов, также как палисадники для жителей домов, проживающих на первом этаже» [11]. Коммерческое обслуживание, ориентированное во двор, нарушает спокойную обстановку дворовых пространств, способствует увеличению числа припаркованных автомобилей, такое пространство становится «прикоммерческим». Например, организация объектов торгового назначения в жилом комплексе «Белые росы» в Красноярске (рис. 1).



Рис. 1. Коммерческое обслуживание на первом этаже жилого дома ориентировано во двор. Жилой комплекс «Белые росы» в Красноярске

В случае, если объекты коммерческого назначения располагаются вдоль магистралей и транзитных пешеходных путей, происходит захват общественных пространств под коммерческие нужды. За счет коммерческой деятельности, в то же время, возможно усилить привлекательность общественных пространств. Как правило, от качества общественных территорий зависит рентабельность места для бизнеса. В связи с физической деградацией некоторых открытых территорий владельцам и сотрудникам магазинов и кафе приходится самостоятельно создавать привлекательную среду «прикоммерческих» пространств для клиентов.

В жилом районе Феннпфуль в Берлине можно наблюдать, как коммерческая деятельность выходит на общественные пространства жилой территории в виде ресторанов, прилавков, что выглядит достаточно привлекательно и аккуратно интегрировано на транзитное пространство, не мешая пешеходам и способствуя активизации пространства (рис. 2).

Увеличение количества объектов коммерческого назначения на жилой территории является стимулом для повышения деловой активности жителей района и для создания концентрированных социально-активных общественных пространств жилых территорий, поскольку основные пешеходные пути складываются между объектами малого и среднего бизнеса, общественными учреждениями и остановками общественного транспорта.

Л.В. Анисимова выделяет такой аспект, как «*эффективность*» общественных пространств – это показатель сравнения затрат с ожидаемым результатом. Относительно открытых общественных пространств жилой территории дан-



Рис. 2. Центральная общественная ось в районе Феннпфуль в Берлине

ный показатель всегда неуравновешен, и от вложенных средств никто не ожидает реальной прибыли. Их принято считать убыточными и вложение в них средств малоэффективным. Поскольку входящие в расчет ценности не измеримы непосредственно, «объективное» составление эффективности может быть растянуто во времени. Да и чем измерить хорошее настроение и самочувствие людей, вызванные высоким функциональным и эстетическим качеством благоустройства городской среды?» [5]. В то же время установлен факт, что качественно выполненные открытые общественные пространства жилых районов повышают коммерческую привлекательность жилища. Так,

например, новый жилой район «Южный берег» в Красноярске стал самым привлекательным в городе за счет высокого качества среды общественных пространств, поэтому люди с другого конца города приезжают погулять по набережной и коммерчески активным улицам. Стоит заметить, что дворовая территория закрыта от посторонних и бизнеса.

В целом внедрение коммерческих структур в пространство жилой территории спровоцировало множество проблем – несанкционированное паркование, нарушение приватности пространства, неконтролируемое количество рекламы, разнородность пространства, разграничение различных потоков. Положительным следует отметить размещение рабочих мест в шаговой доступности, организацию мест общения жителей района, создание концентрированных социально-активных общественных пространств, беспрепятственный доступ к различным видам социальной и хозяйственно-бытовой инфраструктуры.

Общественные пространства жилых территорий с точки зрения экономического развития должны быть интересными, саморазвивающимися.

Экологические аспекты

Для обеспечения экологической устойчивости жилых территорий необходимо использовать природный потенциал территорий, повышая его способность к самовосстановлению, с помощью восстановления русла рек и других фрагментов природных составляющих, создание непрерывной сети зеленых насаждений в пределах жилых районов. В данной связи необходим учет и регламентация площади покрытий и зеленых насаждений. При эколого-ориентированном планировании общественных пространств жилых территорий необходимо максимально рационально оценивать баланс антропогенных и естественных процессов, экстенсивно использовать территории естественных ландшафтов, оставлять ареалы природного комплекса для развития аборигенных живых организмов и путей миграции, обеспечивая взаимное сосуществование жителей и компонентов природной среды в границах жилых районов [7].

Применение вышеописанных методов экологической организации общественных пространств жилых территорий прослеживается в проекте реновации панельной застройки района Зильберхехе в Галле, где роль открытых общественных пространств усиливается с помощью объединения их в единую систему зеленых коридоров, выходящую за пределы жилого района. Отправными точками системы зеленых коридоров являются сохраненные

естественные ландшафты, представленные в виде набережной вдоль реки Эльбы в северной части жилого района и лесного массива в западной части (рис. 3). Необходимо также обеспечивать защиту от шума, соблюдение санитарных параметров воздуха, воды, почвы, инсоляции и аэрации территории, сохранение ценных зеленых насаждений, организацию поверхностных стоков, развитие и поддержание мест обитания растений и животных, форми-



Рис. 3. Схема зеленых коридоров жилого района Зильберхехе в Галле

рование ландшафта города для человека, идущего пешком. Использование экологичных материалов при проектировании и создании общественных пространств жилых территорий способствует оздоровлению и самоподдержанию жилых районов, увеличению эстетической привлекательности. В жилом районе Феннпфуль в Берлине игровая площадка для детей создана из простейших экологичных материалов, таких как земля, песок, гравий, камень, дерево. Это общественное пространство провоцирует формирование контактов и активности, экологически и физически безопасное, визуально привлекательное.

Большое значение имеет развитие экологического воспитания жителей через создание коммуникативной среды, направленное на формирование экологической культуры, новых образов мышления, творческих инициатив, через совместное благоустройство и проектирование территории, ухода за ней, принятия участия в добровольном труде [4, 7].

При использовании арт-объектов, фонтанов, мозаики на стенах здания, индивидуальной ландшафтной организации территории, единой стилистики цветового решения планировочных объектов жилого района, обладающих смысловым значением на открытых

пространствах в совокупности с зелеными территориями и композициями, повышается уровень привязанности жителей к территории своего района. Например, в проекте реновации жилого района Горбитц в Дрездене проведена структуризация и иерархизация открытых пространств жилой территории на private, полуприватные и общественные, а также ландшафтная реконструкция территорий с включением элементов идентификации (рис. 4).



Рис. 4. Район Горбитц в Дрездене. Приватное пространство

Общественные пространства с точки зрения экологического развития должны быть: с включением природного ландшафта и непрерывными зелеными связями, безопасными, физически доступными, формирующими «экоциальное» мышление [7].

Социальные аспекты

Анализ социальных аспектов формирования общественных пространств жилых территорий необходимо провести по следующим направлениям: организация общественно-рекреационных пространств общего пользования, решение проблематики занятости населения в связи с развитием малого и среднего бизнеса, консолидация самодеятельных сообществ в создании своей среды обитания.

Существует зависимость организации открытых пространств в жилой среде от их приоритетного использования. Например, приватное пространство служит местом уединения и отдыха менее мобильной категории населения, дворовое пространство – для общения людей, проживающих рядом, и т. д. Общественное пространство жилых территорий должно соответствовать тому, что мы предполагаем в нем делать. «Соответствовать количественной обеспеченности; соответствовать

поведению человека; соответствовать понятию «комфорта» [5].

Визуальная среда способствует тому, что жители отождествляют себя с той территорией, на которой они проживают. Поэтому особое внимание следует уделять ландшафтной организации общественных пространств в жилых районах, которая влияет на самоидентификацию сообществ. Также самоидентификация формируется различной мотивацией к взаимодействию: к решению общих проблем на территории, к принадлежности возрастным или творческим интересам. Необходимо способствовать развитию временных и постоянных сообществ по характеру профессиональной, общественной, досуговой деятельности, в зависимости от возраста и пола горожанина [5]. Целью социальной идентификации является усиление социальных контактов, объединение людей, формирование чувства сопричастности к пространству [5, 7].

С точки зрения социальных характеристик общественные пространства жилых территорий должны обладать следующими качествами:

По доступности:

- беспрепятственный доступ к общественным благам (как на территорию, так и на социальном уровне);

- благоустроенная пешеходная сеть на жилой территории, в т. ч. для маломобильной группы населения. Непрерывная велосодержимая сеть и система озеленения, внедрение требований и мер, понижающих скорость движения автотранспорта [7];

- сезонное использование общественных пространств жилых территорий;

- расширение диапазона досуговых занятий для различных возрастных групп населения вблизи жилища. Содержательная и разнообразная среда [1, 7].

По безопасности:

- обустроенность общественных пространств за счет освещения, озеленения, малых архитектурных форм, качественного покрытия, трассировки пешеходных маршрутов, что вызывает психологическое чувство спокойствия и уверенности, физической защищенности от природных явлений, случайного травмирования, дорожно-транспортных происшествий и криминальных ситуаций [1];

- отсутствие посторонних людей на автомобильных проездах, козплощадках, транзитных путях во дворе. Одним из методов решения проблемы является создание насыпных холмов, повышение или понижение уровня земли, пандусов, акцентировка входов и опасных мест;

- сбалансированность социально-функционального наполнения территории [7]. Основу

безопасного пространства составляют комбинации реальных и символических барьеров, которые четко определяют защищаемое пространство и дают возможность наблюдать за ним [5];

- возможность контроля за всей территорией. Защита людей и их собственности от агрессии;

- соответствие размеров и членений пространства размерам человека [5].

Интеграция коммерческих предприятий способствует конфликту частных и общественных интересов. Для решения конфликта необходимо организовывать жителей так, чтобы они управляли этой территорией, принимали участие в планировании и организации своего общественного пространства, например, чтобы в структуру общественного пространства жилой территории закладывались только те коммерческие функции, которые необходимы жителям. В этой ситуации жители и владельцы бизнеса будут заинтересованы в развитии совместной территории и будут складываться партнерские отношения [4, 7].

Введение в практику самоуправления жилых территорий методов привлечения жителей в проектно-планировочную деятельность создаст среду, способную к адаптации новым и изменяющимся требованиям жителей. В процессе неформального планирования у людей происходит осмысление городского пространства, заинтересованность в реальном улучшении условий своей среды, в том числе развитие экологического воспитания, формирование традиций на определенной территории [7].

В подобных видах деятельности принимают участие также научные коллективы, например, Департамент научного образования автономного университета Барселоны и муниципальный Департамент окружающей среды Сант-Куталь-Вальес в Каталонии разработали программу по содействию школ устойчивому развитию, а также по установлению связей между школами и сообществами жилых районов для развития новой области обучения под названием «School Agroecology». Целью программы являлось включение школ для развития производства агроэкологических продуктов питания и потребления продуктов питания. Один из коллективных проектов заключался в преобразовании школьных и общественных продовольственных садов как мест для выращивания исчезающих местных растений жилого района.

Одним из примеров экологического воспитания жителей является проект района Savsko в Любляне фирмы «prostoRož». Через организованные и спонтанные собрания с жильцами была разработана программа трансформации общественных пространств в жилом районе на

нескольких уровнях: в виде социальных, культурных и спортивных мероприятий, проектирования дизайн-пространственного видения населения района. Было организовано пространство для общественных дискуссий, где каждый человек мог быть включен в область, которая его интересует.

В целом на формирование открытых общественных пространств жилых территорий влияет сегрегация общества, стратификация, взаимоотношения частных и общественных интересов.

Общественные пространства с точки зрения социального развития должны быть: легко трансформируемыми в зависимости от новых потребностей жителей; соответствующими образу жизни и потребностям различных социальных групп; многофункциональными; дифференцированными в зависимости от использования и поведения (создание условных границ); стимулирующими появление социальных сообществ (социальных связей); доступными; сомасштабными человеку; безопасными; контролируруемыми.

Учет всех этих аспектов возможен только при рациональном и сбалансированном подходе к планированию общественных пространств жилых территорий, их структуризации.

Выводы. Теоретическое и практическое исследование общественных пространств жилых территорий дает основания полагать, что для формирования современных открытых общественных пространств жилых территорий, соответствующих современным требованиям, следует учитывать следующие аспекты:

- экономические – коммерциализация общественных пространств жилых территорий; дополнительное размещение мест труда;

- экологические – создание непрерывного зеленого каркаса жилой территории, в том числе и за счет восстановления компонентов природного комплекса при возможности; использование экологичных материалов; обеспечение экологической идентичности жилой территории, комфортных условий на открытых пространствах; формирование экологического сознания жителей;

- социальные – создание условий всех форм доступности на общественных пространствах жилых территорий, многофункциональности (разнообразия); дифференциация общественно-пространства жилых территорий; социокультурная идентификация; формирование социокультурной среды; адаптивность общественных пространств жилых территорий; обеспечение безопасности за счет обустроенности общественных пространств, а именно просматриваемости, масштабности, освещенности и других приемов конструирования пространства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нёфёдов В.А. Городской ландшафтный дизайн. СПб.: Любавич, 2012. 320 с.
2. Кукина И.В. Тенденции развития агломераций. Зарубежный опыт: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. 128 с.
3. Унагаева Н.А. Эколого-ориентированное проектирование ландшафта // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 5 (166). С. 149–154.
4. Чуй Я.В. К вопросу о некоторых тенденциях изменения общественных пространств городов в конце XX – начале XXI веков // Academia. 2015. № 4. С. 125.
5. Анисимова Л.В. Городской ландшафт: социально-экологические аспекты проектирования. Вологда: ВоГУ, 2002. 192 с.
6. Крашенинников А.В. Градостроительное развитие жилой застройки: исследование опыта западных стран. М.: Архитектура, 2005. 112 с.
7. Унагаева Н.А., Федченко И.Г. Социогенный ландшафт элементарных жилых планировочных единиц: регулирование процессов поведения и формирование экологического сознания методами среднего проектирования: отчет о НИР. М.: РААСН НИИТИАГ, 2013. 60 с.
8. Птичникова Г.А., Антюфеев А.В. Новые морфотипы архитектурного пространства современных городов // Социология города. 2014. № 2. С. 5.
9. Кияненко К.В. Общество, среда, архитектура: социальные основы архитектурного формирования жилой среды. Вологда: ВоГУ, 2015. 284 с.
10. Камалова К.В. Интеграция рабочего пространства в жилую структуру, её трансформация и развитие // Academia. 2016. № 4. С. 65.
11. Котляев Д.Л. Современные тенденции и теоретические основания изучения нижнего яруса городского жилья // Academia. 2009. № 2. С. 50–54.
12. Нитиевская Е.Е. Типология внутренних пространств жилых образований как подсистемы открытых пространств города // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: прикладные науки. 2006. № 3. С. 69–72.
13. Бабушкина Л.В. Формирование комфортных условий проживания на территориях жилой застройки средствами архитектурного благоустройства (на примере г. Екатеринбурга) // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. 2012. № 10–1. С. 7–10.

REFERENCES

1. Nefedov V.A. *Gorodskoi landshaftnyi design* [Urban landscape design]. SPb.: Lubavich, 2012. 320 p.
2. Kukina I.V. *Tendentsii razvoitiya aglomeratsyi. Zarubezhnyi opit* [The tendencies of the development of agglomerations. Foreign experience]. Krasnoyarsk, SibFU, 2014. 128 p.
3. Unagaeva N.A. Ecology oriented landscape design. *Vestnik Orenburgskogo gosydarstvennogo universite-*

ta [Messenger of the Orenburg State University], 2014, no. 5 (166), pp. 149–154. (in Russian)

4. Chui Ia. V. On the question of some trends in the changing public spaces of cities at the end of the 20th and beginning of the 21st centuries. *Akademiya* [Academia], 2015, no.4, pp. 125–128. (in Russian)

5. Anisimova L.V. *Gorodskoi landshaft: sotsial'no-ecologicheskoi aspekt proektirovaniya* [Urban landscape: socio-environmental aspects of design]. Vologda, VoGTU, 2002. 192 p.

6. Krashennnikov A.V. *Gradostroitel'noe razvitiie zhiloi zastroiiki: issledovanie opita zapadnikh stran* [Urban development of residential areas: a study of the experience of Western countries]. Moscow, Architecture, 2005. 112 p.

7. Unagaeva N.A., Fedchenko I.G. Sociogenic landscape of elementary residential planning units: the regulation of processes of behavior and the formation of environmental consciousness by environmental design methods (NIR). Moscow, NIITIAG, 2013. 60 p. (in Russian, unpublished)

8. Ptichnikova G.A., Antufeev F.V. New morphotypes of the architectural space of modern cities. *Sotsiologiya goroda* [Sociology of the city], 2014, no. 2, pp. 5–19. (in Russian)

9. Kiyanenko K.V. *Obshchestvo, sreda, arkhitektura: sotsial'nye osnovy arkhitekturnogo formirovaniya zhiloi sredi* [Society, environment, architecture: social foundations of the architectural formation of the residential environment]. Vologda, VoGU, 2015. 284 p.

10. Kamalova K.V. Integration of the workspace into the residential structure, its transformation and development. *Akademiya* [Academia], 2016, no. 4, pp. 65–70. (in Russian)

11. Koptyaev D.L. Modern trends and theoretical foundations of the study of the lower tier of urban housing. *Academia*, 2009, no.2, pp. 50–54. (in Russian)

12. Nitievskaya E.E. Typology of internal spaces of residential entities as a subsystem of open spaces of the city *Vestnik polotskogo gosudarstvennogo universiteta, seriya B: prikladnye nauki* [Messenger of the Polotsk State University, Series B: Applied Sciences.], 2006, no 3, pp. 69–72. (in Russian)

13. Babushkina L.V. The formation of comfortable living conditions in residential areas by means of architectural improvement (case studies of the city of Yekaterinburg). *Intellektual'nyi potentsial XXI veka: stupeni poznaniya* [The intellectual potential of the 21st century: levels of cognition], 2012, no. 10–1, pp. 7–10. (in Russian)

Об авторах:

КУКИНА Ирина Валерьевна

кандидат архитектуры, профессор кафедры градостроительства
Сибирский федеральный университет
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 82 а
E-mail: ikukina@inbox.ru

ЧУЙ Яна Владимировна

доцент кафедры градостроительства
Сибирский федеральный университет
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 82 а
E-mail: ikukina@inbox.ru

ГОРША Анастасия Александровна

архитектор, ТГИ Красноярскгражданпроект
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 79
E-mail: nastya_2793@mail.ru

KUKINA Irina V.

PhD in Architecture, Professor of the Town Planning Chair
Siberian Federal University
660041, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny Av., 82 а
E-mail: ikukina@inbox.ru

CHUY Yana V.

Associate Professor of the Town Planning Chair
Siberian Federal University
660041, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny Av., 82 а
E-mail: ikukina@inbox.ru

GORSHA Anastasiia A.

Architect, TGI Krasnoyarskgrazhdanproekt
660041, Krasnoyarsk, Svobodny Av., 79
E-mail: nastya_2793@mail.ru

Для цитирования: Кукина И.В., Чуй Я.В., Горша А.А. Ключевые аспекты формирования открытых общественных пространств на жилых территориях // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 132–139. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.19.

For citation: Kukina I.V., Chuy Ya.V., Gorsha A.A. Retrospective Key Aspects of Formation of Open Public Spaces in Residential Territories. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 132–139. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.19.

Л. А. ВОЛКОВА**Т. В. ЛИТВЯК**

ПРЕИМУЩЕСТВА КВАРТАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ В ФОРМИРОВАНИИ КОМФОРТНОЙ ЖИЛОЙ СРЕДЫ

ADVANTAGES OF QUARTER BUILDING IN THE FORMATION OF A COMFORTABLE LIVING ENVIRONMENT

Представлен сравнительный анализ основных характеристик планировочных элементов «квартал» и «микрорайон», выявляются их существенные различия; приводится анализ развития подходов к застройке жилых территорий в России с точки зрения создания комфортной городской среды для жизни человека; раскрываются преимущества современного квартала как планировочного элемента жилой застройки.

Ключевые слова: квартал, микрорайон, комфортная городская среда

The article presents a comparative analysis of the main characteristics of planning elements “quarter” and “microdistrict”, identifies their significant differences; provides an analysis of the development of approaches to the construction of residential areas in Russia in terms of creating a comfortable urban environment for human life; reveals the advantages of modern quarter as a planning element of residential development.

Keywords: quarter, microdistrict, comfortable urban environment

В последнее время в публикациях, рассматривающих проблему формирования комфортной жилой среды, всё чаще встречается понятие «квартальная застройка». На вопрос о том, что этот термин означает, можно услышать совершенно разные ответы. Для одних авторов это синоним периметральной застройки, для других – застройка средней этажности с небольшими уютными дворами, а многие считают, что основная идея квартала – чёткое разделение общественных и частных пространств. Что означает «квартальная застройка» в современном контексте, а также в чём её преимущества, попытаемся разобрать в данной статье.

Действующие нормы не дают чёткого определения квартала, считая его синонимом микрорайона. В СП 42.13330.2011 сказано: «Квартал (микрорайон) – основной планировочный элемент застройки в границах красных линий <...>, размер территории которого, как правило, от 5 до 60 га». Однако между кварталом и микрорайоном есть существенные различия.

Многие русские города XIX в. застраивались жилыми кварталами. Благодаря такой планировке формировались уютные дворы для отдыха и общения людей, а также используемые под хозяйственные нужды. Улицы не только обеспечивали городскую транзит, но и была насыщена разными функциями, формируя комфортную среду для жизни человека [1]. На рис. 1 изображена историческая застройка центральной части города Орла. Она представлена небольшими жилыми кварталами средней этажности (3–5 этажей),

на первых этажах, как правило, были расположены учреждения общественного назначения.

Политический режим, установленный Октябрьской революцией 1917 г., поставил новые задачи перед градостроительством. Градостроительная политика ставилась на службу реализации программ индустриализации и коллективизации. Жилищное гражданское строительство, а также возведение объектов коммунального и бытового обслуживания в новых рабочих поселках и соцгородах утратило свой самостоятельный статус и переводилось в разряд промышленного строительства. Строительство заводов-гигантов и поселений при них требовало быстрого размещения большого количества трудовых ресурсов и ставило перед застройщиком задачи ускоренного массового поточно-конвейерного проектирования и строительства дешевого стандартизированного жилья [2].

Великая Отечественная война причинила Советскому Союзу колоссальный материальный ущерб и вынудила пересмотреть сложившуюся систему ценностей в архитектуре. Во второй половине XX в. высшими органами власти было принято несколько документов, которые имели принципиальное значение для жилищного строительства. На смену традиционным методам должны были прийти прогрессивные системы сборного домостроения, прежде всего крупноблочные и крупнопанельные. Вместо дорогостоящего возведения домов в городских центрах отныне предписывалось вести застройку крупными жилыми массивами

на свободных территориях [3]. Так микрорайоны превратились в основную единицу градостроительного проектирования (рис. 2).

С тех пор прошло немало времени, но многие города продолжают застраиваться точно так же, как во времена Советского Союза, когда жилой застройке характерно: свободное расположение зданий; типовой характер архитектуры; повышенная этажность. На рис. 3 изображен современный жилой район города Орла. Микрорайон представляет собой массовую панельную застройку повышенной этажности (9–16 этажей).

В настоящее время микрорайонная застройка полностью доказала свою неэффек-

тивность. Концепция исключительного зонирования приводит к массовой маятниковой миграции внутри города – утром жители района едут на работу, вечером обратно. Спальные районы не приспособлены ни для жизни, ни для досуга. Здесь улицы выступают лишь безжизненными автомобильными трассами, а дворы несоразмерны человеку и в большинстве случаев представляют собой пустырь или автомобильную парковку (табл. 1). В зарубежной практике от такой планировочной структуры жилых районов отказались более 30 лет назад, вернувшись к идеям традиционного 4 квартала (рис. 4).



Рис. 1. Город Орёл конца XIX – начала XX в.



Рис. 2. Панельные жилые дома советского периода (г. Орёл)



Рис. 3. Современный жилой район «Зареченский» в городе Орле



Рис. 4. Современный жилой район в Финляндии

В современной России впервые заговорили о квартальной застройке в 2013 г., когда Москомархитектура провела семинар на тему «Базовые принципы формирования городской жилой застройки». Организатором семинара и основным докладчиком был Сергей Кузнецов, главный архитектор Москвы. Одним из ключевых рассматриваемых вопросов был переход к квартальной жилой застройке [3]. Основными признаками современного квартала, согласно примерам, представленным с. Кузнецовым в своём докладе, являются:

- периметральное расположение зданий;
- плотная сетка улиц;
- функциональное смешение;
- разнообразие фасадов и перепады этажности;
- благоустроенный двор без машин.

Преимущества квартальной застройки очевидны. Во-первых, насыщенная улично-до-

рожная сеть обеспечивает комфортное передвижение по городу не только автомобилями, но и в первую очередь пешеходов. Объекты инфраструктуры становятся доступнее.

Во-вторых, происходит разделение пространства на общественное (со стороны улиц) и приватное (дворовая территория). Улица оживает, становится местом прогулки и общественной жизни. Первые этажи активно используются для размещения кафе, магазинов и других объектов бытового назначения. Двор становится местом социального взаимодействия жителей, а не парковкой для автомобилей.

В-третьих, разнообразие планировочных решений, отделки фасадов, благоустройства дворовых территорий делает место уникальным, заставляет чувствовать себя сопричастным данной среде. В таблице приведён сравнительный анализ основных характеристик квартальной и микрорайонной застройки [5,6].

Сравнительный анализ основных характеристик квартальной и микрорайонной застройки

Параметр сравнения	Планировочный элемент	Описание	Результат
Структура улично-дорожной сети	Микрорайон	Низкая плотность улиц с шагом 500–1000 м	Широкие улицы, окружающие микрорайон, ориентированы, в первую очередь, на движение автомобилей; к зданиям ведут внутренние проезды, не предусматривающие сквозное движение
	Квартал	Высокая плотность улиц с шагом 75–250 м	Гибкость в распределении транспортных потоков, типологическое разнообразие улиц

Продолжение таблицы

Параметр сравнения	Планировочный элемент	Описание	Результат
Характеристика улиц	Микрорайон	Магистральные улицы с интенсивным движением транспорта, при этом основная застройка расположена на удалении	Микрорайон наиболее комфортен для людей, имеющих личный транспорт; для пеших прогулок предназначены специальные общественные места – скверы, бульвары, парки
	Квартал	Узкие, предназначены не только для автомобильного движения, но и для пешеходов	Улицы становятся местом прогулки и общественной жизни
Композиционно-пространственная организация застройки	Микрорайон	Преимущественно свободное расположение зданий на участке, также может использоваться групповая застройка (похожа на квартальную), строчная или смешанная	Огромные пространства между застройкой, которые зачастую превращаются в бесполезные пустыри
	Квартал	Застройка периметрального типа, использование угловых блок-секций	Эффективное использование территории, её зонирование на общественное (со стороны улиц) и приватное (дворовая территория)
Функциональный состав	Микрорайон	Застройка, как правило, находится на удалении от улицы, вдали от потока людей, поэтому в микрорайоне мало предприятий сферы услуг; инфраструктура первой необходимости (школа, детские сады, продуктовые магазины) находится внутри района	Массовая маятниковая миграция внутри города – утром весь район едет на работу, вечером обратно; расположение инфраструктуры внутри района делает его безопаснее для детей – им не нужно переходить дорогу, чтобы попасть в школу
	Квартал	Смещение функций, первые этажи используются под общественные нужды	Расположение необходимой инфраструктуры в шаговой доступности
Этажность	Микрорайон	Повышенная	Жёсткие нормы инсоляции и пожарной безопасности
	Квартал	Малая, средняя; использование переменной этажности	Застройка сомасштабна человеку, психологически комфортна; небольшое количество жителей во дворе приводит к формированию устойчивых социальных связей; мягкие нормативы пожарной безопасности

Окончание таблицы

Параметр сравнения	Планировочный элемент	Описание	Результат
Плотность населения	Микрорайон	Увеличение плотности осуществляется за счёт повышения этажности	По мнению экспертов, квартал и микрорайон могут дать одинаковый выход квадратных метров жилья с одного участка
	Квартал	Увеличение плотности осуществляется за счёт увеличения процента застройки	
Дворовое пространство	Микрорайон	Большой двор, рассчитанный на группу домов	Такое пространство сложнее контролировать с точки зрения безопасности, поддержания чистоты и ответственности жителей за территорию
	Квартал	Небольшой приватный двор	Ощущение безопасности, добрососедство
Парковка автомобилей	Микрорайон	Парковка автомобилей вдоль внутренних проездов	Недостаток мест для парковки, концентрация автомобилей внутри дворовой территории
	Квартал	Ограничение парковки внутри двора; размещение наземных мест для парковки вдоль улиц и их использование только для временного хранения, постоянное хранение автомобилей – в наземных многоуровневых или подземных паркингах	Комфортный двор без машин
Художественная выразительность фасадов	Микрорайон	Массовая застройка с типовыми решениями фасадов	Низкое качество архитектуры в городе, психологический и визуальный дискомфорт жителей
	Квартал	Разнообразие композиционных решений и применяемых материалов, вследствие того, что один район может застраиваться кварталами разных застройщиков	Качественная среда с точки зрения архитектуры, чувство сопричастности жителей данному месту

Квартальная застройка повсеместно используется в Европе и США. В России подобных проектов крайне мало, наиболее удачные примеры реализованных жилых комплексов: «Садовые кварталы» в Москве (рис. 5), «Южный берег» в Красноярске, «Новин» в Тюмени и др. [7].

В настоящее время в нашей стране происходит переосмысление понятий о комфортной жилой среде. Всё больше проектов соответствует принципу устойчивого развития территорий – создают благоприятную и безопасную среду для жизни человека, ограничивают негативное воздействие на экологию, а также обеспечивают

рациональное использование природных ресурсов [8]. Рассмотрим основные архитектурно-градостроительные принципы и приёмы формирования качественной жилой застройки.

Масштаб «Жилой район»

1. Интеграция в сложившуюся среду:

– особое внимание следует уделять контексту: окружающей застройке, сложившимся пешеходным и транспортным связям, расположению точек притяжения и достопримечательностей, истории места;



Рис. 5. ЖК «Садовые кварталы» (Sergey Skuratov Architects, 2010–2018 гг.)

- взаимодействие с прилегающими территориями через систему общественных пространств;
- сохранение визуальных связей.

2. Комфортная транспортная инфраструктура:

- повышение плотности улично-дорожной сети, что способствует гибкости в распределении транспортных потоков и расширяет типологическое разнообразие улиц;
- компактные стоянки для автомобилей внутри квартала: подземные и наземные многоуровневые паркинги;
- применение планировочных решений, повышающих уровень безопасности жилых улиц.

3. Доступность социальной инфраструктуры:

- обеспечение жителей необходимым количеством школ, детских садов, поликлиник;
- пешеходная доступность внутри квартала детских и спортивных площадок, площадок для выгула собак, парковок;
- пешеходная доступность внутри района объектов торговли, образования, культуры, здравоохранения, социальной защиты и др.

4. Система общественных пространств:

- пешеходная связность общественных территорий, привлекательные маршруты для прогулок;
- акцентирование на локальных особенностях, истории и топонимике;
- различные сценарии для общественных территорий в зависимости от времени суток и сезона.

5. Качественное озеленение территории:

- сохранение локальных природных особенностей и цельности сложившейся экосистемы;
- использование озеленения для разграничения между публичными и частными территориями, проезжей и пешеходной зоной и т. п.;
- улучшение микроклимата при помощи растений – снижение запылённости воздуха и уровня шума, защита от перегрева;

- создание визуального комфорта – сбалансирование масштаба человека и застройки, преодоление монотонности архитектуры.

6. Экологическая эффективность:

- использование строительных материалов с низким экологическим воздействием;
- сортировка и переработка отходов;
- использование возобновляемых источников энергии;
- сбор и использование дождевой воды;
- приоритет экологических видов транспорта – создание велосипедной инфраструктуры.

Масштаб «Квартал»

7. Рациональное использование территории:

- чёткая структура района с выделенными кварталами и урбан-блоками – жилыми единицами, включающими в себя дома, придомовые территории и сервисную застройку;
- применение квартальной планировки жилого района, что позволяет разграничивать пространства на частные (дворовая территория) и публичные (межквартальные улицы);
- озеленённые благоустроенные дворовые территории с игровыми площадками для детей младшего возраста и для тихого отдыха взрослых в пределах квартала, шумные площадки выносятся за его границы;
- дворы без машин, размещение двух входов в жилую часть здания – со стороны двора и с улицы.

8. Целый архитектурный образ:

- разнообразие типов жилой застройки;
- динамичный силуэт и переменная этажность, что позволяет получить максимальное количество угловых квартир с наиболее комфортными планировочными решениями;
- разнообразие пластики фасадов и применяемых отделочных материалов;

– специальные конструктивные и инженерные элементы для размещения наружного блока кондиционера (кроме зданий с централизованными системами кондиционирования воздуха);

– прозрачный просматриваемый вестибюль – приём «пассивной» безопасности, обеспечение визуально-социального контроля.

9. Человеческий масштаб:

– комфортная этажность, для периметральной застройки – от 4 до 9 этажей, плотность населения достигается за счёт увеличения процента застроенности участка, а не повышения этажности;

– комфортные пропорции двора определяются двумя параметрами: высотой застройки – ширина двора не должна быть меньше высоты дома, чтобы не создавать эффект колодца; возможностями сенсорного аппарата человека – двор должен быть таких размеров, чтобы люди могли хорошо слышать и видеть друг друга с противоположных концов.

10. Безбарьерное использование и доступность среды:

– безопасность использования городской среды для любых категорий жителей, включая инвалидов;

– удобная навигация;

– входные группы в одном уровне с улицей.

Масштаб «Дом»

11. Смещение функций:

– размещение объектов торговли и обслуживания в первых этажах жилых домов;

– приспособленность первых этажей под коммерческую инфраструктуру: высокие потолки, удобная сетка колонн и большая площадь остекления;

– легкая трансформируемость жилых квартир на первых этажах в нежилые и обратно.

12. Разнообразие объёмно-планировочных решений жилых этажей:

– наличие нескольких вариантов наборов квартир на этаже;

– наличие нескольких вариантов размещения балконов/лоджий и оконных проёмов в рамках одного набора квартир.

Выводы. Под влиянием политических и социально-экономических факторов во второй половине XX в. в строительстве жилья был осуществлён переход от традиционного квартала к более масштабному типу застройки – микрорайону. Эти понятия существенно отличаются друг от друга по многим параметрам: масштабу, структуре улично-дорожной сети, композиционно-пространственной организации застройки, функциональному составу, этажности,

способам организации парковки автомобилей, выразительности фасадных решений.

В результате сравнительного анализа по данным параметрам, а также с учётом ряда мнений специалистов был сделан вывод о явном превосходстве традиционного квартала в качестве структурного элемента жилой застройки. Квартал позволяет формировать комфортную городскую среду, сомасштабную человеку, улицы, наполненные жизнью, уютные и безопасные дворовые пространства. Сформулированные архитектурно-градостроительные принципы и приёмы формирования качественной жилой застройки в масштабе город, квартал, дом могут являться основой комплексного подхода в разработке рекомендаций, направленных на решение задач повышения качества архитектуры городской среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павликова А. Приоритет – квартальной застройке // Архитектура России. – 2013. URL: <https://archi.ru/russia/50044/prioritet-kvartalnoi-zastroike> (дата обращения: 28.10.2018).

2. Кузнецова И., Белова А. Массовое домостроение в России: история, критика, перспективы. М.: ЁЛКА press, 2016. С. 42–59.

3. Голдхоорн Б. Открытый урбанизм // Проект Россия. 2014. № 73. С. 86–109.

4. Варламов И. Новые районы Хельсинки. Хотели бы так жить? // LIVEJOURNAL. 2017. URL: <https://varlamov.ru/2498439.html> (дата обращения: 15.10.2018).

5. Рышкина Ю. Кварталы против микрорайонов: что лучше для жителей // Индикаторы рынка недвижимости. 2018. URL: <https://www.irm.ru/articles/40093.html> (дата обращения: 15.11.2018).

6. Скокан А., Гнездилов А., Гладких К., Елбаев А. Принципы формирования жилой среды // Архитектурное бюро «Остоженка». 2016. URL: <http://ostarch.ru/main/projects/principles> (дата обращения: 09.06.2018).

7. Официальный сайт комплекса клубных домов «Садовые кварталы». 2018. URL: <https://www.sadkvartal.ru/gallery/photo/P21A8922> (дата обращения: 28.11.2018).

8. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. № 190-ФЗ (с изменениями на 3 августа 2018 года) // СЗ РФ. 2005, 3 янв. № 1 (ч. I). Ст. 1. 3.

REFERENCES

1. Pavlikova A. Priority is quarter building. *Arhitektura Rossii* [Architecture of Russia], 2013. Available at: <https://archi.ru/russia/50044/prioritet-kvartalnoi-zastroike> (accessed 28.10.2018). (in Russian)

2. Kuznetsova I., Belov A. *Massovoe domostroenie v Rossii: istoriya, kritika, perspektivy* [Mass housing construction in Russia: history, criticism, prospects]. Moscow, ELKA press, 2016. 42 p.

3. Goldhoorn B. Open urbanism. *Proekt Rossiya* [Project Russia], 2014, no. 73, pp. 86–109.

4. Varlamov I. New areas of Helsinki. Would you like to live like this? *LIVEJOURNAL*, 2017. Available at: <https://varlamov.ru/2498439.html> (accessed 15.10.2018) (in Russian)

5. Ryskina Y. Quarters against neighborhoods: which is better for the residents. *Indikator rynka nedvizhimosti* [Indicators of the real estate market], 2018. Available at: <https://www.irm.ru/articles/40093.html> (accessed 15.11.2018) (in Russian)

6. Skokan A., Gnezdilov A., Gladkikh K., Elbaev A. Principles of formation of the living environment. *Arhitekturnoe byuro «Ostozhenka»* [Architectural Bureau “Ostozhenka”], 2016. Available at: <http://ostarch.ru/main/projects/principles> (Accessed 09.06.2018) (in Russian)

7. The official site of the complex of club houses “Garden quarters”. Available at: <https://www.sadkvar-tal.ru/gallery/photo/P21A8922> (accessed 28.11.2018)

8. Urban development code of the Russian Federation No. 190–FZ of December 29, 2004 (as amended on August 3, 2018). Moscow, Standartinform Publ., 2005.

Об авторах:

ВОЛКОВА Людмила Александровна

кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
Архитектурно-строительный институт
302030, Россия, г. Орёл, ул. Московская, 77
E-mail: l.a.v.2701@mail.ru

VOLKOVA Liudmila A.

PhD in Architecture, Associate Professor of the Architecture Chair
Orel State University named after I.S. Turgenev
Institute of Architecture and Civil Engineering
302030, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77
E-mail: l.a.v.2701@mail.ru

ЛИТВЯК Татьяна Викторовна

магистрант
Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева
Архитектурно-строительный институт
302030, Россия, г. Орёл, ул. Московская, 77
E-mail: arhipenkovatanya@mail.ru

LITVYAK Tatyana V.

Master’s Degree Student
Orel State University named after I.S. Turgenev
Institute of Architecture and Civil Engineering
302030, Russia, Orel, Moskovskaya str., 77
E-mail: arhipenkovatanya@mail.ru

Для цитирования: Волкова Л.А., Литвяк Т.В. Преимущества квартальной застройки в формировании комфортной жилой среды // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 140–147. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.20.

For citation: Volkova L.A., Litvyak T.V. Advantages of Quarter Building in the Formation of a Comfortable Living Environment. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 140–147. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.20.

В. Д. ФИЛИПОВ**ЛИНЕЙНЫЕ ГОРОДА: НЕЗАВИСИМЫЕ АМЕРИКАНСКИЕ ПРОЕКТЫ**

LINEAR CITY: INDEPENDENT AMERICAN PROJECTS

Описаны два проекта Линейного города, появившиеся в начале XX столетия в США независимо от реализованного ранее в Испании проекта Артуро Сориа. Приведены технические и градостроительные особенности проекта Эдгара Чемблесса «Дорога-Город» и социальные идеи, лежащие в его основе. Проанализированы причины неудачи этого проекта, а также подобных проектов, появившихся впоследствии. Приведена история возникновения проекта Мило Хастингса и его идея линейной концентрации жилищ в городе. Хотя этот проект также не был реализован, показаны причины, по которым его градостроительные идеи нашли применение в послевоенном строительстве американского пригорода, а социальные идеи – в Новом курсе президента Франклина Рузвельта.

Ключевые слова: линейный город, Артуро Сориа, Эдгар Чемблесс, дорога-город, Мило Хастингс, ячейка города, линейная концентрация, Новый курс Рузвельта, американский пригород

В работах целого ряда испанских исследователей [1–4] можно найти подробную историю идеи, реализации, деградации и гибели самого первого Линейного города в Мадриде. Трудности, которые при этом возникли у Артуро Сориа и привели к неудаче в воплощении его замысла, имели не только объективный, но и субъективный характер. И может возникнуть впечатление, что при наличии доброй воли и поддержки правительства Испании и городских властей Мадрида, а также при коррекции в проектировании и реализации и отказе Артуро Сориа от идей «либерального урбанизма», результат мог бы быть иным. В связи с этим проекты линейного расселения в виде разных вариаций на тему мадридского Линейного города стали возникать ещё при жизни Сориа, есть они и сегодня и наверняка возникнут в будущем. Причина здесь довольно проста: сама идея линейного развития города на рубеже XIX и XX вв. буквально витала в воздухе, и Артуро Сориа первому удалось её сформулировать, обосновать и отчасти реализовать в Мадриде. Проекты, появившиеся впоследствии, ввиду их многочисленности даже перечислить невозможно. Поэтому следует остановиться на тех из них, что появились независимо от Линейного города в Мадриде, оказав в дальнейшем влияние на теорию и практику градостроительства.

Two projects of the Linear City, which appeared at the beginning of the 20th century, in the United States, regardless of the project implemented earlier in Spain by Arturo Soria, are described. The technical and town-planning features of the Roadtown project by Edgar Chambless and the social ideas underlying it are given. The reasons for the failure of this project, as well as similar projects that appeared later, are analyzed. The history of the project of Milo Hastings and his idea of a linear concentration of dwellings in the city are given. Although this project was also not implemented, the reasons why its town-planning ideas found application in the post-war construction of the American suburb and social ideas in the New Deal of President Franklin Roosevelt are shown.

Keywords: linear city, Arturo Soria, Edgar Chambless, Roadtown, Milo Hastings, city cell, linear concentration, Roosevelt New Deal, American suburb

Не зная о работах Сориа, к этой идее в 1909 г. в США пришли два друга: инженер Эдгар Чемблесс (Edgar Chambless) и писатель Мило Хастингс (Milo Hastings) [5]. Первый в 1910 г. издал книгу «Дорога-Город» (Roadtown) [6], а второй вначале лишь пропагандировал её идеи в газетных статьях, затем сам разработал проект, отчасти на базе концепции Чемблесса, но при этом считал сплошной бетонный Roadtown одной из крайностей, которую необходимо избегать. Этот проект получил одну из двух первых премий конкурса Американского института архитекторов «Лучшее решение жилищной проблемы» и был опубликован в 1919 г. в статье «Решение жилищной проблемы в Соединенных Штатах» [7].

«Дорога-Город» (Roadtown) Эдгара Чемблесса

Проект Чемблесса представлял собой некий бесконечный дом, совмещённый с дорогой, в котором, как и у Артуро Сориа, должны были воплотиться передовые технические достижения, но уже начала XX в.

Здесь также была социальная программа: «сообщество, в котором люди были хозяевами своих собственных судеб (без недостатков капитализма) и брали лучшее от города и деревни» [8]. Обитаемая зона Дороги-Города должна была состоять из двух основных этажей, на

первом из которых (на уровне земли) располагались помещения для труда (также здесь можно было устроить солярий, оранжерею, игровую комнату или гостиную). Труд заключался в ремесленном производстве – одежды, обуви и других изделий лёгкой промышленности. Сырьё планировалось закупать, а изделия продавать через кооперативы, хотя каждый мог это делать самостоятельно. Оборудование должна была предоставить в аренду компания Roadtown по цене, позволяющей покрыть расходы на обслуживание и возможную замену. Эта система позволила бы работать каждому, как ему удобно (муж работает, когда жена отдыхает, жена работает, когда муж отдыхает), и свободно распоряжаться своим временем. Планировалось всё здесь механизировать, и готовый продукт предполагалось просто опустать в люк на платформу, проезжавшую для этого по дороге ниже уровня мастерской [8].

На этом первом подземном уровне располагались на расстоянии 100 ярдов (90 м) друг от друга местные станции «бездымной и бесшумной» монорельсовой дороги Уильяма Бойеса (William Boyes) (рис. 1). Её патент был подарен проекту «Дорога-город» изобретателем. Жители могли пользоваться дорогой для перевозок на небольшие расстояния и в ночное время самостоятельно – для этого использовались небольшие платформы с автоматической доставкой в каждую квартиру. Нижние два подземных уровня предназначались для больших экспрессов, также Бойеса, бездымных, бесшумных и монорельсовых, станции которых располагались на расстоянии 1/2 мили (8 км) друг от друга. Весь транспорт города должен был объединяться в одну систему, «чтобы дать общественному телу надлежащие руки и ноги, чтобы сделать их не такими, какие они

есть, отдельные и несогласованные, а как компонент, по существу, наиболее важной части схемы цивилизации» [6]. Ещё один патент был пожертвован проекту великим изобретателем Томасом Эдисоном – на технологию заливки жаростойкого и защищённого от биоповреждений бетона, из которого было запланировано строительство дороги-города [8].

Второй надземный уровень дома-города-дороги предназначался для жилых квартир. Здесь также планировалось всё механизировать и автоматизировать: сигнализация, сообщающая о приближающихся поездах; термостаты («широко используемые в перво-классных отелях») для управления централизованным обогревом; кондиционирование холодной воды; чистая питьевая вода отдельно от используемой для купания; душ в каждой спальне; подключение пылесоса к центральной вакуумной станции; дезинфицирующий газ; электроэнергия для освещения и домашних нужд; телефон; «dictograph» и «telegraphone» (предвестники радио), чтобы доставить музыку, проповеди и лекции в каждую квартиру; постельное белье, которое бы проветривалось в шкафу в течение дня, а ночью лежало на кровати. Все это освободило бы женщин, которым, по мнению Чемблесса, «промыли мозги», сделав их домашними слугами из преклонения общества к «домашним добродетелям», соединения «чистки медного чайника с инстинктом материнства» и «закрепления за ними тарелки и метлы». Пицца тут будет приготовлена на совместных кухнях и доставляться в дом по заказу через всегда готовую транспортную систему; а грязные посуду и постельное белье можно положить в контейнер и опустить в желоб для доставки в большое механическое центральное отделение для стирки белья и мытья посуды [8].



Рис. 1. Испытания монорельса Уильяма Бойеса, г. Сиэтл, 1911 г. (flickr.com)

На верхнем уровне города-дороги был расположен променад – застекленная солнечная галерея зимой, место для прогулок в тени летом, с велодорожками и дорожками для катания на коньках зимой, а также башнями, в которых размещались школы, детские сады, места отдыха и развлечений, объекты промышленности (кооперативные фабрики), магазины и электростанции (рис. 2). На кооперативных фабриках все будет организовано и решаться рабочими – выборы мастеров, распределение прибыли между работниками, покупки и продажи (возможно, через центральное агентство). Общественная жизнь сосредоточится на променаде, куда можно попасть по лестнице из каждой квартиры, где будут художественные галереи, музеи, клубы и другие места для отдыха. Образование здесь будет пожизненным, добровольным для обоих полов и всех возрастов – универсальный университет, в котором «специалист по ботанике будет обучать группы детей в своем саду, а химик и минералог в своей лаборатории» [6].

«Roadtown должен был обеспечить: сотрудничество в использовании земли, машин и энергоснабжения; эффективную перевозку товаров; эксплуатацию машин и обработку земли каждым. Тут не было бы никаких трестов или корпораций, которые бы забирали прибыль у рабочих, и не было бы самого капиталистического владения материалами и машинами» [8]. С такой социальной программой Эдгар Чемблесс вначале попытался реализовать свой проект в районе Нью-Йорка, примером тем же путём, что и Артуро Сориа – орга-

низовав для сбора средств инвестиционную компанию (restricted corporation), в которой деньги её вкладчикам вернутся как недвижимость в построенном городе. Хотя в его книге утверждалось о «сотне первоклассных семей», готовых купить жильё в городе, в этом районе уже во многих местах были проложены дороги, а поля разгорожены на многие частные владения. Поэтому Чемблесс отправился на запад в Сан-Франциско, где было больше неосвоенной земли и в 1914 г. собирался построить пилотный образец своего города для Панамо-Тихоокеанской международной выставки 1915 г. Но и этого ему сделать не удалось, проект так и остался на бумаге.

«Решение жилищной проблемы в Соединенных Штатах» Мило Хастингса

В отличие от Эдгара Чемблесса, Мило Хастингс не собирался сооружать железобетонную Великую Американскую Стену. Он сам не предполагал ничего строить, а только изложил в статье соображения о путях рационального построения хоть и экономичного, но удобного для жизни американца нового американского города. Указав, что его «план жилья имеет очевидное родство с английским городом-садом», он посчитал необходимым «перевести уроки, которые Европа в состоянии преподать нам, в американские термины и спланировать наше жилье так, чтобы дать американцу максимально возможное количество тех вещей, которые он хочет». Он «хочет частный дом и пригород-

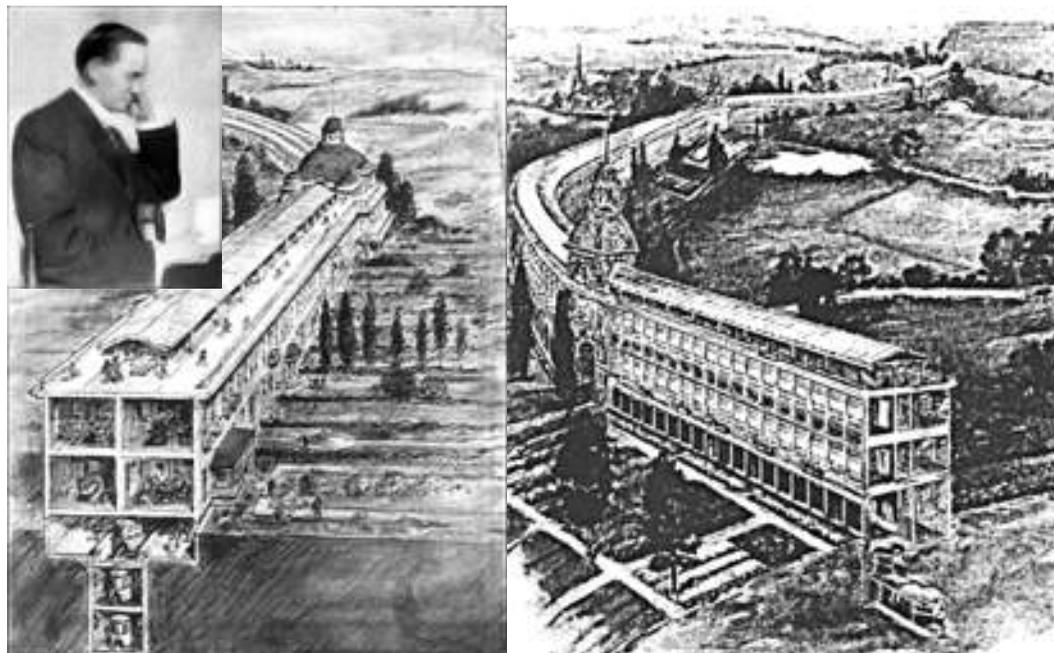


Рис. 2. Эдгар Чемблесс и проект Roadtown, 1910 г.

Рисунки с обложки книги [6] и из газетной статьи Мило Хастингса (The Independent, May 5, 1910)

ную или загородную жизнь; но он также желает городских удобств. При нынешних обстоятельствах сложно ему дать то и другое сразу, по цене, которую он сможет заплатить» [7]. И один из путей достижения этих целей ему представлялся даже не в форме (как это видится многим), а в структуре нового города.

Улица нового экономичного города должна быть в виде «ряда отдельно стоящих домов вдоль линии коммунальных услуг». Казалось бы, такая улица ничем не отличается от улицы самого обычного города. Это Хастингс прекрасно понимает, но считает обычную улицу неэкономичной и неэффективной, предлагая получить экономию «за счет специализации функций улицы». Вдоль тыльной стороны домов он предлагает служебную улицу, непосредственно примыкающую к домам, где будут присутствовать «интенсивное движение и коммунальные услуги», а со стороны фасадов домов – улицу (превращённую в бульвар), которая «будет проходить без интенсивного движения, а только по тем пешеходным дорожкам и легким дорогам, что нужны для отдыха и частных автомобилей». Функциональная улица, иначе «торговый путь или служебная дорога не для красоты, а для удобства», не может быть извилистой, с этой стороны будут доставляться прямо в дом товары и услуги, и здесь же из дома будет приниматься мусор, макулатура и вещи в стирку. Здесь проект Хастингса напоминает Roadtown, также предусмотрена максимально возможная централизация питания и бытового обслуживания для освобождения женщины

от «немногих оставшихся функций по ведению домашнего хозяйства». Вдоль этой улицы «как ее часть, пройдет линия служебных труб и кабелей. Минимальный список будет включать в себя водопровод, канализацию, газ, телефон, а также электричество» [7].

И в конечном итоге (рис. 3), «логическая единица жилья будет сформирована из двух приблизительно параллельных линий домов. Соединенное на своем внешнем конце обратным изгибом линии обслуживания поселение имеет форму буквы U. На открытом конце этого U находится существующий город или, если все должно быть новым, промышленная и торговая зона нового города. ... В пределах U, с его парковыми и некоммерческими окрестностями, могут быть расположены школы, клубы, спортивные площадки и другие социальные и развлекательные учреждения. ... Длина этого U не определена. Когда земля доступна для возможного последующего расширения, внешний конец U не должен застраиваться домами, а просто будет представлять собой служебный путь со служебными трубами, которые могут быть перемещены дальше в случае расширения» [7].

Были в проекте, хотя в меньшей степени, чем у Roadtown, и другие утопические моменты. Так, служебная улица ради экономии предлагалась в виде «одностороннего пути, сделанного из двух бетонных рельсов с вогнутыми поверхностями, приспособленными к обычному автомобилю». Однако главное в этом проекте безусловно заслуживает внимания. Помимо предложенной им логической единицы жилья, Хастингс пере-

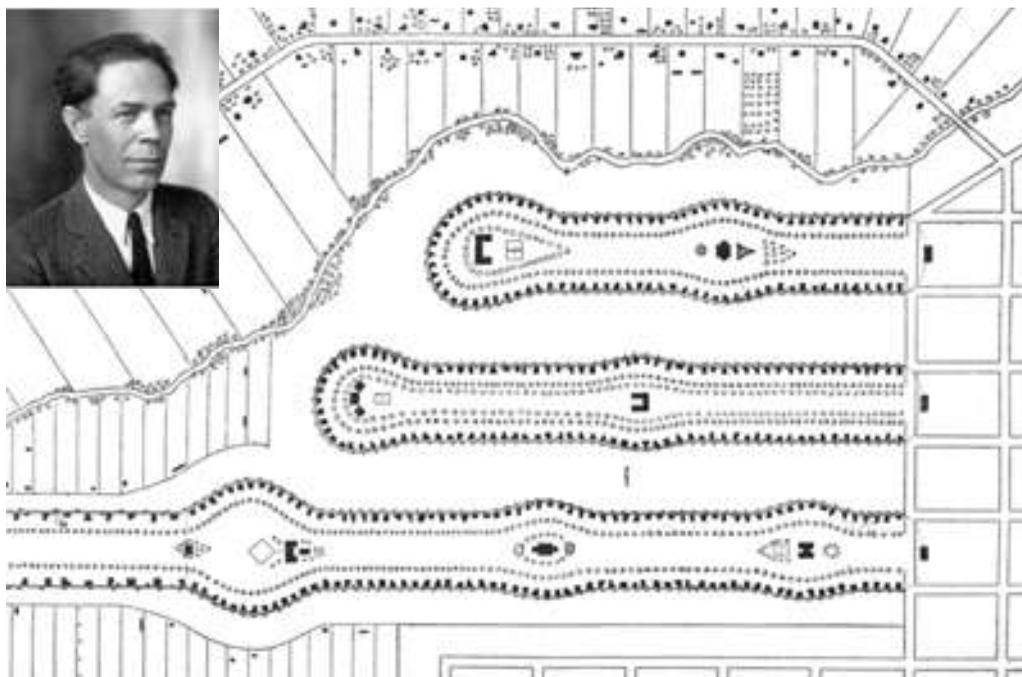


Рис. 3. Мило Хастингс и его проект экономичного поселения, 1919 г. [7]

им богатство». По подведению итогов градостроительства отдельными частными компаниями («скученность и теснота»), девелоперскими компаниями («удовлетворительно для среднего класса, но не справилось с жильём для рабочих») и промышленными корпорациями («наиболее эффективно и является преобладающим методом»), несмотря на преимущества у промышленных корпораций («здесь лучшие градостроители и архитекторы небольших домов, работают, учитывая и комфорт, и эффективность труда»), его вывод – когда «арендодатель и работодатель являются одной корпорацией – это увековечивание нашего промышленного феодализма. Демократия не сможет процветать в этих городах корпораций, где вода из кранов и вода с карнизов приправлена сталью или резиной, кусочками печенья или мылом определенной марки». По его мнению, хозяином города должно стать правительство, притом любое, но «лучше всего – районное местное самоуправление. Сообщество должно владеть собой. Нетрудовая прибыль неизбежно перельётся в чей-то карман, и, если это карман сообщества, то налоги смогут быть отменены, а само оно обогатится сверх пределов мечтаний трактирщиков» [7].

Примерно таких же идей впоследствии придерживался президент Франклин Рузвельт. Из его доклада Конгрессу о плане строительства федеральной сети скоростных автодорог в 1939 г.: «мы все знаем, что в значительной степени это случайность, когда новая дорога проходит через землю одного человека и мимо земли другого человека в нескольких милях. И все же человек, который, благодаря хорошему везению, продает узкую полосу отвода для новой магистрали, в большинстве случаев получает солидную прибыль за счет увеличения стоимости всей остальной его земли. Это незаработанный прирост прибыли, которая достается горстке счастливых, и подавляющему большинству будет недоступна. В соответствии с принципом «избыточного изъятия» земли,

правительство, оплачивающее стоимость шоссе, покупает широкую полосу с каждой стороны самой дороги, использует ее для сдачи в концессию и продает ее в течение нескольких лет строителям домов и другим, кто захочет жить рядом с главной транспортной артерией. Правительство получает этот незаработанный прирост прибыли и в значительной степени возмещает затраты на строительство дороги» [14]. Однако в городском жилищном строительстве в условиях депрессии его администрацией был выбран несколько иной путь: это государственные гарантии кредитов на строительство, приобретение и обустройство жилья, что возродило строительную индустрию, позволило к 1939 г. 12 млн. человек улучшить жилищные условия и стало основой послевоенного взрывного роста жилищного строительства [15].

Заключение. Что привлекает в Roadtown? Несомненно, масштаб и грандиозность проекта. Человек, господин природы, покоряет и обустроивает её так, как считает нужным, да и вообще в таком городе он создаёт отдельную, рукотворную природу, где всё строго по его плану и всё заранее предусмотрено. Вирус ощущения господства над миром оказался заразительным и периодически возникают проекты подобных городов-комбайнов (рис. 5). Несколько эскизных проектов таких мегаструктур сделал Ле Корбюзье: это города на выступах рельефа в Монтевидео и Рио-де-Жанейро (1929) и план «Обюс А» (Obus A) для Алжира (1932 г.) [13]. Справедливости ради нужно сказать, что в Алжире планировалось не готовое поселение, а только градостроительно-инженерная структура под автомагистралью, и её предполагалось постепенно заполнять жилыми ячейками, которые каждый хозяин имел возможность обустроить по-своему.

Среди последующих примеров можно упомянуть проекты линейных городов – в Нью-Джерси Питера Айзенмана и Майкла Грейвса (1965 г.) и абстрактный город, не при-

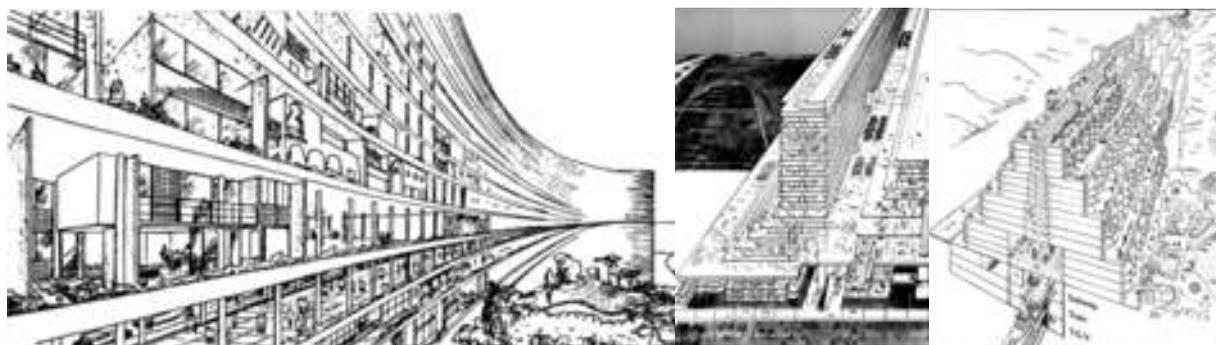


Рис. 5. Проекты линейных городов:
План Обюс А (1932 г., арх. Ле Корбюзье), Линейный город в Нью-Джерси (1965 г., арх. Питер Айзенман и Майкл Грейвс) и линейный город Жилия Готье (1994 г., linearcity.ca)

вязанный к какому-то месту, канадского архитектора Жили Готье (1994 г.).

У Хастингса прямых последователей не было. Он сам отошёл от градостроительства и, хотя их дружба продолжалась вплоть до самоубийства Чемблесса в 1936 г., в 1920 г. он написал свою известную антиутопию «Город бесконечной ночи» (City of Endless Night), где предсказал приход к власти в Германии национал-социализма и её поражение в войне со всем окружающим миром. В его книге Берлин 2151 года являлся последним рубежом немецкой обороны и поэтому превращён в бронированное железобетонное здание-крепость:

«Это оказался атлас и справочник Берлина. На обложке была показательная диаграмма, из которой следовало, что Берлин – город шестидесяти этажей. ... Обратившись к указателю атласа, я посмотрел статистику населения и обнаружил, что по последней переписи оно составило около трехсот миллионов человек. ... Когда я вычислил площадь города, который был примерно овальной формы и имел восемь километров в ширину и одиннадцать в длину, я обнаружил, что население на данной площади было не больше, чем на острове Манхэттен до реформы земельного законодательства, которую мы ввели во второй половине двадцатого века. Поэтому в цифрах численности населения не было ничего невероятного» [16].

Мелочи жизни в этом осаждённом городе удивительным образом что-то напоминали:

«Я услышал звонок и, обернувшись, увидел, что металлическая коробка соскользнула на боковую доску из отверстия в стене. В этой коробке я нашел свой обед, которым я наслаждался в одиночестве. ... Обед закончился, я искал способ избавиться от посуды. Сложив её обратно в контейнер, я нащупал и нажал клавишу, которая что-то в стене включила, и мои блюда отпаривались в общественную посудомоечную машину. ... «Будете ли вы примерять новый костюм?», – прервал меня портной, протягивая одежду. Костюм был немного обтягивающим, но я заверил, что подгонка была идеальной. Затем, сняв костюм, я смотрел, как он кладёт его в пакет, открывает стенной шкаф, набирает номер моего дома и отправляет мой костюм в путь одним из многочисленных перевозчиков, которые оплели город» [16].

Выводы. Оба рассмотренных проекта принято считать линейными городами. Первый, безусловно, им является. Идея его была синдикалистской утопией народовластия в отдельно взятом городе на базе совместного проживания и ремесленного производства трудящихся масс – именно для их размещения и было задумано сооружение, самодостаточное и независимое от окружающей среды, которая подразумевалась враждебной. Проект со всеми его последователями связывает использование са-

мых последних (на момент его создания) технических достижений и наличие в таком городе какого-то своего места только для его авторов. Поэтому все эти сооружения не были и, пока существуют свободный человек и живая природа, вряд ли где-то будут реализованы.

Второй проект, только внешне напоминая линейный город, по сути является концепцией не формы, а ячейки структуры города. Неделимой ячейки городского пространства, состоящей из дороги и дома с полным набором инженерного обеспечения, которое является частью этой дороги. Город, состоящий из таких ячеек, не ограничен какой-то формой, в нём есть свободное место для всех и он часть своей окружающей среды, поэтому здесь найдётся место и для каждого в отдельности – и не только в специально отведённой ячейке, а во всём таком городе. Поэтому проект Хастингса и его идеи, основанные на реальных потребностях людей, не стали утопией, а растворились в успешно реализованных проектах послевоенного американского пригорода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Terán, Fernando* de “La Ciudad Lineal, antecedente de un urbanismo actual”. Ciencia Nueva, Madrid, 1968, 77 p.
2. *Navascués Palacio, Pedro* “La Ciudad Lineal de Arturo Soria”. Villa d e Madrid, 1969, No.28, pp. 49–58. URL:
3. *Sambricio, Carlos* “Ciudad Lineal, un ejemplo de urbanismo liberal”. In: “Arturo Soria y el urbanismo europeo de su tiempo 1894–1994: primer centenario de la Compañía Madrileña de Urbanización”. Fundación Cultural COAM, Madrid, 1996, pp. 38–49. URL: <http://oa.upm.es/1628/>.
4. *López Rodríguez, Armando* “La singladura de la Compañía Madrileña de Urbanización a la muerte de su fundador”. Espacio Tiempo y Forma. Serie V, Historia Contemporánea, [S.l.], 2017, No.29, pp. 329–351, DOI: 10.5944/etfv.29.2017.18858.
5. Wood, Edith “The Spanish Linear City”. The Journal of the American Institute of Architects, 1921, Vol. 9, pp. 169–174.
6. *Chambless, Edgar* “ROADTOWN”, New York: Roadtown Press, 1910, 172 p.
7. *Hastings, Milo* “A Solution of the Housing Problem in the United States”. The Journal of the American Institute of Architects, 1919, Vol. 7, pp. 259–266.
8. *Wallechinsky David, Wallace Irving* “The People’s Almanac”, N.Y.: Doubleday, 1975, 1478 p.
9. *Collins, George R.* “Linear planning throughout the world.” Ekistics, 1960, vol. 9, no. 54, pp. 242–253. JSTOR, www.jstor.org/stable/43622692.
10. *Филиппов В.Д.* Дезурбанизм: советская утопия и американская практика // Innovative project. 2017. Т. 2, № 2. с.50–69. DOI: 10.17673/IP.2017.2.02.6
11. *Levittown NY in 1948.* URL: <http://hairstyle.adamstomp.com/levittown-ny-in-1948/picture>.

12. Hicksville Water District Announces Forthcoming Water Main Infrastructure Improvements. URL: <https://patch.com/new-york/hicksville/hicksville-water-district-announces-forthcoming-water-main-infrastructure-improvements>.

13. *Frampton, Kenneth* "The Other Le Corbusier: Prmitive Form and the Linear City 1929–52". *Arquitectura*, 1987, No.264–265, pp.30–37.

14. *Roosevelt, Franklin D.* Message to Congress - Toll Roads & Free Highway Development, April 27, 1939. URL: <https://www.virginiaplaces.org/transportation/tollroadsfreeroads.pdf>.

15. National Housing Act (1934) - The Living New Deal. URL: <https://livingnewdeal.org/glossary/national-housing-act-1934/>.

16. *Hastings, Milo* "City of Endless Night", New York: Dodd, Mead and Company, 1920, 346 p.

8. Wallechinsky David, Wallace Irving. *The People's Almanac*, N.Y.: Doubleday, 1975. 1478 p.

9. Collins, George R. Linear planning throughout the world. *Ekistics*, 1960, vol. 9, no. 54, pp. 242–253.

10. Filippov V.D. Disurbanism: Soviet Utopia and American Practice. *Innovative project*, 2017, vol.2, no.2, pp. 50–69. (in Russian) DOI: 10.17673/IP.2017.2.02.6

11. Levittown NY in 1948. Available at: <http://hair-style.adamstop.com/levittown-ny-in-1948/picture>

12. Hicksville Water District Announces Forthcoming Water Main Infrastructure Improvements. Available at: <https://patch.com/new-york/hicksville/hicksville-water-district-announces-forthcoming-water-main-infrastructure-improvements>

13. *Frampton, Kenneth.* The Other Le Corbusier: Prmitive Form and the Linear City 1929–52. *Arquitectura*, 1987, no.264–265, pp.30–37.

14. *Roosevelt, Franklin D.* Message to Congress - Toll Roads & Free Highway Development, April 27, 1939. Available at: <https://www.virginiaplaces.org/transportation/tollroadsfreeroads.pdf>

15. National Housing Act (1934) - The Living New Deal. Available at: <https://livingnewdeal.org/glossary/national-housing-act-1934/>

16. *Hastings, Milo.* City of Endless Night. New York: Dodd, Mead and Company, 1920. 346 p.

REFERENCES

1. Terán, Fernando de. La Ciudad Lineal, antecedente de un urbanismo actual. *Ciencia Nueva*, Madrid, 1968, 77 p.

2. Navascués Palacio, Pedro. La Ciudad Lineal de Arturo Soria. *Villa de Madrid*, 1969, no.28, pp. 49–58.

3. Sambricio, Carlos. Ciudad Lineal, un ejemplo de urbanismo liberal. In: *Arturo Soria y el urbanismo europeo de su tiempo 1894–1994: primer centenario de la Compañía Madrileña de Urbanización*. Fundación Cultural COAM, Madrid, 1996, pp. 38–49. Available at: <http://oa.upm.es/1628/>

4. López Rodríguez, Armando. La singladura de la Compañía Madrileña de Urbanización a la muerte de su fundador. *Espacio Tiempo y Forma. Serie V, Historia Contemporánea*, [S.l.], 2017, no.29, pp. 329–351. DOI: 10.5944/etfv.29.2017.18858

5. Wood, Edith. The Spanish Linear City. *The Journal of the American Institute of Architects*, 1921, vol.9, pp. 169–174.

6. *Chambless, Edgar.* ROADTOWN. New York: Roadtown Press, 1910. 172 p.

7. *Hastings, Milo.* A Solution of the Housing Problem in the United States. *The Journal of the American Institute of Architects*, 1919, Vol. 7, pp. 259–266

Об авторе:

ФИЛИППОВ Василий Дмитриевич
ведущий инженер дирекции АСА СамГТУ
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194

FILIPPOV Vassily D.
Leading engineer
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (846) 339–14–59
E-mail: vasilf@mail.ru

Для цитирования: *Филиппов В.Д.* Линейные города: независимые американские проекты // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 148–155. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.21.

For citation: *Filippov V.D.* Linear City: Independent American Projects. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 148–155. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.21.



Е. А. КРЕСТИН

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ДОВОДКИ ТОЛКАТЕЛЯ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ

OPTIMIZATION OF ENERGY COSTS AT THE STAGE OF DESIGNING
AND REFINING OF THE PUSHER OF ENGINE GAS DISTRIBUTION MECHANISM

С целью оптимизации энергозатрат на стадии проектирования и доводки основных узлов газораспределительного механизма выполнены расчеты. Использована методика расчета кольцевых зазоров для выбора рациональных размеров конструкции узла толкателя, а также газораспределительного механизма двигателя строительных машин. Рассмотрена модель толкателя в расчетной схеме смазочной системы двигателя для строительных машин, которая способствует уточнению расчетных данных по расходам масла основных потребителей. Полученные данные ускоряют отработку конструкции двигателя на стадиях проектирования, доводки и эксплуатации машин и механизмов. Основная задача состояла в расчете толкателя указанного типа для получения данных о расходе масла через кольцевой зазор, образованный гильзой и корпусом толкателя.

Ключевые слова: толкатель, газораспределительный механизм, осцилляции, гидродинамические параметры, утечки жидкости, фрикционный расход, строительные машины

Использование настоящей методики расчета динамики вязкой жидкости в кольцевых зазорах обеспечивает выбор рациональных размеров конструкции узла толкателя, а также газораспределительного механизма двигателя строительных машин. Включение модели толкателя в расчетную схему смазочной системы способствует уточнению расчетных данных по

In order to optimize energy consumption at the design stage and fine-tuning the main components of the gas distribution mechanism, calculations were performed. The method of calculating annular gaps was used to select the rational dimensions of the pusher assembly design, as well as the gas distribution mechanism of the engine of construction machines. A pusher model is considered in the design scheme of the engine lubrication system for construction vehicles, which helps to refine the calculated data on the oil consumption of the main consumers. The data obtained accelerate the development of the engine design at the design, development and operation stages of machines and mechanisms. The main task was to calculate the pusher of the indicated type to obtain data on oil consumption through the annular gap formed by the sleeve and the pusher body.

Keywords: pusher, gas distribution mechanism, oscillations, hydrodynamic parameters, fluid leakage, frictional flow, construction machines

расходам масла основных потребителей, что ускоряет отработку конструкции двигателя на стадиях проектирования и доводки.

Толкатель механизма газораспределения (рис. 1) непосредственно связан с кулачком 1, управляемым движением звеньев привода. Под действием кулачка и пружины 2 толкателя, осуществляющей силовое замыкание цепи

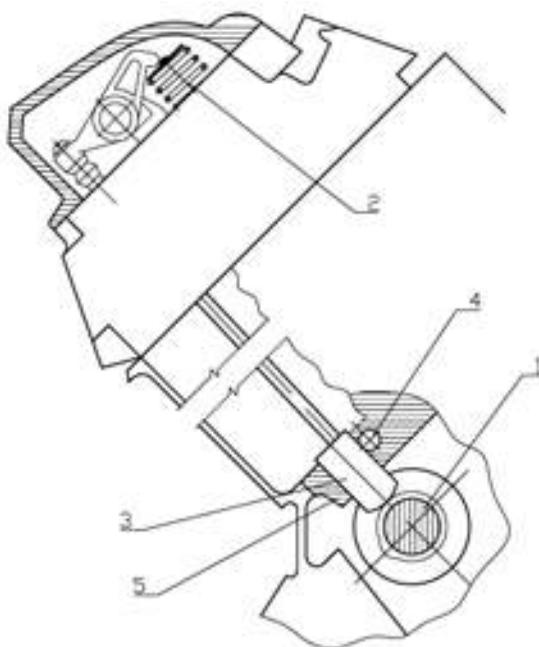


Рис. 1. Схема толкателя газораспределительного механизма:
1 – кулачок; 2 – пружина; 3 – толкатель;
4 – масляный канал; 5 – блок цилиндров

клапанного механизма, толкатель совершает возвратно-поступательное движение. Смазка направляющей цилиндрической части толкателя 3 поступает из масляного канала 4, просверленного в блоке цилиндров 5. Между отверстием блока (гильзой) и корпусом толкателя предусмотрен гарантированный зазор. После выполнения смазывающих и охлаждающих функций масло сливается в поддон двигателя. Таким образом, перепад давления между масляным каналом и выходным сечением из кольцевого зазора равен давлению в канале, так как на выходе из зазора равно давлению атмосферное.

За счет силы трения между кулачком и толкателем, возникающей при вращении кулачка,

плунжер в гильзе может оказаться с перекосом, совершая возвратно-поступательное движение вдоль своей оси.

Основная задача состоит в гидравлическом расчете толкателя указанного типа для получения данных о расходе масла через кольцевой зазор, образованный гильзой и корпусом толкателя.

Исследования на модели двигателя позволили снять зависимость подъема толкателя впускного клапана от угла поворота кулачка (рис. 2).

Из графика видно, что в первом полупериоде толкатель совершает возвратно-поступательное движение с максимальной амплитудой 8,05 мм, а во втором – неподвижен.

Найдем фрикционный расход, обусловленный возвратно-поступательным движением толкателя, и расход от пульсации давления масла в зазоре.

Определение фрикционного расхода. При возвратно-поступательном движении толкателя в обойме происходят фрикционные (переносные) утечки масла. Определим величину фрикционного расхода. Расчет ведется для половины толкателя, так как кольцевой зазор симметричен относительно оси масляного канала, проходящей перпендикулярно к оси обоймы.

Аппроксимируем график подъема толкателя (см. рис. 2) экспоненциальной зависимостью вида

$$y(\varphi) = Ae^{-B(\varphi - \varphi_0)^2}, \tag{1}$$

где A – максимальное (амплитудное) значение подъема толкателя, $A = 8,05$ мм;

φ – текущее значение угла поворота кулачка толкателя;

φ_0 – значение угла поворота толкателя, соответствующее максимальному (амплитудному) подъему толкателя ($\varphi_0 = 81^\circ$);

B – коэффициент.

Величина коэффициента B определяется следующим образом.

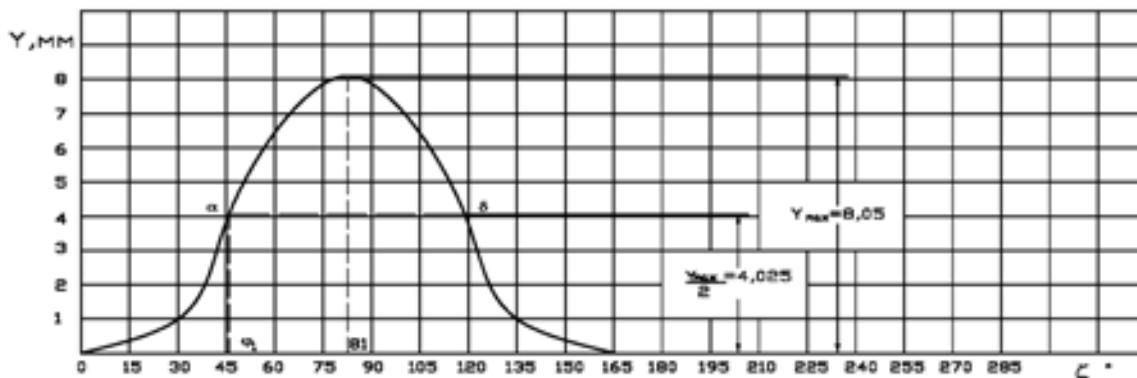


Рис. 2. График подъема толкателя впускного клапана

Проведем линию *ав*, соответствующую половине максимального подъема толкателя. Угол поворота кулачка от начала подъема толкателя до точки «а» будет равен приблизительно $\varphi_1 = 46^\circ$ (см. рис. 2). Тогда зависимость (1) будет иметь вид

$$4,025 = 8,025e^{-B(46^\circ - 81^\circ)^2}$$

или в радианах

$$4,025 = 8,025e^{-B(0,803 - 1,414)^2}$$

Отсюда найдем значение коэффициента

$$B = \frac{\ln 2}{(0,803 - 1,414)^2} = 1,858 \text{ рад}^{-2}.$$

С учетом соотношений $\varphi = \omega t$, $\varphi_0 = \omega t_0$ функция (1) запишется таким образом:

$$y(\omega t) = Ae^{-B\omega^2(t-t_0)^2},$$

производная которой по времени будет определять скорость подъема толкателя:

$$V(t) = -2AB\omega^2(t-t_0)e^{-B\omega^2(t-t_0)^2}, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость вращения кулачка.

Аппроксимируем график скорости подъема толкателя системой линейных уравнений:

$$\sum_{m=0}^{m=n} \sum_{k=0}^{k=n} [A_k \cdot \sin(k\varphi_m) + B_k \cdot \cos(k\varphi_m)] = \sum_{m=0}^{m=n} V_m, \quad (3)$$

где V_m – правая часть системы линейных уравнений, определяется на основе решения зависимости (2);

A_k, B_k – коэффициенты системы уравнений;

φ_m – текущее значение угла поворота кулачка.

Фурье-компоненты скорости подъема толкателя $v_{c,km}$ [1] в формуле удельного фрикционного расхода определяются на основании коэффициентов A_k, B_k следующим образом:

$$v_{c,km} = \frac{B_k}{2} + i \frac{A_k}{2},$$

где i – мнимая единица.

Для определения правой части системы уравнений, неизвестных коэффициентов системы (2) и фрикционного расхода утечек была составлена программа расчета на ЭВМ.

Графики изменения фрикционного расхода за цикл вращения кулачка для параметров $\omega = 146,6$ рад/с ($n = 1400$ об/мин); $A = 8,05 \times 10^{-3}$ м; $D = 3 \times 10^{-2}$ м; $v_{85} = 0,17 \times 10^{-4}$ м²/с показаны на рис. 3.

Кривая 1 определена для зазора $h = 1,3 \times 10^{-5}$ м.

Стационарный напорный расход масла в кольцевом зазоре толкателя имеет постоянное значение на протяжении всего цикла вращения кулачка при неизменном давлении в масляном канале. Фрикционный расход, обусловленный возвратно-поступательным движением толкателя, на первой четверти периода цикла изменится от минимума до максимума и вновь до минимума, совпадая при этом по направлению с напорным расходом. На второй четверти периода напорные и фрикционные утечки имеют противоположные направления. На втором полупериоде цикла вращения кулачка будут только напорные утечки, так как фрикционные равны нулю. Следовательно, общие утечки за цикл будут равны площади, ограниченной осью абсцисс и кривой Oabcde (рис. 4).

Расчеты показали, что в радиальном зазоре размером $h = 1,3 \times 10^{-5}$ м доля напорного расхода при постоянном перепаде давления составляет около 2 % от фрикционного (амплитудного) расхода при давлении в масляном канале 1×10^5 Па, а при давлении 5×10^5 Па увеличивается до 10 %. С увеличением радиального зазора до $h = 3,2 \times 10^{-5}$ м указанная доля возрастает до 12 и 58 % соответственно.

Таким образом, при минимальном значении давления в масляном канале (1×10^5 Па) и радиальном зазоре $h = 1,3 \times 10^{-5}$ м напорным расходом можно пренебречь и расчет утечек вести только от фрикционного течения. При радиальном зазоре $h = 1,3 \times 10^{-5}$ м и давлении в масляном канале 5×10^5 Па необходимо учитывать как фрикционные, так и напорные утечки.

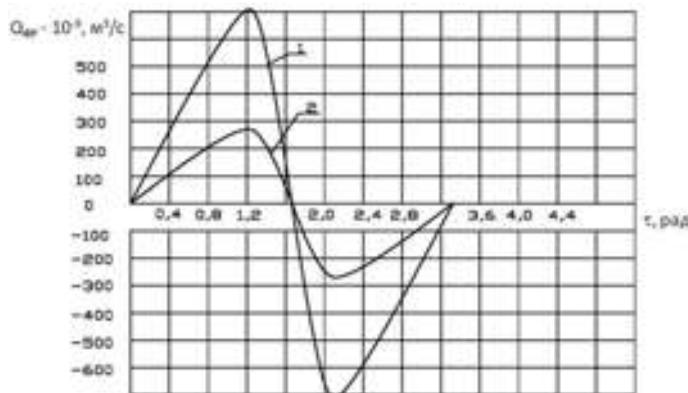


Рис. 3. Изменение фрикционного расхода утечек масла за цикл вращения кулачка при зазоре: 1 – $3,2 \times 10^{-5}$ м; 2 – $1,3 \times 10^{-5}$ м

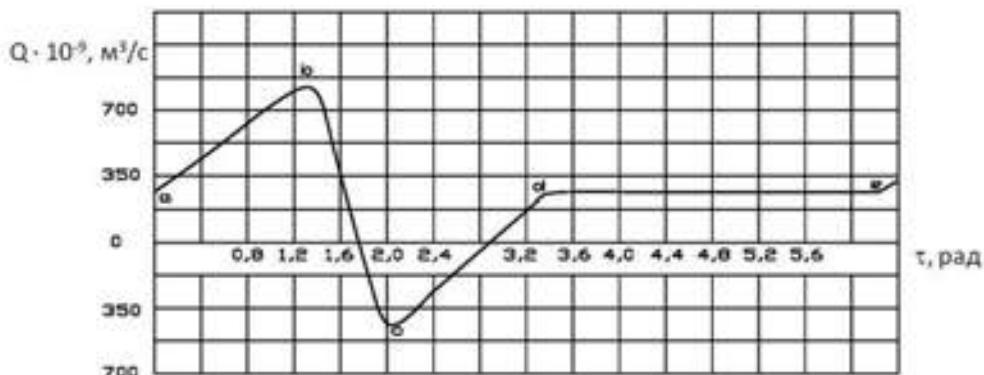


Рис. 4. Зависимость расхода утечек через кольцевой зазор толкателя за один цикл вращения кулачка

Определение расхода утечек от пульсаций давления. Во время испытаний модели двигателя в масляном канале были зарегистрированы пульсации давления с амплитудой $P_0 = 0,5 \times 10^5$ Па и частотой $f = 6,25$ Гц (рис. 5).

Определим величину расхода, обусловленную пульсациями давления на входе в кольцевой зазор толкателя.

С достаточной точностью можно считать, что закон изменения давления в масляном канале описывается «треугольным» синусом (рис. 6).

Введением масштабного коэффициента $a = 0,319 \times 10^5$ Па изменим амплитудное значение ординаты на величину $0,5 \times 10^5$ Па.

Разложенный в ряд Фурье «треугольный» синус запишется так:

$$P_q = \frac{4a}{\pi} \left(\sin \omega t - \frac{\sin 3\omega t}{3^2} + \frac{\sin 5\omega t}{5^2} - \Lambda \right),$$

или в экспоненциальной форме

$$P_q = \frac{4a}{\pi} \left(\frac{e^{\omega t} - e^{-\omega t}}{2i} - \frac{e^{3\omega t} - e^{-3\omega t}}{3^2 \cdot 2i} + \frac{e^{5\omega t} - e^{-5\omega t}}{5^2 \cdot 2i} - \frac{e^{7\omega t} - e^{-7\omega t}}{7^2 \cdot 2i} + \Lambda \right).$$

Величина z_k при радиальном зазоре $h = 3,2 \times 10^{-5}$ м составляет:

$$z_k = h \sqrt{\frac{k\omega}{2\nu}} = 3,2 \cdot 10^{-5} \times \sqrt{\frac{k \cdot 2\pi \cdot 6,25}{2 \cdot 0,17 \cdot 10^{-4}}} = 0,034 \sqrt{k}.$$

Даже при числе гармоник $k = 100$ параметр z_k будет меньше единицы. Следовательно, в данном случае имеет место низкочастотный (квазистационарный) предел.

Формула расхода от пульсаций давления при перекосе толкателя имеет вид [1, 2]:

$$Q(t)_{\Delta P} = \pi Di \sum_{k \neq 0} \left(-\frac{k_{\Delta P} \cdot h \cdot \Delta P_{kn}}{k\omega\rho L} \right) \times \left[1 - \frac{\sin \lambda_k^*}{\lambda_k^*} - \frac{(1 - \cos \lambda_k^*)^2}{\lambda_k^* \cdot \sin \lambda_k^*} \right] \cdot e^{-ik\omega t}, \quad (4)$$

где ΔP_{kn} – фурье-компоненты при пульсирующем давлении;

L – половина длины кольцевого зазора;

h – радиальный зазор при соосном положении толкателя и гильзы;

$k_{\Delta P}$ – поправочный коэффициент, учитывающий перекося толкателя в гильзе, величина экспериментальная; $k_{\Delta P} = 0,6$.

Величина экспериментального коэффициента $k_{\Delta P}$ совпадает с эмпирическим коэффициентом, полученным в работе [3], при определении утечек по поршневым группам в случае перекося поршня в цилиндре.

Разложим тригонометрические функции, стоящие в квадратных скобках формулы (4), в ряд по малому параметру λ_k^* , удерживая малые величины λ_k^* в степени не выше второй:

$$1 - \frac{\sin \lambda_k^*}{\lambda_k^*} - \frac{(1 - \cos \lambda_k^*)^2}{\lambda_k^* \cdot \sin \lambda_k^*} = 1 - 1 + \frac{1}{6} (\lambda_k^*)^2 - \frac{1}{4} (\lambda_k^*)^4 - \frac{1}{12} (\lambda_k^*)^2 = -\frac{1}{12} \frac{k\omega h^2}{\nu}. \quad (5)$$

Фурье-компоненты пульсаций перепада давления в формуле (4) определяются так:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{2k} &= 0, \\ \Delta P_{(2k-1)} &= \pm \frac{\pi}{4} \frac{i}{k^2 2} \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где знак плюс берется при $k = 1, -3, 5, -7, \dots$; знак минус – при $k = -1, 3, -5, 7, \dots$

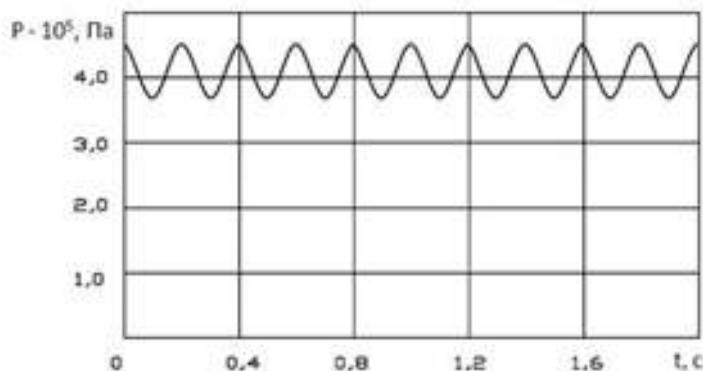


Рис. 5. График пульсаций давления в масляном канале

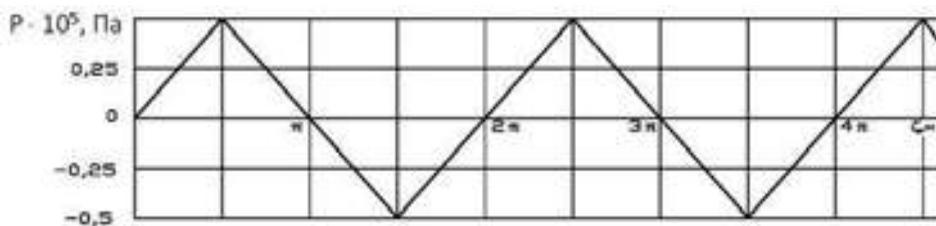


Рис. 6. Аппроксимированная функция пульсаций давления

Реальная часть комплексного выражения (4), с учетом разложения (5), имеет вид

$$Q(t)_{\Delta P} = \frac{\pi D h^3 k_{\Delta P}}{12 \mu L} \sum_{k \neq 0} \Delta P \cdot \sin k \omega t. \quad (7)$$

График изменения расхода от пульсаций давления для радиального зазора $3,2 \times 10^{-5}$ м, с учетом перекоса толкателя в гильзе, представлен на (рис. 7).

На рис. 8 изображен график изменения расхода от пульсаций давления за период при различном угле перекоса толкателя в обойме для радиального зазора $1,3 \times 10^{-5}$ м.

Анализ графических зависимостей для величины расхода показал, что с увеличением

радиального зазора доля стационарной компоненты расхода и расхода от пульсаций давления в общих утечках увеличивается.

Если при зазоре $1,3 \times 10^{-5}$ м, угловой скорости вращения кулачка 146,6 рад/с, давлении в масляном канале 1×10^{-5} Па ими можно пренебречь (0,6 и 1,2 %), то при зазоре $3,2 \times 10^{-5}$ м угловой скорости 31,42 рад/с и давлении в масляном канале 1×10^{-5} Па стационарный расход уже в 1,65 раза превышает фрикционный. Во всем диапазоне изменения радиального зазора при угловой скорости вращения кулачка толкателя 146,6 рад/с динамической составляющей расхода от пульсаций давления можно пренебречь.

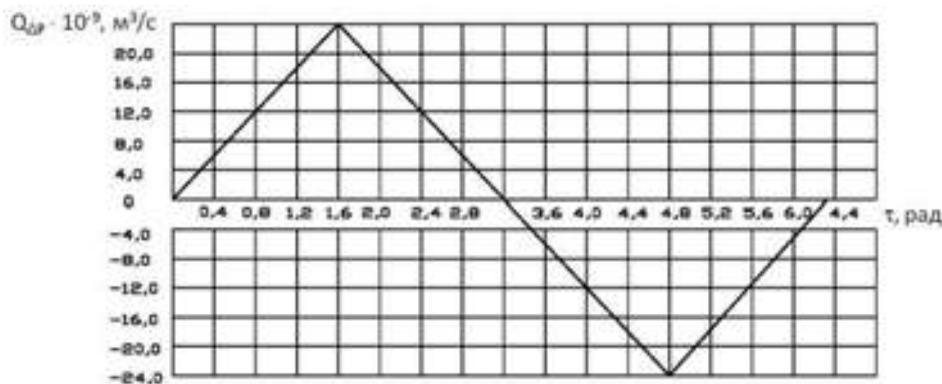


Рис. 7. Изменение расхода за период через кольцевой зазор толкателя от пульсаций давления

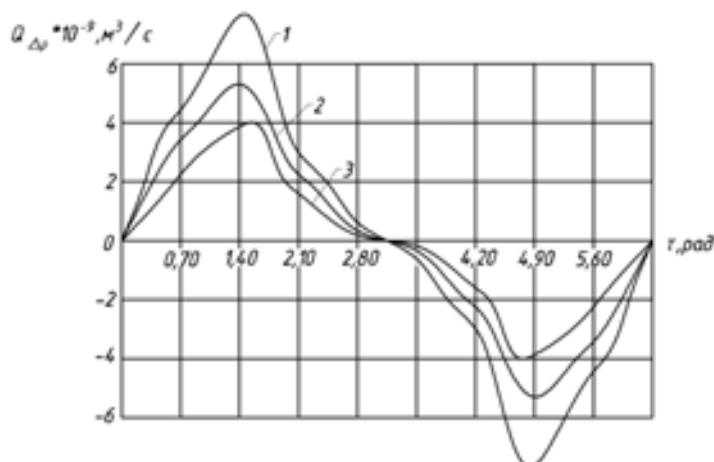


Рис. 8. График изменения расхода от пульсаций давления при различном угле перекоса толкателя в обойме

Выводы. 1. В зависимости от сочетания величины зазора, угловой скорости кулачка и давления в канале, расчет утечек следует вести или только от фрикционного течения, или с учетом всех составляющих общего расхода.

2. При радиальном зазоре, определяемом допуском на изготовление толкателя и обоймы, от $1,3 \times 10^{-5}$ до $3,2 \times 10^{-5}$ м, давления в масляном канале $(1 \dots 5) \times 10^5$ Па и угловой скорости вращения кулачка толкателя 31,42–146,6 рад/с доля составляющих от общего расхода утечек различна.

3. При зазоре $1,3 \times 10^{-5}$ м, давлении в масляном канале 1×10^5 Па и угловой скорости вращения кулачка 146,6 рад/с стационарным расходом и расходом от пульсаций давления можно пренебречь.

4. При зазоре $3,2 \times 10^{-5}$ м, давлении в масляном канале 1×10^5 Па, угловой скорости вращения кулачка 31,42 рад/с необходимо учитывать все составляющие общего расхода: фрикционный, стационарный, а также расход от пульсаций давления.

5. Реализованная в виде программы на ЭВМ методика расчета толкателя газораспределительного механизма двигателя строительных машин может быть рекомендована для использования как на этапе составления технического задания [4–8], так и при эксплуатации уже существующих механизмов, что позволит значительно сократить число испытаний при создании бесконтактных уплотнений подвижных соединений указанных машин и механизмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крестин Е.А. Расчет расхода утечек через кольцевой зазор при перекосе плунжера в обойме // Научное обозрение. 2014. №.12. С. 524–526.

2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.: Наука, 1984. 832 с.

3. Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. Анализ величин утечек по поршневым группам насоса Н-518 и определение объемного КПД // Гидропривод и гидропневмоавтоматика. М.: Техника. 2006. Вып. 5. С. 93–100.

4. Галицков С.Я., Дуданов И.В. Автоматизированный гидропривод поворотной платформы экскаватора // Труды секции «Строительство». Строительный вестник Российской инженерной академии. Вып. 8. М., 2007. С. 15–18.

5. Лозовецкий В.В. Гидро- и пневмосистемы транспортно-технологических машин. СПб., 2012. 560 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. Баишта Т.М., Руднев С.С. Гидравлика, гидромашины, гидропривод. М.: Машиностроение, 2002. 423 с.

8. Белоцерковский О.М., Денисенко В.В., Конюхов А.В., Опарин А.С., Трошкин О.В., Четкин В.М. Численное исследование устойчивости течения Тейлора между двумя цилиндрами в двухмерном случае // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2009. № 4. С. 754–768.

REFERENCES

1. Krestin E.A. Calculation of leakage rate through the annular gap when the plunger is skewed in the holder. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2014, no. 12, pp. 524–526. (in Russian)

2. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike* [Math reference]. Moscow, Nauka, 1984. 832 p.

3. Skrickij V. Ja., Rokshevskij V. A. Analysis of leakage values for piston groups of the pump N-518 and determination of volumetric efficiency. *Gidroprivod i gidropnevmoavtomatika* [Hydraulic Drive and Hydro pneumatic Automation], 2006, no. 5, pp. 93-100. (in Russian)

4. Galickov S.Ja., Dudanov I.V. Excavator Swing Platform Hydraulic Drive. *Trudy sekcii «Stroitel'stvo». Stroitel'nyj vestnik Rossijskoj inzhenernoj akademii* [Proceedings of the Section "Construction". Construction Bulletin of the Russian Academy of Engineering], 2007, no. 8, pp. 15-18. (in Russian)

5. Lozoveckij V.V. *Gidro- i pnevmosistemy transportno-tehnologicheskikh mashin* [Hydro and pneumatic systems of transport and technological machines]. Saint Petersburg, 2012. 560 p.

6. Shejpak A.A. Hydraulics and hydropneumatic actuator. *Gidravlicheskie mashiny i gidropnevmoprivod* [Hydraulic machines and hydropneumatic actuator]. 4th ed. Moscow. Moscow Polytechnic University, 2009. 352 p.

7. Bashta T.M., Rudnev S.S. *Gidravlika, gidromashiny, gidroprivod. Mashinostroenie* [Hydraulics, hydraulic machines, hydraulic drive. Mechanical engineering]. Moscow, 2002. 423 p.

8. Belocerkovskij O.M., Denisenko V.V., Konjuhov A.V., Oparin A.S., Troshkin O.V., Chechetkin V.M. Numerical study of the stability of the Taylor flow between two cylinders in the two-dimensional case. *Zhurnal vychislitel'noj matematiki i matematicheskoy fiziki* [Computational Mathematics and Mathematical Physics], 2009, no. 4, pp. 754–768. (in Russian)

Об авторе:

КРЕСТИН Евгений Александрович

кандидат технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: krestin@bk.ru

KRESTIN Evgeny A.

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

Для цитирования: Крестин Е.А. Оптимизация энергозатрат на стадии проектирования и доводки толкателя газораспределительного механизма двигателя // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 156–162. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.22.

For citation: Krestin E.A. Optimization of Energy Costs at the Stage of Designing and Refining of the Pusher of Engine Gas Distribution Mechanism. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 156–162. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.22.

Уважаемые читатели!

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

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, индексируется в РИНЦ, CrossRef и ERIH PLUS

По вопросам, связанным с публикацией статей, обращаться **vestniksgasu@yandex.ru**

Полная информация о журнале на сайте **journal.samgasu.ru**



А. М. ПАРАМОНОВ
Л. В. МОСТОВЕНКО

**ВАРИАТИВНЫЕ ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДВИЖЕНИЯ ЗАПЫЛЕННОГО ПОТОКА
В ИНЕРЦИОННО-ВАКУУМНОМ ЗОЛОУЛОВИТЕЛЕ**

VARIABLE BOUNDARY CONDITIONS FOR SOLVING
THE PROBLEM OF MOTION OF A DUSTY FLOW IN
AN INERTIAL-VACUUM DUST COLLECTOR

Объект исследования представлен в виде инерционно-вакуумного золоуловителя (ИВЗ). Существует два вида ИВЗ: первого поколения и второго поколения. На первом эксперимент проведен в 2009 г., на втором – в 2018 г. В установках рассматриваются схожие принципы золоулавливания. Целью написания статьи является выполнение сравнения результатов натурного эксперимента, проведенного на инерционно-вакуумном золоуловителе второго поколения на Омской станции ТЭЦ-4, и данных численного эксперимента, рассчитанных в ANSYS CFX. В граничные условия после первоначальных расчетов внесены корректировки. Данные, полученные в ходе численного эксперимента с уточненными граничными условиями, хорошо коррелируются с натурным экспериментом. Представлены схемы измерений и графические зависимости степени эффективности улавливания от геометрических характеристик золоуловителя.

Ключевые слова: *запыленный поток, инерционно-вакуумный золоуловитель, ANSYS CFX, реламинизация*

Проблема защиты окружающей среды от мелкодисперсных выбросов предусматривает увеличение доли уловленных веществ, загрязняющих атмосферный воздух. В основном существуют два основных источника загрязнения атмосферы: стационарные (промышленные предприятия, топливно-энергетический комплекс, сельское хозяйство, горнодобывающая промышленность) и подвижные (транспорт).

The object of study in this article is presented in the form of an inertial-vacuum dust collector (IVDC). There are two types of IVDC: first generation and second generation. The first experiment was conducted in 2009, and the second in 2018. The plants consider similar principles of dust collection. The purpose of this article is to compare the results of a full-scale experiment conducted on a second-generation inertia-vacuum dust collector at the Omsk TPP-4 station and the data of a numerical experiment calculated in ANSYS CFX. After the initial calculations, adjustments were made to the boundary conditions. The data obtained in the course of a numerical experiment with specified boundary conditions are in good agreement with the full-scale experiment. Measurement schemes and graphical dependences of the degree of capture efficiency on the geometric characteristics of the ash collector are presented.

Keywords: *dusty stream, inertial-vacuum dust collector, ANSYS CFX, relaminization*

Основными источниками искусственных аэрозольных загрязнений воздуха являются теплоэлектростанции, которые потребляют уголь высокой зольности, обогатительные фабрики, металлургические, цементные, магнизовые и сажевые заводы. Под атмосферным загрязнением понимают присутствие в воздухе газов, паров, частиц, твердых и жидких веществ, тепла, колебаний, излучений, которые неблаго-

приятно влияют на растения, животных, человека, климат, материалы, здания и сооружения. Загрязнение атмосферы может происходить как вследствие преобразования ее компонентов, так и переноса загрязняющих веществ из других частей биосферы. Эти процессы могут иметь природный или антропогенный характер. Вещества, попадающие в атмосферу непосредственно из-за человеческой деятельности, обычно относят к антропогенным выбросам и загрязнителям. В атмосферу Земли ежегодно поступает 150 млн. т различных аэрозолей, около 1 км³ пылевидных частиц искусственного происхождения.

Известно множество способов улавливания золы. Несмотря на это, вопрос создания высокоэффективного золоуловителя с долгим сроком работы без выхода в ремонт остается нерешенным. Разработка нового способа улавливания золы – крайне трудоемкая работа, осложненная созданием громоздких дорогостоящих опытных установок, проведением натурных экспериментов на действующих котлах. На сегодняшний день наиболее приемлемыми являются предварительные исследования вновь создаваемых аппаратов на основе численных расчетов с применением программ, таких как ANSYS, позволяющих провести полномасштабный численный эксперимент.

Инерционно-вакуумный золоуловитель (ИВЗ) [1] необходим для эффективного улавливания золы из потока уходящих газов на тепловых электростанциях. Особенность его работы заключается в очистке потока до 99 % объемного расхода газов 150000 м³/ч. Первый полупромышленный образец ИВЗ был испытан в 2009 г. при участии магистрантов Омского государственного технического университета. На него имеется патент – «Инерционно-вакуумный пылеуловитель» № 92358 от 22.10.2009.

Принцип работы ИВЗ первого поколения основан на создании зон разрежения (вакуумического давления) на отдельных участках, хорошо влияющих на улавливание частиц золы. Инерционное золоулавливание состоит в отделении частиц из потока на высоких скоростях. Вакуумическое давление – это давление, численно меньше атмосферного. Оно создается в установившемся режиме работы при отсутствии присосов воздуха в зонах поворотной и золоприемной камер. Дополнительное оборудование для создания разрежения в поворотной камере и бункере не используется.

ИВЗ второго поколения разрабатывался в рамках хозяйственной темы № 15001, исполнителем которой был и автор статьи. Разработчики должны были придерживаться исходных данных заказчика. Гранулометрический состав золы эки-

бастузского угля изменяется по дифференциальной кривой распределения золы (рис. 1).

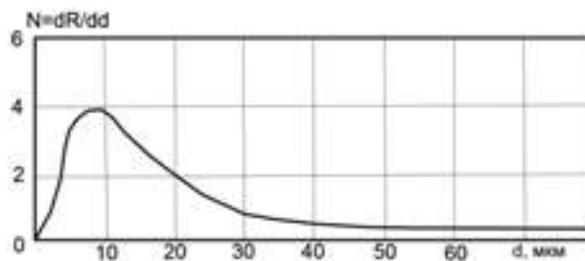


Рис. 1. Дифференциальная кривая распределения частиц золы экибастузского угля по размеру

Объемный расход дымовых газов составляет 150 тыс. м³/ч, запыленность частицами золы потока – 70 г/м³, перепад давления – 66 мм вод. ст. Эти данные являются основными параметрами проведения численного эксперимента, в ходе которого были приняты во внимание особенности поведения запыленного потока в ИВЗ. ИВЗ второго поколения разрабатывался при финансовой поддержке ИНТЕР РАО «ЕЭС» из фонда «Энергия без границ» на основании проведенных численных экспериментов.

В последующем изложении сочетание рассекателя и колец называется направляющим аппаратом.

Согласно рис. 2 инерционно-вакуумный золоуловитель содержит вертикально расположенный двухступенчатый корпус 1, нижняя ступень которого представляет собой золоприемную камеру (ЗПК) 6, а верхняя предназначена для золоотделения и выполнена в виде двух соосно расположенных цилиндрических обечайек 2, 3. Внутренняя обечайка 2 служит входным патрубком 4 для подвода очищаемых дымовых газов, а кольцевое пространство между двумя обечайками – каналом 5 отвода очищенных дымовых газов. Золоотделитель содержит также поворотную камеру (ПК) 8 в нижней части золоотделяющей ступени, сообщающую выход из канала 4 в канал выходного патрубка 5. ПК 8 выполнена с кольцами 12 на крестовине 13, над которым по оси корпуса 1 установлен конусообразный рассекатель 9. Боковая поверхность последнего совместно с нижней частью внутренней обечайки 2 образует конфузорное выходное сопло 10 канала 4. Входной участок 11 кольцевого канала 5 выполнен диффузорным. Высота h рассекателя 9 составляет 0,5–0,8 высоты H внутренней обечайки 2, а угол α сужения конфузорного сопла 10 равен углу повышения степени эффективности β расширения диффузорного участка 11 канала 5 отвода очищенных газов и составляет $\alpha = \beta = (15-20)^\circ$.

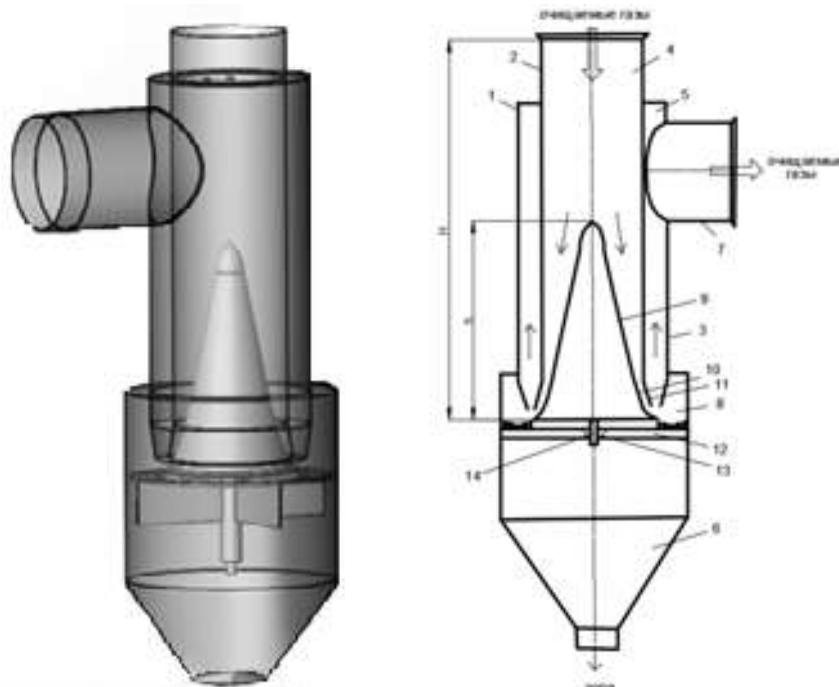


Рис. 2. Инерционно-вакуумный золоуловитель второго поколения: 1 – двухступенчатый корпус; 2, 3 – цилиндрические обечайки; 4 – входной патрубок; 5 – канал для очищенных дымовых газов; 6 – золоприемная камера (ЗПК); 7 – выходной патрубок; 8 – поворотная камера ПК; 9 – рассекатель; 10 – конфузорное выходное сопло; 11 – входной диффузорный участок; 12 – кольца; 13 – крестовина, удерживающая кольца; 14 – ось

Принцип работы ИВЗ следующий. Газ с золовыми частицами через входной патрубок 4 входит в золоуловитель, далее движется по аэроканалу и выходит из разгонного сопла 10. Частицы, приобретая кинетическую энергию вдоль рассекателя 9, по инерции перемещаются в поворотную камеру 8 и за счет силы тяжести осаждаются в бункере 6. Не осаждаются частицы лишь с самыми малыми диаметрами. В ПК 8 образуется аэродинамическая ловушка – частицы имеют возможность попасть в нее, но не могут выйти и впоследствии полностью осаждаются в бункере.

ИВЗ первого поколения (рис. 3) выглядит схоже с аппаратом второго поколения. Отличия: у ИВЗ первого поколения рассекатель меньшей высоты; дополнительно сделано три конфузорных и диффузорных участка; в рассекателе просверлены отверстия для сглаживания пульсаций потока и создания небольшого разрежения в области золowego бункера, ПК, под рассекателем.

В сентябре 2018 г. в Омской области в АО «ТЭК-11» СП «ТЭЦ-4» на котле БКЗ-320-140 проводился натурный эксперимент с ИВЗ. В эксперименте было задействовано следующее оборудование: гравиметрическая система «GRAVIMAT SHC-501»,

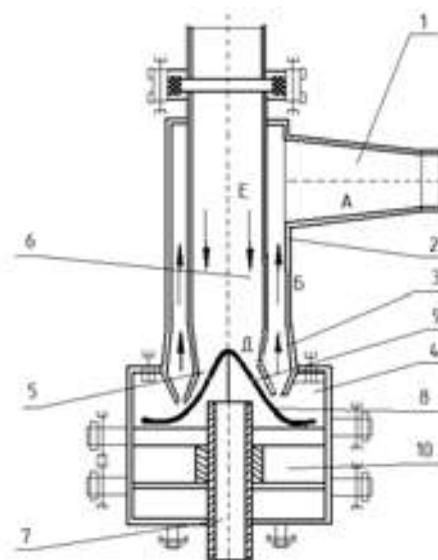


Рис. 3. Схема работы ИВЗ первого поколения: 1 – выходной канал чистого воздуха; 2 – аэроканал подвода воздуха; 3 – разгонное сопло; 4 – поворотная камера (ПК); 5 – патрубок входа загрязненного газа; 6 – входной патрубок; 7 – штанга перемещения направляющего аппарата; 8 – рассекатель; 9 – отверстие в рассекателе; 10 – золотый бункер

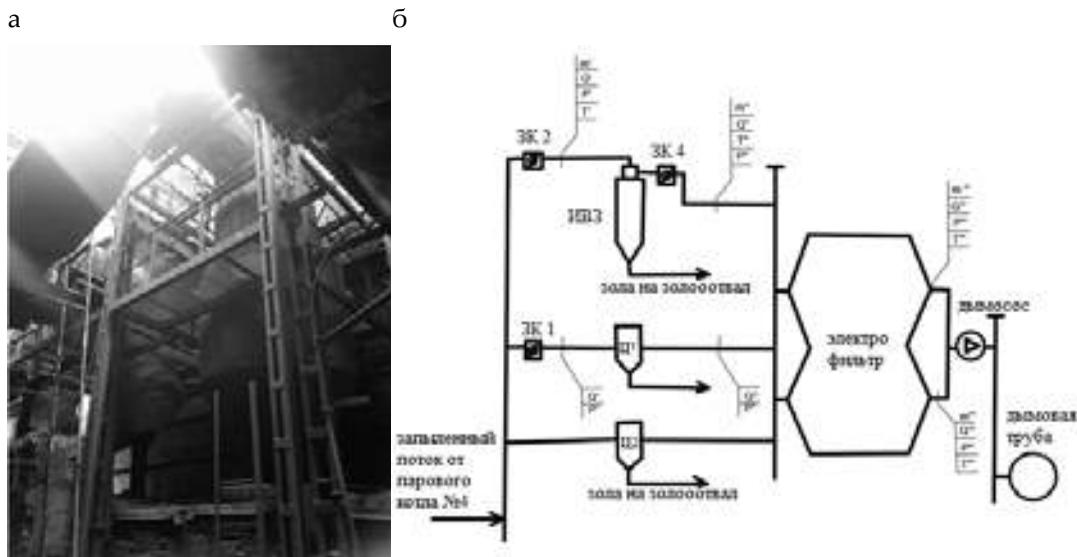


Рис. 4. Инерционно-вакуумный золоуловитель второго поколения:
 а – общий вид ИВЗ второго поколения; б – схема золоулавливающей установки с ИВЗ:
 Ц-1,2 – циклоны; ГЗУ – гидрозолоудаление; ЗК 1,3,4 – запорная арматура; ЭФ – электрофильтр

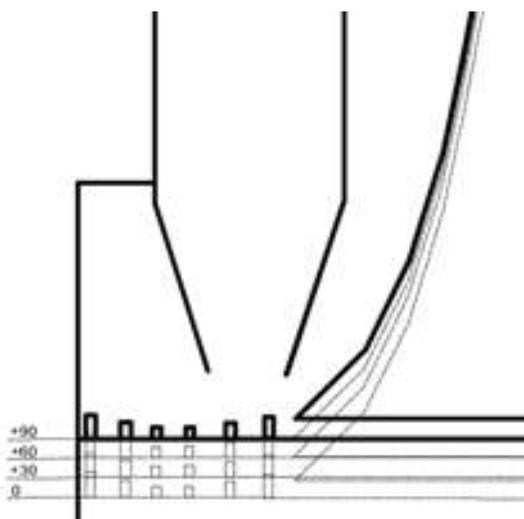


Рис. 5. Схема перемещения раскателя для проведения натурального эксперимента

газоанализатор «Quintox KM 9106», пневмометрическая трубка Прандтля, многофункциональный дифманометр ДМЦ-01. Измерительное сечение в газоходе было выбрано в соответствии с требованиями ГОСТ 17.2.4.06, ГОСТ 17.2.4.07, ГОСТ Р 50820.

В ходе эксперимента совершались замеры с мерных сечений, указанных на рис. 4. Основные замеры, используемые для верификации математической модели турбулентности по ИВЗ: запыленность несущего потока до и после ИВЗ; сопротивление установки, объемный расход газов до и после ИВЗ; температуры на входе и выходе.

Данные натурального эксперимента были получены при проведении опытов [2] при положении раскателя на отметках, как показано на рис. 5. Чем выше поднимали раскатель, тем больше становилось сопротивление установки [3], меньше объемный расход уходящих газов, больше скорость газов в узком проходном сечении и выше эффективность золоуловителя.

Математическая модель приведена ниже.

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j) = 0.$$

Уравнение движения:

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_i U_j) = -\frac{\partial p'}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_{\text{eff}} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] + S_M.$$

Уравнения к-ε модели:

$$\frac{\partial (\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \epsilon + P_{kb};$$

$$\frac{\partial (\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \frac{\epsilon}{k} (C_{\epsilon 1} P_k - C_{\epsilon 2} \rho \epsilon + C_{\epsilon 1} P_{kb}).$$

Уравнение для эффективной и суммарной вязкости:

$$\mu_{\text{eff}} = \mu + \mu_t, \quad \mu_t = C_{\mu} \rho \frac{k^2}{\varepsilon}.$$

Смещение частицы рассчитывается с использованием прямого интегрирования Эйлера скорости частицы по временному шагу, δt .

Таким образом, $(dx_p/dt) = U_p$, перемещение частицы записывается как

$$x_p^n = x_p^0 + U_p^0 \delta t.$$

Расчет массы частиц на входе и на выходе оценивается как $m = \rho_d \frac{\pi d^2}{6}$, где ρ_d – плотность частицы; d – ее диаметр.

Аналитическое решение уравнения импульса частицы:

$$m_p \frac{dw_p}{dt} = F_{\text{ali}},$$

где m_p – масса частицы, а F_{ali} принимается как сумма всех сил, влияющих на частицу.

При этом следует определить действующие силы:

$$F_{\text{ali}} = F_D + F_B + F_R + F_{VM} + F_p + F_{BA'}$$

где F_D – сила аэродинамического сопротивления; F_B – сила тяжести; F_R – сила, обусловленная вращательным движением; F_{VM} – сила, обусловленная ускорением частицы относительно газа; F_p – сила, обусловленная градиентом давления; $F_{BA'}$ – сила Бассэ.

Основные силы, оказывающие влияние на улавливание частиц золы в ИВЗ второго поколения, – это аэродинамическая сила и сила тяжести.

Аэродинамическая сила сопротивления частицы пропорциональна скорости скольжения U_s между частицей и скоростью жидкости:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_F A_F |U_s| U_s = \frac{1}{2} C_D \rho_F A_F |U_F - U_P| (U_F - U_P).$$

Сила тяжести равна весу вытесненной жидкости и определяется как

$$F_B = (m_p - m_F)g = m_p \left(1 - \frac{\rho_F}{\rho_P}\right)g = \frac{\pi}{6} d_p^3 (\rho_P - \rho_F)g.$$

Аэродинамическая сила F_D пропорциональна значению числа Рейнольдса. Значение силы тяжести F_B необходимо учитывать, так как она влияет на оседание частиц более 5 мкм в золовый бункер. Сила Кориолиса, возникающая при вращении частицы F_R , оказывает большое влияние при высокой турбулентности ($4000 < Re$). Сила градиента давления F_p виртуальная массовая сила FVM, сила Бассэ F_{BA} не учитываются в ANSYS CFX.

Основным показателем, характеризующим работу аппаратов очистки воздуха от пыли, является коэффициент (степень) очистки (эффективность обеспыливания), %:

$$\eta = \frac{m_{\text{уд}}}{m_{\text{вх}}} \cdot 100.$$

По результатам полученных данных оценивались расчеты, на основании которых производилось конструирование золоулавливающего аппарата. Ранее граничные условия фиксировали перепад давлений, скорость, концентрацию золы на входе. При новых численных расчетах граничными условиями на входе стал массовый расход газов 150000 м³/ч, концентрация золы 70 г/м³; а на выходе – давление 0 Па. Скорости запыленного потока по проточной части были получены в результате численного расчета. Расчеты выполнялись в программном модуле ANSYS CFX [4–8] методом контрольных объемов.

Перерасчет производился по значениям, полученным после изменения высоты поворотной камеры (рис. 6) и высоты рассекателя (рис. 7).

На рис. 6 видно, что изменение высоты поворотной камеры показывает наличие экстремума, после которого увеличивать высоту камеры нецелесообразно. Таким образом, увеличение высоты нецелесообразно и несет за собой лишь бесполезный расход металла.

Хорошую эффективность улавливания в случае «в» можно объяснить тем, что кинетической энергии, набранной прохождением частицы вдоль профиля рассекателя, хватит для того, чтобы пройти ПК, потерять в ПК энергию и переместиться за счет силы тяжести в золовый бункер.

При «а» и «д» результаты были получены неудовлетворительные. Отсутствие ПК приводило либо к тому, что частицы на скорости 60,8 м/с движутся напрямую к стенке бункера, в связи с чем может происходить повышенный абразивный износ поверхности, либо большая часть частиц двигались в сторону выхода. Элемент ПК необходим для повышения качества ИВЗ, так как его наличие повышает показатель качества улавливания установки на 30 % от варианта «д».

Рассекатель [9], разные высоты которого изображены на рис. 2, – очень важный элемент ИВЗ. Благодаря ему достигается реламиниризация потока [10]. Если его высота невелика, то до середины рассекателя вдоль установки, при больших градиентах скоростей, не происходит сглаживание пульсаций. Увеличение высоты рассекателя приводит к сглаживанию возможных пульсаций потока. Также высота важна для равномерного набора скорости частиц и их последующего инерционного отделения от несущей фазы.

От высоты рассекателя зависит, успеет ли поток, поступающий от входа, набрать необхо-

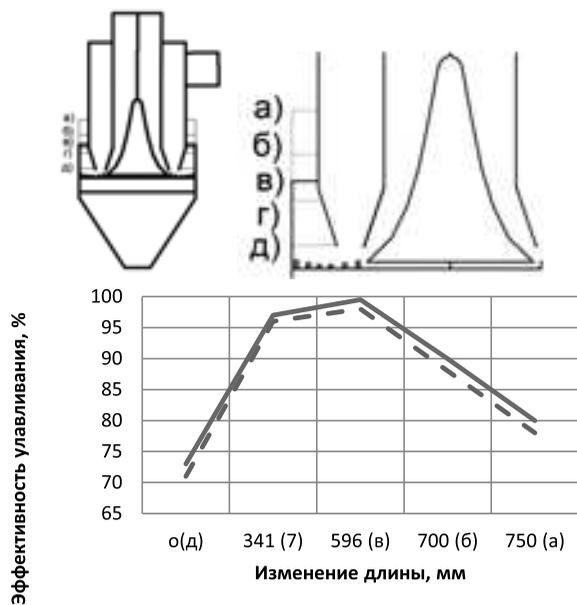


Рис. 6. Схема положения высоты поворотной камеры, при которой были проведены расчеты

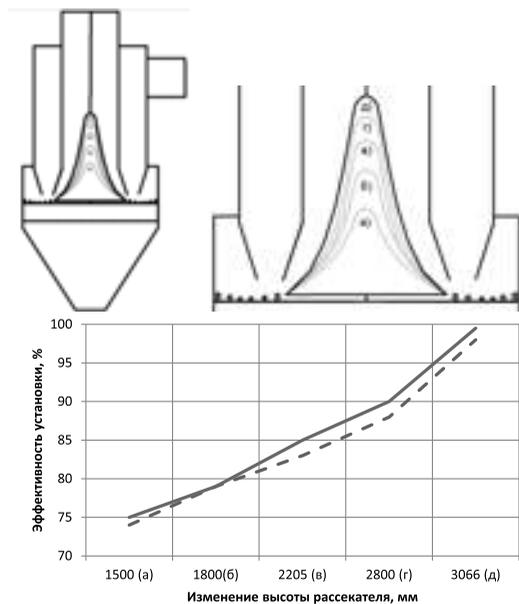


Рис. 7. Варианты изменения высоты рассекателя и эффективность улавливания

димую скорость порядка 60 м/с и разделиться на два самостоятельных потока – золу и газ.

На рис. 6 и 7 приведены две зависимости: сплошная линия – данные численного эксперимента при первичных граничных условиях, пунктирная – данные численного эксперимента с верифицированными по натурному эксперименту граничными условиями. По новым результатам эффективность в обоих случаях стала ниже из-за влияния создающегося разрежения.

Последующая работа с ИВЗ состоит в изменении положения направляющего аппарата относительно отметки его начального положения. Смещение должно производиться за счет перемещения обтекателя на тросе вниз на 1 см. В каждом опыте будет найдена эффективность улавливания золы, объемный расход газов и аэродинамическое сопротивление аппарата. Это необходимо для того, чтобы обнаружить наличие явления реламинизации на отдельных участках. Для этого построены монтажно-настроечные таблицы, в которых установлена взаимосвязь скорости в средней части конфузорного участка на число Рейнольдса. Если значение числа Рейнольдса, вычисленного по толщине потери импульса, попадает в область 500–2000, значит произошла реламинизация потока. В таком случае удастся зафиксировать уменьшенное сопротивление установки.

Выводы. 1. Установлена зависимость влияния степени эффективности улавливания от высоты рассекателя и поворотной камеры.

2. Полученная зависимость при первичных граничных условиях хорошо коррелируется с результатами вторичных граничных условий. Первичные граничные условия были получены в ходе верификации по натурному эксперименту с ИВЗ первого поколения, вторичные – по ИВЗ второго поколения.

3. В результате изучения был получен материал, анализ которого позволил выдвинуть рекомендации для дальнейшего исследования ИВЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоглазова Л.В., Белоглазов В.П., Градобоев В.Н. Инерционно-вакуумный золоотделитель для дымовых газов // Патент на полезную модель № 175570; бюл. 35 от 11.12.2017.
2. РД 153–34.1–27.301–2001. Методика испытаний золоулавливающих установок тепловых электростанций и котельных. М.: ОАО «ВТИ». 2003. 82 с.
3. Дойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М., 2012. 210 с.
4. Florian Meter. Turbulence Modeling for Engineering Flows: ANSYS CFX. 2011. 25 p.
5. Durbin P.A., Reif B.A. Statistical Theory and Modeling for Turbulent Flows, John Wiley & Sons. 2011. 372 p.
6. Серпин Дж. Математические основы классической механики жидкости. М., 2011. 839 с.
7. Fox R.O. Large-eddy-simulation tools for multiphase flows. Annual Review of Fluid Mechanics. 44 (1). 2012. Pp. 47–76.
8. Кэйс В. М. Конвективный тепло- и массообмен. М: Энергия, 1972. 448 с.
9. Белоглазов В.П., Белоглазова Л.В. Влияние высоты рассекателя на эффективность улавливания золы экибастузского угля в инерционно-вакуумном золоуловителе // Надежность и безопасность энергетики. 2016. № 1 (32). С. 46–49.

10. Белоглазов В.П., Мостовенко Л.В. К вопросу о «реламинизации» // Омский научный вестник. 2018. № 4 (160). С. 64–67. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-160-64-67.

REFERENCES

1. Beloglazova L.V., e.a. *Inercionno-vakuumnyjzoolotdelitel'dlyadymovyhgazov* [Inertia-vacuum flue gas ash separator]. Patent RF, no. 175570, 2017.

2. Beloglazov V.P., Mostovenko L.V. To the question of «relaminization». *Omskijnauchnyjvestnik* [The Journal Omsk Scientific Bulletin], 2018, no.4, pp. 64–67. (in Russian)

3. Beloglazov V.P., Beloglazova L.V. The effect of the divider heights on the extraction efficiency of Ekibastuz coal in an inertial vacuum ash collector. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki* [Safety and Reliability of Power Industry], 2016, no.1, pp. 46–49. (in Russian)

4. Guidance Document 153–34.1–27.301–2001. Testing method for ash collectors of thermal power plants and boiler houses. Moscow, All-Russia Thermal Engineering Institute Publ., 2003. 82 p.

5. Lojcyanskij L.G. *Mekhanikazhidkostiigaza* [Fluid and gas mechanics]. Moscow, Drofa Publ., 2012. 210 p.

6. Florian Meter. Turbulence Modeling for Engineering Flows. Canada, ANSYS CFX Publ., 2011. 25 p.

7. Durbin P.A., Pettersson Reif B.A. Statistical Theory and Modeling for Turbulent Flows. United Kingdom, John Wiley & Sons Publ., 2011. 372 p.

8. Serrin J. *Mathematical principles of classical fluid mechanics*. USA, Handbuch der Physik Publ., 1959. 256 p. (Russ. ed.: Serrin J. *Matematicheskie osnovy klassicheskoy mekhaniki zhidkosti*. Izhevsk, Regular and Chaotic Dynamics Publ., 2011. 839 p.)

9. Fox R.O. Large-eddy-simulation tools for multi-phase flows. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 2012, vol. 1, no. 44. Available at: <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-fluid-120710-101118>

10. Keis V.M. *Konvektivnyjteplo-imassoobmen* [Convective Heat and Mass Transfer]. Moscow, Energiya Publ., 1972. 448 p.

Об авторах:

ПАРАМОНОВ Александр Михайлович

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры теплоэнергетики Омский государственный технический университет 644050, Россия, г. Омск, ул. Мира, 11 E-mail: amparamonov@mail.ru

PARAMONOV Alexander M.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Heat Power Engineering Chair Omsk State Technical University 644050, Russia, Omsk, Mira str., 11 E-mail: amparamonov@mail.ru

МОСТОВЕНКО Любовь Владимировна

старший преподаватель кафедры теплоэнергетики Омский государственный технический университет 644050, Россия, г. Омск, ул. Мира, 11 E-mail: teploblv@mail.ru

MOSTOVENKO Lyubov V.

Senior Lecturer of the Heat Power Engineering Chair Omsk State Technical University 644050, Russia, Omsk, Mira str., 11 E-mail: teploblv@mail.ru

Для цитирования: Парамонов А.М., Мостовенко Л.В. Вариативные граничные условия для решения задачи движения запыленного потока в инерционно-вакуумном золоуловителе // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 4. С. 163–169. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.23.

For citation: Paramonov A.M., Mostovenko L.V. Variable Boundary Conditions for Solving the Problem of Motion of a Dusty Flow in an Inertial-Vacuum Dust Collector. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 4. Pp. 163–169. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.04.23.

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ

Прием статей для публикации в научно-техническом журнале «Градостроительство и архитектура» осуществляется в постоянном режиме.

1. В редакцию журнала необходимо вместе с рукописью статьи представить следующие документы:

- *Сопроводительное письмо*, подписанное руководителем организации, откуда исходит рукопись. Для аспирантов, соискателей и работников СамГТУ сопроводительное письмо представлять не требуется.
- Выписка из протокола заседания кафедры о публикации статьи в журнале.
- *Экспертное заключение* о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись
- *Внешняя рецензия*, заверенная по месту работы рецензента.
- *Лицензионный договор*.

2. Общие требования к оформлению документа:

- Формат страницы – А4, ориентация книжная
- Шрифт текста рукописи – Times New Roman, размер 14pt
- Междустрочный интервал – 1,5
- Общий объем рукописи (включая иллюстрации, таблицы, библиографический список) – 8–15 страниц формата А4.
- Формулы следует набирать с использованием редакторов формул MathType 6 или MS Equation 3.0. Формула не должна содержать промежуточные преобразования.
- Иллюстрации выполняются черно-белыми (с хорошей проработкой деталей) в программах Corel Draw (с расширением *.cdr) или других редакторах (с расширением *.jpeg или *.tiff).
- Библиографический список размещается в конце текста статьи, нумерация дается в порядке последовательности ссылок. На все литературные источники должны быть ссылки в тексте [в квадратных скобках]. При ссылках на нормативные документы (СНиПы, ГОСТы) номер и название документа указываются непосредственно в тексте статьи (в круглых скобках). Библиографический список должен быть оформлен по ГОСТ Р 7.0.5-2008.

3. Структура размещения основных частей статьи:

- индекс УДК
- инициалы, фамилии авторов
- название статьи на русском языке
- название статьи на английском языке
- аннотация на русском языке (не менее 10 строк)
- аннотация статьи на английском языке
- ключевые слова на русском языке (до 10 словосочетаний)

- ключевые слова на английском языке
- текст статьи (предпочтительно с выводами)
- библиографический список (не менее 5 наименований)
- полные сведения об авторе(ах) на русском языке: фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность, контактные телефоны (с кодом города), e-mail автора(ов); наименование организации (с указанием почтового адреса учреждения), в которых работает автор(ы), на русском языке
- полные сведения об авторе(ах) на английском языке (см. выше)

4. Рукописи, не соответствующие требованиям редакции, не рецензируются, не публикуются и не возвращаются авторам

5. Публикации в журнале подлежат только оригинальные статьи, соответствующие тематическим направлениям журнала и ранее не публиковавшиеся в других изданиях.

6. При положительном решении редакции об опубликовании научной статьи с автором(ами) заключается лицензионный договор. Вознаграждение (гонорар) за опубликованные научные статьи не выплачивается.

7. Редакция имеет право представлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования, а также размещать данные материалы на интернет-сайте журнала <http://journal.samgasu.ru>.

8. Авторский коллектив несет ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права или «ноу-хау» в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

9. Авторские права на каждый номер журнала (в целом) принадлежат учредителю журнала – СамГТУ. Перепечатка материалов журнала без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Материалы научной статьи (рукопись статьи и сопроводительные документы к ней в печатном виде) должны быть отправлены по почте или доставлены лично по адресу: Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194, Академия строительства и архитектуры, Самарский государственный технический университет. Редакция журнала «Градостроительство и архитектура» (каб. 307).

По всем вопросам, связанным с публикацией статей в журнале «Градостроительство и архитектура», обращаться к отв. секретарю Досковской Марии Сергеевне по тел. (846)278-44-81, E-mail: vestniksgasu@yandex.ru, uc-arch@yandex.ru.