

ISSN (PRINT) 2542-0151
ISSN (ONLINE) 2782-2109

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

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

URBAN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Т. 11, № 3

САМАРА
2021

УДК 71+72

Градостроительство и архитектура=Urban construction and architecture. 2021. Т. 11, № 3. 176 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:

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

В.А. СЕЛЕЗНЕВ, д.т.н., профессор (Тольятти)
Н.С. СЕРПОКРЫЛОВ, д.т.н., профессор (Ростов-на-Дону)
С.В. СТЕПАНОВ, д.т.н., доцент
А.И. ХЛЫСТОВ, д.т.н., профессор
К.Л. ЧЕРТЕС, д.т.н., профессор
Н.Г. ЧУМАЧЕНКО, д.т.н., профессор
В.А. ШАБАНОВ, к.т.н., профессор
Д.А. ШЛЯХИН, д.т.н., доцент
А.БОРОДИНЕЦ, D.Sc., профессор (Рига, Латвия)
З. ВОЙЧИЦКИ, D.Sc., профессор (Вроцлав, Польша)
Г. РАДОВИЧ, D.Sc. arch., профессор (Подгорица, Черногория)
М.КНЕЗЕВИЧ, D.Sc., профессор (Подгорица, Черногория)
Я. МАТУШКА, Ph.D., доцент (Пардубице, Чешская Республика)
А. МОЧКО, Ph.D., доцент (Вроцлав, Польша)
С. ОГНЕНОВИЧ, Ph.D., профессор (Скопье, Македония)
М.ПРЕМРОВ, D.Sc., профессор (Марибор, Словения)
Д. САФАРИК, главный редактор СТБUN Journal (Чикаго, США)

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

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

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

Executive Secretary – PhD in Philology M.S. DOSKOVSKAYA

Editorial Board

S.Yu. ANDREEV, D. Eng., Prof. (Penza)
I.I. ARTYUKHOV, D. Eng., Prof. (Saratov)
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)
A.L. GELFOND, D. Arch., Prof. (N. Novgorod)
V.P. GENERALOV, PhD in Architecture, Prof.
A.I. DANILUSHKIN, D. Eng., Prof.
V.N. ELISTRATOV, D. Eng., Prof. (Sa. Petersburg)
V.N. ZENTSOV, D. Eng., Prof. (Ufa)
T.V. KARAKOVA, D. Arch., Prof.
A.A. KUDINOV, D. Eng., Prof.
I.V. LIPATOV, D. Eng., Ass. Prof. (N. Novgorod)
N.D. POTIENKO, PhD in Architecture, Ass.Prof.
A.A. PROKOPOVICH, D. Eng., Ass. Prof.

V.A. SELEZNEV, D. Eng., Prof. (Tolyatti)
N.S. SERPOKRYLOV, D. Eng., Prof. (Rostov-on-Don)
S.V. STEPANOV, D. Eng., Ass. Prof.
A.I. KHLYSTOV, D. Eng., Prof.
K.L. CHERTES, D. Eng., Prof.
N.G. CHUMACHENKO, D. Eng., Prof.
V.A. SHABANOV, PhD in Engineering, Prof.
D.A. SHLYKHIN, D. Eng., Ass. Prof.
A. BORODINECS, D.Sc., Prof. (Riga, Latvia)
Z. WOJCICKI, D.Sc., Prof. (Wroclaw, Poland)
G. RADOVIC, D.Sc. arch., Prof. (Podgorica, Montenegro)
M. KNEZEVIC, D.Sc., Prof. (Podgorica, Montenegro)
J. MATUŠKA, Ph.D., Ass. Prof. (Pardubice, Czech Republic)
A. MOCZKO, Ph.D., Ass. Prof. (Wroclaw, Poland)
S. OGNJENOVIC, Ph.D., Prof. (Skopje, Macedonia)
M. PREMROV, D.Sc., prof., (Maribor, Slovenia)
D.SAFARIK (Chicago, the USA)

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

Журнал включен с 01.12.2015 г. в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий,
в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Журнал индексируется в системе РИНЦ

Каждой статье присваивается идентификатор цифрового объекта DOI

Индекс журнала в Объединенном каталоге «Пресса России»: И70570

Научное издание

Редактор Г.Ф. Коноплина

Корректор М.В. Веселова

Подписано в печать 23.09.2021. Выпуск в свет 29.09.2021.

Формат 60х90 1/8. Бумага мелованная.

Печать офсетная. Печ. л. 22,25. Тираж 300 экз. Заказ № 1965

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

Телефон: (846) 242-36-98

Интернет-сайт: <https://journals.eco-vector.com/2542-0151/index>

Отпечатано в типографии ООО «Слово»:

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

ISSN (Print) 2542-0151

ISSN (Online) 2782-2109

© СамГТУ, 2021

Содержание

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

- 4 **Галютдинов З.Ш.** Численное исследование работы железобетонных плит в зоне продавливания
- 14 **Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Жильцов Ю.В.** Трубобетонный центрально-нагруженный подколонник фундамента под стальную колонну
- 20 **Мозголов М.В., Туранова А.В.** Об эффективности косых кессонных железобетонных перекрытий
- 26 **Родионов И.К., Сафронов Е.Г.** Усиление под нагрузкой деформированных сжатых стержней стальных стропильных ферм

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

- 32 **Габдушев Р.Ж., Денисов С.А., Кандаев Е.А.** Выбор теплоотражающего экрана при недопущении образования конденсата
- 38 **Масляничин А.П., Масляничина Е.В., Краснова М.С.** Математическое моделирование радиатора системы отопления как объекта управления

ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

- 44 **Минкина С.А., Негода Л.Л., Курмаева Т.С.** Анализ эффективности методов умягчения воды из природных источников
- 50 **Стрелков А.К., Базарова А.О., Теплых С.Ю.** Очистка сточных вод пищевых производств с высоким содержанием жиров, нефтепродуктов и фенольных примесей
- 56 **Тукташева Е.Ю.** Исследование эффективности предварительной реагентной обработки сточных вод пивоваренных заводов

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

- 62 **Орлов О.Г.** Анализ эффективности акустических экранов различной конструкции

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

- 67 **Гранстрем М.А., Золотарева М.В.** Градостроительное развитие Ленинграда 1920–1930-х годов
- 76 **Данилова Э.В., Вальшин Р.М.** Город Рема Колхаса: от теории к мастер-плану

- 84 **Самогоров В.А.** Жилые кварталы авиазаводов в индустриальном районе Безымянка в г. Куйбышеве (1940–1950-е)

- 97 **Самогоров В.А., Конкина Е.Д.** Теория цветовых контрастов Йоханнеса Иттена

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

- 104 **Володина Н.Н., Володин М.А.** Садово-парковые ансамбли в истории городов
- 117 **Громилина Э.А.** Аспекты преемственного развития архитектурно-планировочной структуры города
- 124 **Plotnikova T. A.** The power of networks and the digital world of co-creation: design tools and strategies

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО, ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

- 128 **Кормина А.А.** Комбинированные воздействия факторов жилой среды на благополучие населения города
- 138 **Медведева Т.А.** Применение пешеходных эстакад в комплексе мероприятий по преобразованию нарушенных территорий городов
- 145 **Нгуен В.М., Зайкова Е.Ю.** Изучение влияния городской застройки на поверхностный сток на примере района 8 города Хошимина

ЭНЕРГЕТИКА

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- 157 **Данилушкин А.И., Данилушкин В.А.** Оптимизация стационарных и переходных режимов работы электротехнического комплекса в технологической линии обработки металла
- 168 **Луковенко А.С.** Методика оценки экономического ущерба при отклонении коэффициента загрузки трансформатора
- 176 **ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ
И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ**



З. Ш. ГАЛЯУТДИНОВ

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ В ЗОНЕ ПРОДАВЛИВАНИЯ

NUMERICAL STUDY OF REINFORCED CONCRETE PLATES
IN THE PRESSURE AREA

Представлено описание конечно-элементных моделей узлов сопряжения железобетонной плиты с колонной, выполненных в ПК SIMULIA ABAQUS. Варьируемыми параметрами являлись отношения сторон колонны $c_{\max}/c_{\min}$ и отношения стороны колонны к рабочей высоте сечения c/h_0 . Расчёт выполнен в нелинейной постановке. Конечно-элементные модели показали реалистичное поведение: была зафиксирована пирамида продавливания. Обнаружена значительная неравномерность в распределении тангенциальных деформаций, а также главных сжимающих деформаций бетона на сжатой грани плиты по периметру колонны. Установлено, что характер образования и развития пирамиды продавливания зависит от величины отношения сторон сечения колонны $c_{\max}/c_{\min}$ и отношения стороны колонны к рабочей высоте сечения плиты c/h_0 .

Ключевые слова: продавливание, плоская плита, прямоугольная колонна

Here is the description of finite element models of joints between reinforced concrete slab and column, made in the SIMULIA ABAQUS software package. The variable parameters were the ratio of the sides of the column $c_{\max}/c_{\min}$ and the ratio of the side of the column to the effective depth c/h_0 . The calculation is performed in a non-linear formulation. Finite element models showed realistic behavior: a punching shear pyramid was detected. It was found a significant unevenness in the distribution of tangential deformations, as well as the main compressive deformations of the concrete slab near the column. The nature of the formation and development of the punching shear pyramid depends on the value of the ratio of the sides of the column $c_{\max}/c_{\min}$ and the ratio of the side of the column to the effective depth slab c/h_0 .

Keywords: punching, flat slab, rectangular column

При проектировании монолитных безбалочных каркасов зданий особое внимание уделяется расчету на продавливание плит перекрытия в узлах сопряжения с колоннами. Исследования работы плоских железобетонных плит при продавливании проводятся достаточно давно в нашей стране и за рубежом [1–5] и в настоящее время сохраняют свою актуальность, поскольку в процессе исследований выявляются новые параметры, влияющие на несущую способность плит [6–9].

Напряженно-деформированное состояние монолитной плиты в области, прилегающей

к колонне, имеет особенности, связанные с тем, что колонна для плиты является жёстким включением, которое препятствует свободному деформированию плиты. Степень этого влияния зависит, в том числе, и от формы поперечного сечения колонны [10]. Естественная форма деформирования плиты, нагруженной равномерно-распределённой нагрузкой, имеет чашевидное очертание. Поэтому, когда плита опирается на круглую колонну, деформации по периметру колонны распределяются относительно равномерно, вследствие чего в плите не возникает

концентрации деформаций. Когда же плита опирается на прямоугольную колонну, то углы колонны являются участками концентрации деформаций при изгибе плиты и нагрузка от плиты передаётся на колонну неравномерно, что приводит к перераспределению усилий в приопорной зоне плиты.

Для детального исследования работы монолитных железобетонных плит в зоне продавливания была проведена серия численных экспериментов на конечно-элементных (КЭ) моделях в ПК Simulia Abaqus, в котором есть возможность учесть реальную нелинейную диаграмму деформирования бетона, в том числе ее ниспадающую ветвь. ПК Abaqus широко используется в научных исследованиях, изучающих работу железобетонных конструкций, в том числе при работе на продавливание [11, 12], и показывает хорошую сходимость качественной и количественной картин натурного и численного экспериментов.

Численное исследование выполнялось на двух сериях конечно-элементных моделей:

– **Серия I** состоит из четырёх моделей. Конструктивные параметры и схема нагружения моделей соответствуют опытным образцам, испытанным в физическом эксперименте [13, 14] (табл. 1). Варьируемым параметром в серии I является отношение большей стороны колонны к меньшей c_{max}/c_{min} , которое изменяется от 1 до 4.

– **Серия II** состоит из четырёх моделей. Конструктивные параметры и схема нагружения моделей соответствуют опытному образцу КСП-1 [13, 14] и отличаются от него только размером поперечного сечения колонны (табл. 2). Также модель КСП-1-5-КЭ отличается количеством продольных стержней в колонне – 12 продольных стержней (4 вдоль каждой грани). Варьируемым параметром в серии II является отношение стороны колонны к рабочей высоте сечения плиты c/h_v , которое изменяется от 1 до 5.

Таблица 1

Соответствие образцов серии I в численном и физическом экспериментах

Марка КЭ модели в численном эксперименте	Марка соответствующего образца в физическом эксперименте	Размер сечения колонны, мм	Отношение сторон колонны c_{max}/c_{min}
КСК-КЭ	КСК	Круглая Ø 210	-
КСП-1-КЭ	КСП-1	200x200	1
КСП-2,5-КЭ	КСП-2,5	200x500	2,5
КСП-4-КЭ	КСП-4	200x800	4

Таблица 2

Геометрические параметры образцов серии II

Марка КЭ модели в численном эксперименте	Размер колонны, мм	h_v , мм	c/h_v , мм
КСП-1-1-КЭ	110x110	110	1
КСП-1-1,8-КЭ	200x200	110	1,82
КСП-1-3,6-КЭ	400x400	110	3,64
КСП-1-5-КЭ	550x550	110	5

Задача является симметричной, поэтому моделировалась только четверть образцов (рис. 1), реакции отброшенных частей компенсировались наложением связей. На верхней грани плиты моделировались металлические пластины, которые посредством тяг передавали нагрузку на плиту образца. На нижний узел тяг накладывалась связь, исключающая перемещение по вертикальной оси. Сетка конечных элементов принята размером 7 мм в соответствии с работой [15].

В конечно-элементных моделях предусматривалась арматура плиты и колонны. Моделировались нижняя и верхняя арматурные сет-

ки плиты, продольная и поперечная арматура колонны (рис. 2). Арматура плиты в различных направлениях располагалась на различной глубине, отличающейся на величину диаметра арматуры. Арматурные стержни моделировались конечным элементом «балка» (B31), т. е. учитывалась работа стержня на изгиб. Бетон моделировался объёмными конечными элементами (C3D8R).

Нагружение образцов производилось монотонно возрастающей равномерно-распределённой нагрузкой, действующей на нижней грани колонны. Расчёт проводился в динамическом решателе Explicit. Для реализации ква-

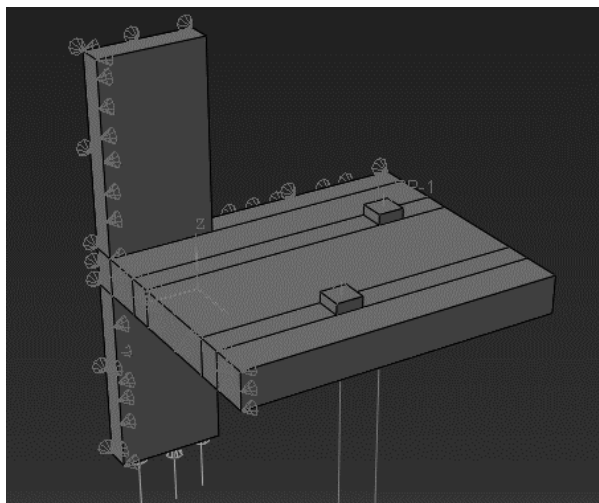


Рис. 1. Общий вид модели КСП-4-КЭ

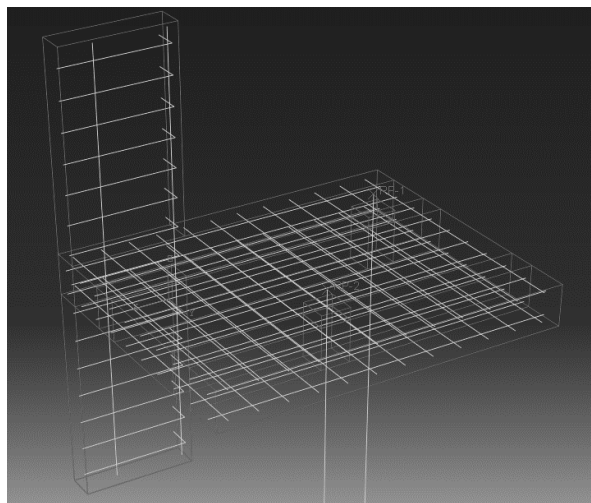


Рис. 2. Армирование модели КСП-4-КЭ

зистатического нагружения кинетическая энергия рассматриваемой системы должна быть минимальной. Для этого использовался встроенный инструмент искусственного «утяжеления» модели «mass scaling» (параметр «Target Time Increment» равен 0,0005, время нагружения 30 секунд).

Модель деформирования бетона и арматуры

В работе принята модель пластического разрушения бетона с повреждениями – concrete damage plasticity (CDP). Модель CDP позволяет учесть повреждения бетона на ветви разгрузки путем уменьшения модуля упругости. Величину уменьшения определяют коэффициенты повреждения бетона при растяжении (d_t) и сжатии (d_c). Поэтому в модели CDP возможен учёт обратимых «пластических» деформаций бетона – трещин. В модели CDP используется критерий разрушения Люблинера [16] с дополнениями, предложенными Ли и Фенвесом [17]. В данном критерии учитывается увеличение прочности (напряжений при разрушении) при двухосном и трёхосном напряженном состоянии по сравнению с одноосным.

Диаграмма деформирования бетона принималась согласно методическому пособию [18]. При этом соблюдались следующие требования:

- согласно методике [18], максимальные деформации бетона ограничиваются точкой на ниспадающей ветви, соответствующей напряжениям 0,85 от предела прочности материала. Это связано с тем, что данная методика является в первую очередь инженерной и даёт консервативную оценку. В данном исследовании

максимальные деформации сжатой ветви ограничивались значением 8000×10^{-6} ЕОД, растянутой ветви – 800×10^{-6} ЕОД;

- в качестве предела прочности бетона на сжатие принята призмечная прочность бетона (получена по результатам испытаний призм);
- прочность бетона на растяжение принята по формуле $R_{bt} = 0,232 \sqrt{R_m^2}$, где R_m – среднее значение кубиковой прочности бетона (получена по результатам испытания бетонных кубов);
- начальный модуль упругости бетона принят по табл. 6.11 СП 63.13330.2018 с применением коэффициента 0,85, который учитывает не продолжительное действие нагрузки.

Диаграмма деформирования арматуры принята двухлинейной согласно СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения». В качестве предела текучести принималось нормативное значение сопротивления арматуры растяжению $R_{s,л} = 500$ МПа. Значение величины модуля упругости арматуры принято $E_s = 206000$ МПа. Для возможности обработки программным комплексом данной диаграммы площадка текучести на диаграмме была задана с незначительным упрочнением. Это соответствует фактической диаграмме арматуры класса А500.

Разрушающая нагрузка

Разрушающая нагрузка в численном эксперименте определялась как максимальное значение суммы реакций опор на тягах, удерживающих образец и представлена в табл. 3, 4. Также была определена теоретическая несущая способность образцов согласно методике СП 63.13330.2018.

Для **серии I** отношение $\frac{P_{\text{разр,КЭ}}}{P_{\text{теор.}}}$ находится в пределах от 0,72 до 1,04. При этом для образцов с квадратной и прямоугольными колоннами отношение $\frac{P_{\text{разр,КЭ}}}{P_{\text{теор.}}}$ уменьшается с ростом отношения $c_{\text{max}}/c_{\text{min}}$. Так, для образца КСП-2,5-КЭ оно составляет 91 % по сравнению с КСП-1-КЭ, а для образца КСП-4-КЭ – 70 %.

Для **серии II** отношение $\frac{P_{\text{разр,КЭ}}}{P_{\text{теор.}}}$ находится в пределах от 0,82 до 1,04. При этом оно уменьшается с ростом отношения размера грани колонны к рабочей высоте плиты c/h_0 и для образца КСП-1-5-КЭ ($c/h_0 = 5$) составляет 79 % от величины $\frac{P_{\text{разр,КЭ}}}{P_{\text{теор.}}}$ для образца КСП-1-1-КЭ ($c/h_0 = 1$).

Таблица 3
Опытная и теоретическая несущая способность образцов серии I

Марка образца	$P_{\text{разр,КЭ}}, \text{ кН}$	$P_{\text{теор.}}, \text{ кН}$	$\frac{P_{\text{разр,КЭ}}}{P_{\text{теор.}}}$
КСК-КЭ	258,6	249,8	1,04
КСП-1-КЭ	280,0	272,8	1,03
КСП-2,5-КЭ	296,6	316,6	0,94
КСП-4-КЭ	349,2	483,1	0,72

Таблица 4
Опытная и теоретическая несущая способность образцов серии II

Марка образца	$P_{\text{разр,КЭ}}, \text{ кН}$	$P_{\text{теор.}}, \text{ кН}$	$\frac{P_{\text{разр,КЭ}}}{P_{\text{теор.}}}$
КСП-1-1-КЭ	200,5	193,6	1,04
КСП-1-1,8-КЭ	280,0	272,8	1,03
КСП-1-3,6-КЭ	394,1	448,8	0,88
КСП-1-5-КЭ	477,3	580,8	0,82

Трещиностойкость плит
конечно-элементных моделей

На рис. 3 изображена схема трещин для образца КСП-4-КЭ при различных уровнях нагружения. Показано, что трещины образовывались и развивались по мере нагружения образца. Отметим, что трещины, как правило, были шириной в один конечный элемент, а не распределены на всей растянутой грани бетона. Это соответствует реальной работе бетона, когда с достижением предельных напряжений растяжению образуется трещина и при этом «снимается» напряжение со смежных участков бетона. Видно, что преобладают трещины радиального направления, расположенные над стержнями продольной арматуры с шагом 100 мм.

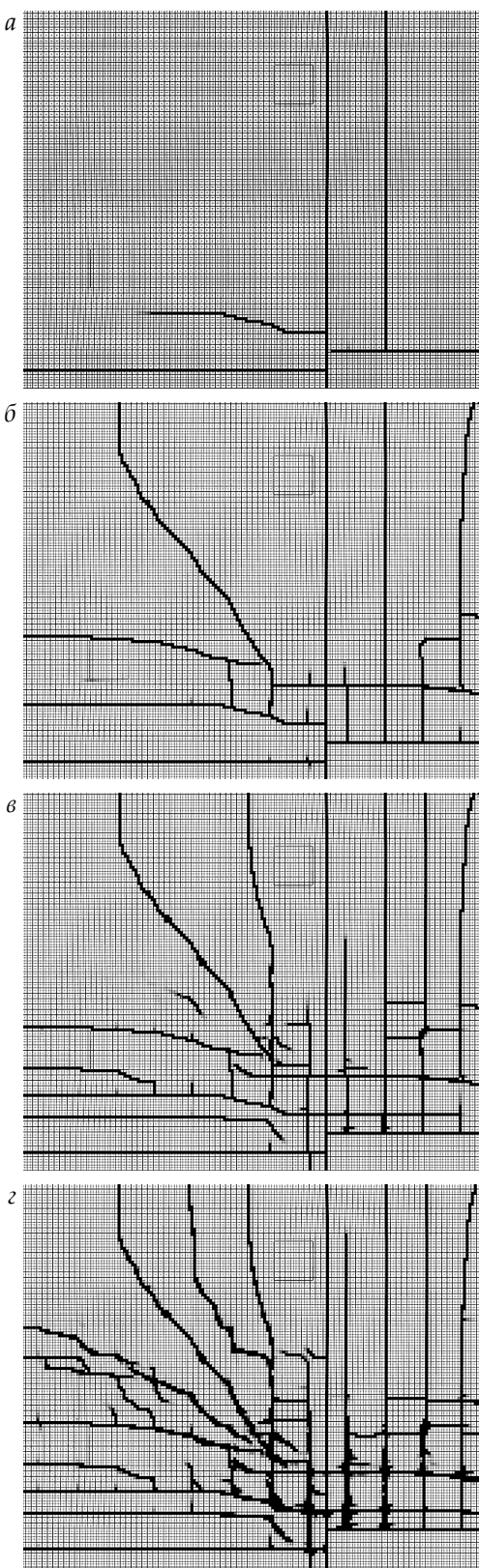


Рис. 3. Схема расположения трещин образца КСП-4-КЭ при нагружке:
а – 0,3 $P_{\text{разр}}$; б – 0,5 $P_{\text{разр}}$; в – 0,7 $P_{\text{разр}}$; г – 0,9 $P_{\text{разр}}$.

Анализ напряженно-деформированного состояния конечно-элементных моделей

Для изучения напряженно-деформированного состояния бетона в области сопряжения плиты с колонной были построены изополя главных сжимающих деформаций на сжатой грани плиты. При анализе изополей отмечены некоторые характерные особенности деформирования бетона на сжатой грани плиты.

Для **серии I** в моделях с круглой и квадратной колоннами (КСК-КЭ и КСП-1-КЭ соответственно) деформации в непосредственной близости у колонны распределены относительно равномерно (рис. 4). При этом в модели с со-

отношением сторон c_{max}/c_{min} , равным 2,5 (КСП-2,5-КЭ), наблюдается рост деформаций плиты возле угла колонны и значительное (в несколько раз) снижение величины деформаций у середины длинной стороны колонны. В модели с соотношением сторон c_{max}/c_{min} , равным 4 (КСП-4-КЭ), наблюдается рост деформаций у короткой стороны колонны и значительное падение величины деформаций вдоль длинной стороны колонны на участке длиной примерно $1/6 c_{max}$ (c_{max} – полная длина колонны), а деформации у середины длинной стороны колонны практически равны нулю.

Отмеченные характерные особенности деформирования бетона на сжатой грани плиты

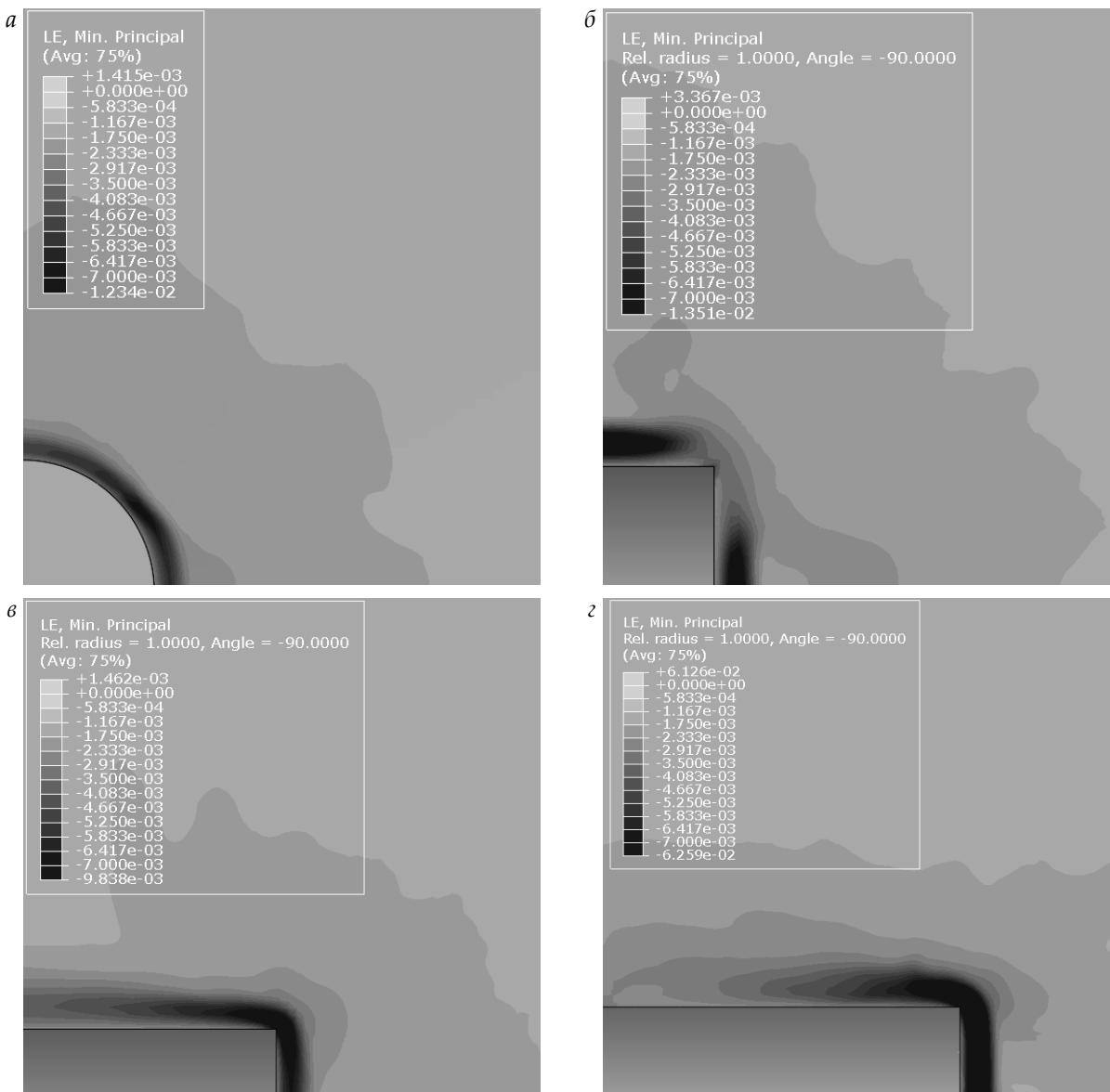


Рис. 4. Изополя главных деформаций бетона на сжатой грани плиты при нагрузке $0,9P_{разр.}$ для моделей: а – КСК-КЭ; б – КСП-1-КЭ; в – КСП-2,5-КЭ; г – КСП-4-КЭ

показывают, что неравномерность распределения усилий в зоне продавливания плиты увеличивается с увеличением отношения сторон колонны. В работах [19, 20] также отмечается неравномерность в распределении усилий при продавливании плит колоннами-пилонами.

Для моделей **серии II** отмечено, что на сжатой грани бетона плиты также наблюдается значительная неравномерность в распределении деформаций при всех уровнях нагрузки (рис. 5).

В модели с отношением $c/h_0 = 1$ (КСП-1-1-КЭ) деформации распределены равномерно, а для образцов с большим значением c/h_0 наблюдается рост деформаций возле угла колонны

и падение деформаций у середины стороны колонны. Эта неравномерность увеличивается с ростом отношения c/h_0 . Отметим, что для трех образцов при $c/h_0 > 1$ зона, где наблюдается рост деформаций, имеет одинаковый размер, не зависящий от размера колонны. Размер этой зоны примерно равен $h_0 \times 0,5h_0$.

Исследовалось направление главных сжимающих деформаций на сжатой грани бетона плиты. Установлено, что на большей части плиты главные сжимающие деформации были ориентированы в тангенциальном направлении. Исключение составляет область непосредственно у линии сопряжения плиты с колонной (ширина зоны 30–60 мм). Также таким

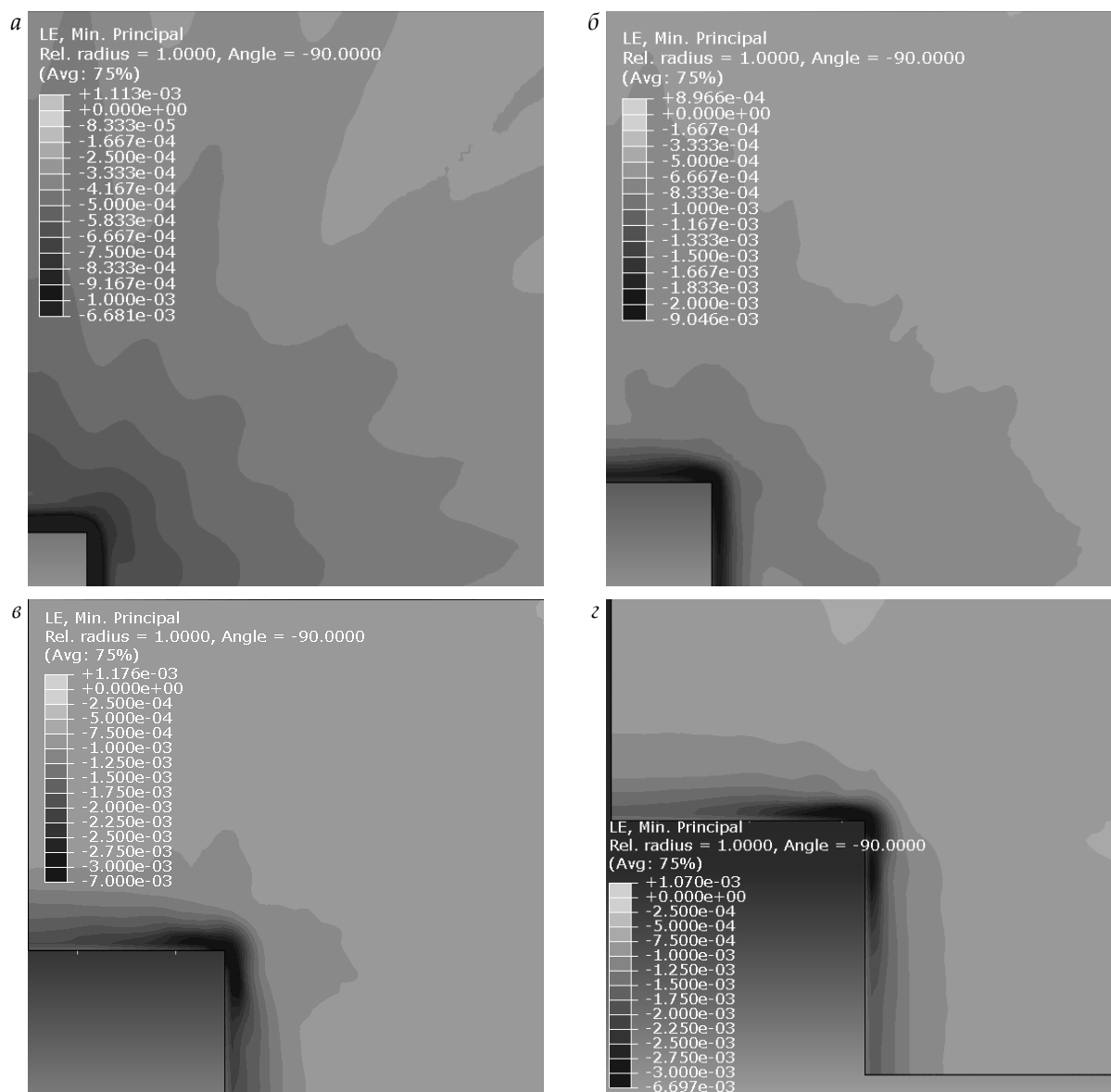


Рис. 5. Изополя главных деформаций бетона на сжатой грани плиты при нагрузке $0,7P_{раз.}$ для моделей:
а – КСП-1-1-КЭ; б – КСП-1-1,8-КЭ; в – КСП-1-3,6-КЭ; г – КСП-1-5-КЭ

исключением для модели КСП-4-КЭ является область, расположенная по оси симметрии длинной стороны колонны. Из вышесказанного следует, что тангенциальные деформации вносят весомый вклад в общее напряжённо-деформированное состояние плиты, что качественно отличает работу плиты на продавливание от работы балки на действие перерезывающих сил, где тангенциальные деформации отсутствуют вовсе.

Неравномерность в распределении усилий в плите по периметру колонны с ростом соотношения сторон колонны является причиной различия в образовании и развитии пирамиды продавливания для различных моделей. Так, было установлено, что в моделях **серии I** с колоннами круглого и квадратного сечения пирамида продавливания образуется сначала вдоль направления с большей изгибной жесткостью, которое соответствует арматуре с большей рабочей высотой сечения, и затем вдоль направления с меньшей изгибной жесткостью. Однако эти явления происходили с небольшой разницей во времени (уровне нагружения) и не были ярко выражены, поэтому в целом можно сказать, что для моделей с круглой и квадратной колоннами пирамида продавливания образуется одновременно вдоль всего контура продавливания.

В моделях с прямоугольной колонной пирамида продавливания сначала образуется

у короткой стороны колонны, а затем распространяется вдоль длинной стороны колонны. И неравномерность в образовании пирамиды продавливания увеличивается с ростом отношения сторон колонны. Так, для модели КСП-4-КЭ пирамида продавливания начинает образовываться при нагрузке $0,5P_{\text{разр.}}$ возле короткой стороны колонны и на части длинной стороны колонны, и затем она распространяется вдоль длинной стороны колонны, однако отсутствует у середины длинной стороны колонны даже при нагрузке $0,9P_{\text{разр.}}$ (рис. 6). Это говорит о значительной неравномерности в распределении усилий в зоне продавливания для прямоугольных колонн.

В моделях **серии II** исследовалась пирамида продавливания в двух сечениях: по оси симметрии модели (а), в сечении возле угла колонны (б) (рис. 7).

Пирамида продавливания в моделях КСП-1-1-КЭ и КСП-1-1,8-КЭ ($c/h_0 = 1$ и $1,8$ соответственно) образуется одновременно вдоль всего контура продавливания. А в моделях КСП-1-3,6-КЭ и КСП-1-5-КЭ ($c/h_0 = 3,6$ и 5 соответственно) из-за большого размера стороны колонны по сравнению с толщиной плиты пирамида продавливания сначала образуется возле угла колонны, а затем продолжает развитие к середине стороны колонны. С ростом отношения величины c/h_0 отмеченная особенность проявляется более значительно.

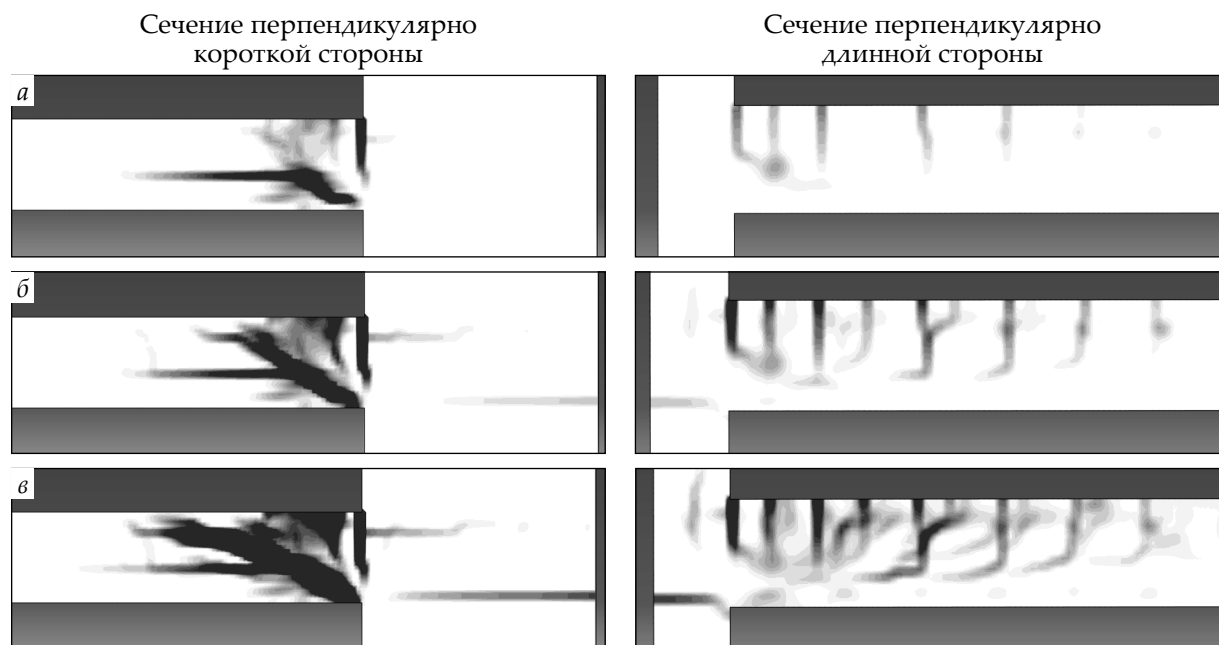


Рис. 6. Пирамида продавливания модели КСП-4-КЭ при нагрузке:
а – $0,5P_{\text{разр.}}$, б – $0,7P_{\text{разр.}}$, в – $0,9P_{\text{разр.}}$.

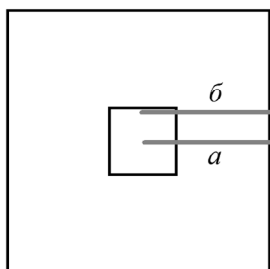


Рис. 7. Сечения пирамиды продавливания для моделей серии II

По результатам анализа испытаний двух серий конечно-элементных моделей были сделаны следующие **выводы**:

1. Конечно-элементные модели показали реалистичное поведение под нагрузкой: были зафиксированы нормальные трещины, которые развивались в процессе нагружения. Также была зафиксирована пирамида продавливания.

2. На большей части плиты главные сжимающие деформации ориентированы в тангенциальном направлении. Из этого следует вывод, что тангенциальные деформации вносят весомый вклад в общее напряжённо-деформированное состояние плиты и это качественно отличает работу плиты при продавливании от работы балки на действие перерезывающих сил, где тангенциальные деформации отсутствуют вовсе.

3. Зафиксирована значительная и характерная неравномерность в распределении тангенциальных деформаций и главных сжимающих деформаций бетона на сжатой грани плиты вблизи колонны: рост деформаций возле углов колонны и падение деформаций у середины колонны.

4. Неравномерность в распределении деформаций увеличивается с ростом отношения сторон сечения колонны c_{max}/c_{min} , а также с ростом отношения стороны колонны к рабочей высоте сечения плиты c/h_0 . Так, для модели с соотношением сторон сечения колонны, равным 1 (КСП-1-КЭ), тангенциальные деформации на сжатой грани плиты по оси симметрии колонны составляют 30 % от величины деформаций возле угла колонны, для модели КСП-2,5-КЭ с соотношением сторон, равным 2,5, тангенциальные деформации составляют 8 %, а для модели КСП-4-КЭ с соотношением сторон, равным 4, величина тангенциальных деформаций колеблется около нуля.

5. Характер образования и развития пирамиды продавливания зависит от величины отношения сторон сечения колонны c_{max}/c_{min} и отношения стороны колонны к рабочей высоте сечения плиты c/h_0 .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Залесов А. С., Ермуханов К. Е., Качановский С. Г. Продавливание железобетонных плит // Исследование железобетонных конструкций при статических, повторных и динамических воздействиях. М.: НИЖБ Госстроя СССР, 1984. С. 17–22.
2. Трёкин Н.Н., Пекин Д.А. Скрытые металлические капители безбалочных монолитных перекрытий // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 7. С. 17–20.
3. Тамразян А. Г. Анализ экспериментальных исследований по продавливанию плит пилонами // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования [Электронный ресурс]: сб. докладов Первой Нац. конф. М.: Изд. МИСИ – МГСУ, 2020. С. 177–185. URL: <https://mgusu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrytostupa/44127/>.
4. Broms C. E. Punching of Flat Plates – A Question of Concrete Properties in Biaxial Compression and Size Effect. ACI Structural Journal. 1990. Vol. 87. no. 3. pp. 292–304.
5. Muttoni A. Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement. ACI Structural Journal. 2008. Vol. 105. no. 4. pp. 440–450.
6. Болгов А. Н. Работа узлов сопряжения колонн из высокопрочного бетона с перекрытием в монолитных зданиях с рамно-связевой системой: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.01. М., 2005. 152 с.
7. Тамразян А. Г. К анализу узла сопряжения монолитных плит и колонн при продавливании // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения [Электронный ресурс]: Мат-лы Междунар. акад. чтений / под ред. С.И. Меркулова. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2020. С. 101–109. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44267209&pf=1>
8. Filatov V. Experimental investigation of stress-strain conditions in punching zone of flat slabs // MATEC Web of Conferences. Vol. 117. 2017. P. 00045. DOI: 10.1051/mateconf/201711700045.
9. Teng S., Cheong H. K., Kuang K. L., Geng J. Z. Punching Shear Strength of Slabs with Openings and Supported on Rectangular Columns // ACI Structural Journal. 2004. Vol. 101. no. 5. pp. 678–687.
10. Filatov V., Galyautdinov Z. Sh., Suvorov A.A. Elaboration of testing technique of flat slabs on punching shear strength using finite element modeling // MATEC Web of Conferences. Vol. 196. 2018. P. 02048. DOI: 10.1051/mateconf/201711700045.
11. Szczecina M., Winnicki A. Rational choice of reinforcement of reinforced concrete frame corners subjected to opening bending moment. Materials 2021, 14, 3438. URL: <https://doi.org/10.3390/ma1412343>
12. Zainab M. R. Abdul Rasoul, Haura Mohamed Ali M. Taher. Accuracy of concrete strength prediction behavior in simulating punching shear behavior of flat slab using finite element approach in Abaqus. Periodicals of Engineering and Natural Sciences. 2019. Vol. 7, No. 4. pp. 1933–1949. DOI: 10.21533/pen.v7i4.943.
13. Филатов В. Б., Бубнов Е.П. Экспериментальные исследования прочности плоских железобе-

тонных плит при продавливании // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 2. С. 86–91.

14. Филатов В. Б., Галяутдинов З. Ш. Экспериментальное исследование работы железобетонной плиты перекрытия при продавливании колонной [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2020. № 6. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N6y2020/6518>.

15. Сокуров А. З. Продавливание плоских железобетонных плит, усиленных поперечной арматурой: дис. ... канд. тех. наук. 05.23.01. М., 2015. 155 с.

16. Lubliner J., Oliver J., Oller S., Oñate E. A plastic-damage model for concrete // Int. Journal of Solids and Structures. Vol. 25 (3), 1989. pp. 299–326. doi: 10.1016/0020-7683(89)90050-4.

17. Lee J., Fenves G. L. A plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures. ASCE Journal of Engineering Mechanics, Vol. 124, 1998. no. 8. pp. 892–900. doi:10.1061/(ASCE)0733-9399(1998)124:8(892).

18. Карпенко Н. И., Травуш В. И., Карпенко С. Н. [и др.]. Статически неопределимые железобетонные конструкции. Диаграммные методы автоматизированного расчета и проектирования. М., 2017. 197 с.

19. Sagaseta J., Tassinari L., Fernández Ruiz M., Muttoni A. Punching of flat slabs supported on rectangular columns. Engineering Structures. 2014. no 77. pp. 17–33.

20. Кабанцев О.В., Песин К.О., Карлин А.В. Анализ напряженно-деформированного состояния плитных конструкций в приопорных зонах // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2017. Т.13. № 1. С. 55–62.

REFERENCES

1. Zalesov A. S., Ermukhanov K. E., Kachanovskij S. G. Punching of reinforced concrete slabs. *Issledovanie zhelezobetonnykh konstrukcij pri staticheskikh, povtornykh i dinamicheskikh vozdeystviyakh* [Investigation of reinforced concrete structures under static, repeated and dynamic impacts] / NIIZhB. M., 1984, pp. 17–22. (in Russian)

2. Trekin N. N., Pekin D. A. Hidden metal capitals of monolithic beamless slabs. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering], 2014, no. 7, pp. 17–20. (in Russian)

3. Tamrazyan A. G. Analysis of experimental studies on punching slabs with pylons. *Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya* [Actual problems of the construction industry and education]. Moscow, MII-MGSU Publ. 2020, pp. 177–185. Available at: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/44127/>.

4. Broms C. E. Punching of Flat Plates – A Question of Concrete Properties in Biaxial Compression and Size Effect. ACI Structural Journal, 1990, vol. 87, no. 3, pp. 292–304.

5. Muttoni A. Punching Shear Strength of Reinforced Concrete Slabs without Transverse Reinforcement. ACI Structural Journal, 2008, vol. 105, no. 4, pp. 440–450.

6. Bolgov A.N. *Rabota uzlov sopryazheniya kolonn iz vysokoprochnogo betona s perekrytiem v monolitnykh zdaniyakh s ramno-svyazevoy sistemoy*. Cand. Diss. [The operation of the joints of columns made of high-strength concrete with floor in monolithic buildings with a frame-braced system. Cand. Diss.] Moscow, 2005. 152 p.

7. Tamrazyan A. G. To the analysis of the junction of monolithic slabs and columns during punching. *Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i resheniya* [Security of the construction fund in Russia. Problems and solutions]. Kursk. ZAO "Universitetskaya kniga". 2020, pp. 101–109. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44267209&pff=1> (in Russian)

8. Filatov V. Experimental investigation of stress-strain conditions in punching zone of flat slabs. MATEC Web of Conferences, 2017, vol. 117, 00045. DOI: 10.1051/mateconf/201711700045.

9. Teng S., Cheong H. K., Kuang K. L., Geng J. Z. Punching Shear Strength of Slabs with Openings and Supported on Rectangular Columns. ACI Structural Journal, 2004, vol. 101, no. 5, pp. 678–687.

10. Filatov V., Galyautdinov Z. Sh., Suvorov A.. Elaboration of testing technique of flat slabs on punching shear strength using finite element modeling. MATEC Web of Conferences, 2018, vol. 196, 02048. DOI: 10.1051/mateconf/201711700045.

11. Szczecina M., Winnicki A. Rational choice of reinforcement of reinforced concrete frame corners subjected to opening bending moment. Materials, 2021, 14, 3438. Available at: <https://doi.org/10.3390/ma1412343>.

12. Zainab M. R. Abdul Rasoul, Hawra Mohamed Ali M. Taher. Accuracy of concrete strength prediction behavior in simulating punching shear behavior of flat slab using finite element approach in Abaqus. Periodicals of Engineering and Natural Sciences, 2019, vol. 7, no. 4, pp. 1933–1949. DOI: 10.21533/pen.v7i4.943.

13. Filatov, V. B., Bubnov E. P. Experimental Investigation of Punching Shear Strength of Flat Reinforced Concrete Slabs. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil engineering], 2017, no. 2, pp. 86–91. (in Russian)

14. Filatov V., Galyautdinov Z. Sh. Experimental study of the work of a reinforced concrete floor slab under punching by column. *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering journal of Don], 2020, no. 6. Available at: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N6y2020/6518>. (in Russian)

15. Sokurov A. Z. *Prodavlivanie ploskikh zhelezobetonnykh plit, usilennykh poperechnoy armaturoj*. Cand. Diss. [Punching of flat reinforced concrete slabs strengthened with transverse reinforcement. Cand. Diss.]. Moscow, 2015. 155 p.

16. Lubliner J., Oliver J., Oller S., Oñate E. A plastic-damage model for concrete. Int. Journal of Solids and Structures, 1989, vol. 25 (3), pp. 299–326. DOI: 10.1016/0020-7683(89)90050-4.

17. Lee J., Fenves G. L. A plastic-damage model for cyclic loading of concrete structures. ASCE Journal of Engineering Mechanics, 1998, vol. 124, no. 8, pp. 892–900. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9399(1998)124:8(892).

18. Karpenko N. I., Travush V. I., Karpenko S. N., et al. *Staticheski neopredelime zhelezobetonnye konstruktsii. Diagrammnye metody avtomatizirovannogo rascheta i proektirovaniya. Metodicheskoe posobie* [Statically indeterminate reinforced concrete structures. Diagrammatic methods of computer-aided calculation and design: Methodological guide]. Moscow, 2017. 197 p.

19. Sagaseta J., Tassinari L., Fernández Ruiz M., Muttoni A. Punching of flat slabs supported on rectangular columns. *Engineering Structures*, 2014, no. 77, pp. 17–33.

20. Kabancev O. V., Pesin K. O., Karlin A. V. Analysis of the stress-strain state of slab structures in the support zones. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2017, vol. 13, no. 1, pp. 55–62. (in Russian)

Об авторах:

ГАЛЮТДИНОВ Зулфат Шавкатович

аспирант кафедры железобетонных конструкций
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: Zulfat.Sh.G@mail.ru

GALYAUTDINOV Zulfat Sh.

Postgraduate Student of the Reinforced Concrete
Structures Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: Zulfat.Sh.G@mail.ru

Для цитирования: Галютдинов З.Ш. Численное исследование работы железобетонных плит в зоне продавливания // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 4–13. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.01.

For citation: Galyautdinov Z.Sh. Numerical Study of Reinforced Concrete Plates in the Pressure Area. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 4–13. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.01.

ПОДПИСКА – 2022

**НА ЯНВАРЬ-ИЮНЬ ПО ИНТЕРНЕТ-ВЕРСИИ «ОБЪЕДИНЕННОГО КАТАЛОГА
«ПРЕССА РОССИИ» НА САЙТАХ WWW.PRESSA-RF.RU И WWW.AKS.RU**

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

**ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ, ЧТО С 1 СЕНТЯБРЯ 2021 Г. ПРОВОДИТСЯ ПОДПИСНАЯ КАМПАНИЯ
НА ЖУРНАЛЫ САМАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА (ПЕРВОЕ ПОЛУГОДИЕ 2022 ГОДА)**

18106 Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки»

18107 Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Психолого-педагогические науки»

18108 Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Физико-математические науки»

41340 Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Философия»

70570 Градостроительство и архитектура

Условия оформления подписки Вы найдете на сайтах www.pressa-rf.ru и www.aks.ru

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

ТРУБОБЕТОННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНО-НАГРУЖЕННЫЙ ПОДКОЛОННИК ФУНДАМЕНТА ПОД СТАЛЬНУЮ КОЛОННУ

PIPE-CONCRETE CENTRALLY-LOADED SUB-COLUMN OF A STEEL COLUMN FOUNDATION

Рассматривается новое прогрессивное решение, которое заключается в совершенствовании проектирования и статического расчета прочности элементов подколонной части трубобетонного фундамента, в упрощении проектирования подколонника из конструктивного бетона повышенной и высокой прочности и тонкостенной металлической трубы, используя её в виде несъёмной опалубки в качестве рабочего элемента составной конструкции, в снижении трудоёмкости и сроков выполнения работ нулевого цикла. Предложен алгоритм конструирования элементов сборно-монокристаллического железобетонного фундамента под колонну, включающий трубобетонный подколонник, фланцевое соединение его со стальной колонной сверху и с фундаментной плитой снизу. Тонкостенный металл трубы является экономичной облойкой для монолитного бетона.

Ключевые слова: стальные колонны, базы колонны, фундамент под колонну, сборно-монокристаллическое исполнение, центральное нагружение, трубобетонный подколонник, фундаментная плита, фланцевое соединение элементов, тонкостенный металл трубы, несъемная опалубка

Объект исследования относится к области строительства и касается проектирования составного трубобетонного сборно-монокристаллического центрально-нагруженного железобетонного фундамента под стальную колонну.

Фундаментами являются подземные конструкции, предназначенные для передачи нагрузки от вышележащих частей здания на грунтовое основание [1].

Сборные фундаменты конструируют в виде цельного блока, который состоит из плитной и подколонной части. Минимальный размер железобетонных фундаментов определяют из расчета действующих усилий в предельном состоянии. Проектный класс бетона по прочности на сжатие для монолитных фундаментов на естественном основании принимают не менее класса B12,5 ($R_b = 7,5$ МПа). Армирование подколонников прямоугольного сечения предус-

A new progressive solution is considered, which consists in improving the design and static calculation of the strength of the elements of the sub-column part of a pipe-concrete foundation, in simplifying the design of a sub-column made of structural concrete of increased and high strength and a thin-walled metal pipe, using it in the form of a permanent formwork as a working element of a composite structure, in reduction of labor intensity and terms of performance of works of the zero cycle. An algorithm is proposed for designing elements of a precast-monolithic reinforced concrete foundation for a column, including a pipe-concrete sub-column, its flange connection with a steel column from above and with a foundation slab from below. Thin-walled pipe metal is an economical casing for in-situ concrete.

Keywords: steel columns, column bases, a column, foundation, precast-monolithic design, central loading, pipe-concrete sub-column, foundation slab, flange connection of elements, thin-walled pipe metal, permanent formwork

матривают сварными сетками, арматура классов А400 и В500. Стенки стакана подколонника армируют, как правило, поперечной и продольной арматурой в соответствии с расчетом. Сетки крепятся к жесткой опалубке. Затраты на применение съемной опалубки составляют 30–35 % от общей стоимости бетонных работ [1, 2].

Известные конструкции фундаментов [2–6] характеризуются недостаточной несущей способностью и высокой трудоёмкостью возведения, неэкономичностью в расходовании металла и монолитного бетона, необходимостью устройства съемной опалубки, приводящими к удорожанию работ и повышению сроков возведения здания.

Конструкция сборно-монокристаллического фундамента под колонну, включающая армированную фундаментную плиту и подколонник

со стаканной частью для колонны и с нижней сквозной заполненной бетоном полостью, который соединен с фундаментной плитой посредством арматуры, выпущенной из фундаментной плиты и заведённой в его полость, предложена в Ас. SU № 863774 [7]. Данный железобетонный фундамент характеризуется сложностью изготовления и установки объёмного арматурного каркаса подколонника, большой трудоёмкостью и материалоёмкостью, неэкономичностью в расходовании металла и монолитного бетона при изготовлении составного фундамента под колонну.

Предлагаемое авторами новое прогрессивное решение заключается в совершенствовании конструкции составного фундамента, в упрощении подбора геометрических характеристик и прочностных показателей металла трубы и конструктивного бетона в составе трубобетонного подколонника; в использовании металлической трубы в качестве несъемной опалубки составного сборно-монолитного фундамента под центрально нагруженную колонну [8].

Технологический и экономический эффект достигается за счет использования несъемной опалубки из тонколистовой металлической трубы для изготовления экономичного фундамента, повышения прочности и жёсткости подколонника, снижения трудозатрат на проведение фундаментных работ, сокращения массы строительной стали и объема конструктивного бетона, снижения срока возведения фундамента, установки и закрепления стальной колонны здания.

Технологический и экономический эффект достигается тем, что сборно-монолитный центрально нагруженный фундамент под стальную колонну, включающий армированную фундаментную плиту и соединённый с нею сквозной подколонник, заполненный бетоном и скреплённый с фундаментной плитой, выполнен с рядом существенных особенностей.

Основными особенностями предлагаемой конструкции фундамента являются:

1) в качестве несъемной опалубки подколонника принята тонкостенная металлическая труба;

2) подколонник выполнен составным, содержащим металлическую трубу, оборудованную фланцами с обеих сторон, и конструктивный бетон замоноличивания;

3) толщина металла трубы, подколонника, площадь сечения и предельное сопротивление бетона приняты по расчету на прочность центрально нагруженного трубобетонного элемента;

4) крепление базы стальной колонны с металлом трубобетонного подколонника осуществляется фланцевым соединением на болтах;

5) крепление подколонника к опорной плите осуществлено фланцевым соединением на шпильках, оборудованных упругими шайбами и высокими гайками;

6) предусматривается устройство битумной изоляции внешней поверхности частей фундамента;

7) плитная часть принята в виде типовой фундаментной плиты [8].

Класс бетона по прочности на сжатие выявляют по величине расчетного сопротивления бетона в сечении трубобетона (R_b , МПа), используя уравнение

$$R_b = (N - m_s \cdot R_s \cdot A_{MT}) / (m_b \cdot A_b), \quad (1)$$

где N – продольная сила на верхний обрез подколонника фундамента, кН; m_s , m_b – коэффициенты условий работы металла и бетона в составе трубобетона ($m_s = 0,9$; $m_b = 1,2$); R_s – расчетное сопротивление металла трубы, МПа;

A_{MT} – площадь сечения металла трубы, мм², вычисленная по уравнению

$$A_{MT} = \pi \cdot (r_{ex}^2 - r_{in}^2), \quad (2)$$

где r_{ex} и r_{in} – наружный и внутренний радиус трубы, мм;

A_b – площадь сечения бетона трубы, мм², вычисляют по уравнению

$$A_b = \pi \cdot r_{in}^2. \quad (3)$$

При заданных геометрических характеристиках металла трубы, бетона, её заполняющего, и величине расчетного сопротивления материалов по прочности на сжатие, толщину металла трубы (θ_{MT} , мм) вычисляют по уравнению

$$\theta_{MT} = A_{MT} / C_\mu, \quad (4)$$

где A_{MT} – требуемая площадь сечения (мм²) металла трубы подколонника, определяют по уравнению

$$A_{MT} = (N - m_b \cdot R_b \cdot A_b) / (m_s \cdot A_s), \quad (5)$$

где N – продольная сила, действующая на верхний обрез подколонника фундамента, кН; m_s , m_b – коэффициенты условий работы металла и бетона в составе трубобетона; R_s и R_b – расчетное сопротивление бетона и металла на сжатие, МПа;

C_μ – длина окружности трубы, мм по среднему диаметру подколонника (d_μ , мм), вычисляют по уравнению

$$C_\mu = n \cdot d_\mu, \quad (6)$$

A_b – площадь сечения, мм², бетона в трубе подколонника вычисляют по уравнению

$$A_b = \hat{n} \cdot r_b^2, \quad (7)$$

где r_b – радиус сечения бетона, мм.

Битумную изоляцию внешней поверхности трубобетонного подколонника и опорной плиты выполняют в соответствии с нормативной документацией по проектированию и устройству гидроизоляции подземных частей здания [9-14].

Узел сопряжения стальной колонны с подколонником выполнен в виде фланцевого соединения на болтах. Узел сопряжения подколонника с фундаментной плитой выполняют в виде фланцевого соединения на самоанкерующихся дюбель-шпильках с резьбовыми концами, оборудованными натяжными гайками и упругими шайбами (рис. 1).

Заделку анкерных болтов (а) и (б) проводят цементным раствором (цемент марки 300); анкерные болты с цангой (в) самоанкеривающиеся; анкерные болты (а) и (в) изготавливают $\varnothing 18 \div 60$ мм

из стали Ст. 3; болты (б) изготавливают из проката периодического профиля $\varnothing 14 \div 40$ мм; глубина заделки анкерных болтов при статической нагрузке $(15 \div 25) \cdot d$; при переменной нагрузке $(20 \div 30) \cdot d$; *min.* расстояние между анкерными болтами $(10 \div 15) \cdot d$; где d – диаметр болта, мм.

Дюбель-шпилька с конусом (рис. 2, г) удобна при монтаже тем, что сверление отверстий производят непосредственно через фундаментные отверстия плиты.

Дюбель с шайбой (рис. 2, д) отличается тем, что анкеровку производят без смещения в отверстия.

Дюбель со штоком (рис. 2, е) обладает преимуществами перед дюбелями (рис. 2, г, д); установку дюбеля производят через фундаментные отверстия без сдвига плиты.

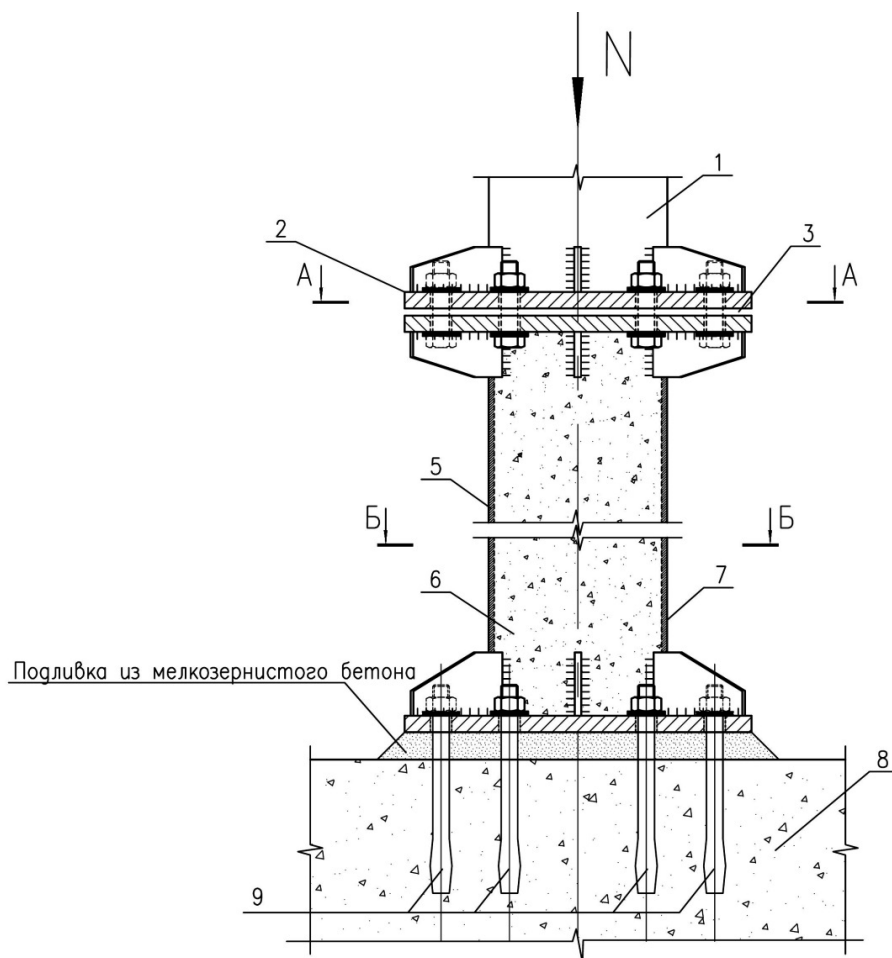


Рис. 1. Трубобетонный центрально-нагруженный подколонник фундамента под стальную колонну: а – составной трубобетонный центрально-нагруженный подколонник фундамента под стальную колонну при минимальной толщине металла трубы; 1 – стальная колонна; 2 – база стальной колонны; 3 – фланцевое соединение подколонника со стальной колонной; 4 – обрез фундамента (отм. – 0,15 м); 5 – тонкостенная металлическая труба; 6 – бетон замоноличивания трубы; 7 – подколонник фундамента; 8 – фундаментная плита; 9 – анкерные шпильки с резьбой на одном конце; 10 – крепежные гайки с упругими шайбами; б – поперечное сечение (А – А) подколонника

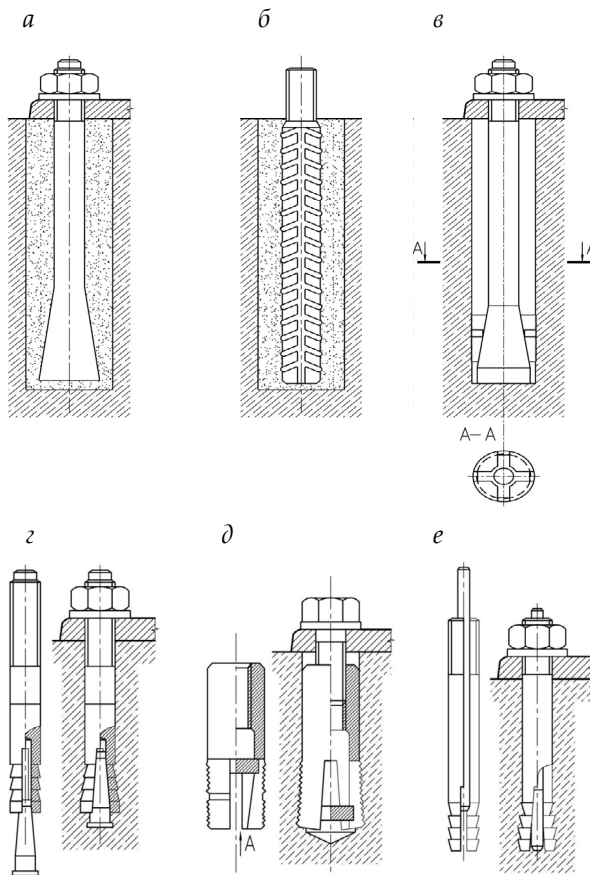


Рис. 2. Устройство для закрепления опорного кольца подколонника к фундаментной железобетонной плите в виде анкерных болтов НИИЖБ (а, б, в) и/или самоанкерующихся дюбелей: дюбель-шпильки (г), дюбель с шайбой (д), дюбель-шпильки со штоком (е)

Анкеровку дюбелей производят ударом молотка по выступающему концу штока.

Новое прогрессивное решение трубобетонного подколонника фундамента под стальную колонну предлагается к использованию при проектировании объектов водоснабжения и водоотведения ООО НПФ «Экос», в работе Отраслевой научно-исследовательской лаборатории ЖБК, Центра инженерно-технических разработок, Испытательного центра «Самарастройиздат» Академии строительства и архитектуры СамГТУ и др.

Использование несъемной металлической трубы в качестве опалубки приведет к сокращению затрат конструктивного бетона на 30 % и стали в два раза; исключение работ по изготовлению временной опалубки приведет к снижению трудозатрат и к снижению сроков проведения строительных работ нулевого цикла, совершенствование конструкции подколонника фундамента позволяет упростить подбор

материалов (стали и бетона) для трубобетонного элемента.

Пример 1. Дано: составной трубобетонный центрально-нагруженный подколонник фундамента под круглую стальную колонну ($\varnothing 400$ мм) при толщине металла трубы $\theta_{MT} = 2$ мм ($R_s = 350$ МПа;), воспринимаемый расчетную продольную силу на верхний обрез трубобетонного подколонника) $N = 2600$ кН (260 тс) [15, 16]; наружный диаметр металлической трубы подколонника $d_{ex} = 400$ мм; наружный и внутренний радиусы тонкостенной металлической трубы подколонника $\xi_{ex} = 400/2 = 200$ мм; $\xi_{ib} = 198$ мм; радиус сечения бетона трубобетонного подколонника $\xi_B = \xi_{ib} = 198$ мм.

Определить требуемый класс бетона по прочности на сжатие.

Решение. 1. Площадь сечения в металлической трубе подколонника (A_B , мм²) вычислена по уравнению (3):

$$A_B = \pi \cdot \xi_{in}^2 = 3,142 \cdot 198^2 = 123163 \text{ мм}^2,$$

где ξ_{in} – внутренний радиус тонкостенной металлической трубы подколонника, мм.

2. Площадь металла трубы (A_{MT} , мм²) вычисляют по уравнению (2):

$$A_{MT} = \pi \cdot (\xi_{ex}^2 - \xi_{in}^2) = 3,142 \cdot (200^2 - 198^2) = 2500 \text{ мм}^2,$$

где ξ_{ex} и ξ_{in} – наружный и соответственно внутренний радиус металлической трубы подколонника, мм.

3. Расчетное сопротивление бетона на сжатие (R_b , МПа) в основном сечении трубобетонного подколонника вычисляют по уравнению (1):

$$R_b = (N - m_s \cdot R_s \cdot A_{MT}) / (t_b \cdot A_B) = \\ (2600 - 0,9 \cdot 350 \cdot 2500) / (1,2 \cdot A_B) = \\ 1816/147 = 12,3 \text{ МПа},$$

где N – расчетная продольная сила на верхний обрез фундамента трубопроводного подколонника фундамента, кН;

m_s и t_b – расчетные коэффициенты условий работы бетона и стали;

A_{MT} и A_B – площадь металла трубы и соответственно бетона в трубе, мм².

4. Требуемый класс бетона по прочности на сжатие В 25 ($R_b = 14,5$ МПа).

Пример 2. Дано: Стальная центрально-нагруженная колонна $d_{кол} = 400$ мм равна диаметру трубобетонного подколонника фундамента; предварительная толщина металла трубы подколонника $\theta_{MT} = 6$ мм; наружный диаметр трубы $d_{ex} = 400$ мм ($R_s = 350$ МПа; $T_s = 0,9$); средний диаметр металлической трубы подколонника $d_{\mu} = d_{ex} - 0,5 \cdot \theta_{MT, пр} = 400 - 3 = 397$ мм; бе-

тон класса В55 по прочности на сжатие ($R_b = 30$ МПа; $m_d = 1,2$); радиус основного сечения бетона $\xi_b = (d_{ex} - \theta_{MT, пр}) / 2 = 194$ мм; продольная сила, приложенная центрально на верхний образ трубобетонного подколоники $N = 2400$ кН (240 тс) [15, 16].

Определить требуемую толщину металла трубы подколоники.

Решение. 1. Площадь сечения бетона (A_b , мм²) заполнения металлической трубы трубобетонного подколоники вычисляют по уравнению (7):

$$A_b = \pi \cdot \xi_b^2 = 3,142 \cdot 194^2 = 118253 \text{ мм}^2,$$

где ξ_b – радиус сечения бетона заполнения металлической трубы трубобетонного подколоники фундамента, мм.

2. Требуемую площадь сечения металла трубы трубобетонного подколоники вычисляют по уравнению (5):

$$A_{MT} = (N - m_b \cdot R_b \cdot A_b) / (t_s \cdot A_c) = (2400 \cdot 10^3 - 1,2 \cdot 30 \cdot 118253) / (0,9 \cdot 350) = 5895,5 \text{ мм}^2,$$

где N – продольная сила, приложенная к верхнему обрезу подколоники, кН (тс);

m_b , t_s – коэффициенты условий работы бетона и соответственно стали трубобетонного подколоники.

3. Длину окружности металлической трубы подколоники вычисляют по уравнению (6):

$$C_\mu = \pi \cdot d_\mu = 3,142 \cdot 397 = 1247,4 \text{ мм}.$$

4. Требуемую расчетную толщину металла трубы подколоники вычисляют по уравнению (4):

$$\theta_{MT, пр} = A_{MT} / C_\mu = 5895,5 / 1247,4 = 4,73 \text{ мм};$$

принято $\theta_{MT, пр} = 5$ мм.

Вывод. Использование несъемной опалубки из тонколистовой металлической трубы позволяет изготовить экономически выгодный сборно-монолитный фундамент под колонну. С применением предполагаемого фундамента повышается прочность и жесткость железобетонного подколоники, сокращается масса строительной стали и объем конструктивного бетона повышенной прочности, сокращаются сроки возведения фундамента и других работ нулевого цикла строительства здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пособие по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений. М.: ЦИТП, 1989.

2. Редькин В.И., Тетиор А.Н. Фундамент под колонну. Ас SU 763524, МПК E02 D 27/42, заяв. 06.05.78, опубл. 05.09.80. Бюл. № 34.

3. Журавлёв С.М. Железобетонный фундамент, МПК E 02 D 27/42, Ас SU 831897; заяв.: 06.07.79, опубл. 25.05.81. Бюл. № 19.

4. Тетиор А.Н., Редькин В.И., Родин С.В. Фундамент под колонну. МПК E 02 D 27/42; заяв. 03.12.79, опубл. 05.10.81. Бюл. № 35.

5. Краковский О.Н. Фундамент под колонну. МПК E 02 D 27/42; заяв. 09.01.80; опубл. 28.10.81. Бюл. № 39.

6. Редькин В.И., Тыхва П.Н., Трегуб А.С. и др. Фундамент под колонну. Ас SU 541925, МПК E 02 D 27/42; заяв. 27.10.72; опубл. 05.01.77, Бюл. № 1.

7. Дин Б.Х. Сборно-монолитный фундамент под колонну. Ас SU 863774, МПК E 02 D 27/42; заяв.: 23.01.78; опубл. 15.09.81. Бюл. № 34.

8. Ильин Н.А., Кондратьева Н.В., Таланова В.Н., Трошклина И.С. Способ определения огнестойкости трубобетонной колонны здания. Патент на изобретение RU 2695344 С1, 23.07.2019. Заявка № 2018108965 от 12.03.2018.

9. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. 4-е изд. М.: Стройиздат, 1985. (Гл. 12 Железобетонные фундаменты).

10. Давлатов Б.И. и др. Проектирование фундаментов зданий и промышленных сооружений. М.: Высшая школа, 1968.

11. Полищук А.И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструируемых зданий. 3-е изд. Томск, 2007. 476 с.

12. Пищулёв А.А., Панфилов Д.А., Жильцов Ю.В., Бузовская Я.И. Исследование работы железобетонных изгибаемых элементов с применением постнапрягаемых канатов // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 1. С. 24–29. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.4.

13. Панфилов Д.А., Ильин Н.А., Мордовский С.С., Бузовская Я.А. Экспериментальная установка для испытания на изгиб железобетонных балочных элементов // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 12–16. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.2.

14. Родионов И.К. Усиление стальной фермы с применением сварки // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 1. С. 26–29. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.01.4.

15. СП 63. 13330. 202. «СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».

16. СП 266.1325 800. 2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования.

REFERENCES

1. Posobie po proektirovaniyu fundamentov na estestvennom osnovanii pod kolonny zdaniy i sooruzhenij [Manual on the design of foundations on a natural foundation under the columns of buildings and structures]. M., TsITP, 1989.

2. Redkin V. I., Tetior A. N. *Fundament pod kolonnu* [Foundation under the column]. Ас SU 763524, IPC E02 D 27/42, application. 06.05.78, publ. 05.09.80. Bull. no. 34.

3. Zhuravlev S. M. *ZHelezobetonnyj fundament* [Concrete Foundation], MPK E 02 D 27/42, AU SU 831897; declared.: 06.07.79, publ. 25.05.81. Bull. no. 19.

4. Tetior A. N., Redkin V. I., Rodin, S. V. the Foundation under the column. IPC E 02 D 27/42; application 03.12.79, publ. 05.10.81. Bull. no. 35.

5. Krakovsky O. N. *Fundament pod kolonnu* [The foundation under the column]. IPC E 02 D 27/42; application. 09.01.80; publ. 28.10.81. Bull. no. 39.

6. Redkin V. I., Tykva P. N., Tregub A. S., etc. *Fundament pod kolonnu* [The foundation for the column]. Ac SU 541925, IPC E 02 D 27/42; application. 27.10.72; publ. 05.01.77, Bull. no. 1.

7. Din B. H. *Sborno-monolitnyj fundament pod kolonnu* [Prefabricated monolithic foundation for the column]. Ac SU 863774, IPC E 02 D 27/42; application: 23.01.78; publ. 15.09.81. Bull. no. 34.

8. Ilyin N. A., Mordovsky S. S., Panfilov D. A. *Sposob opredeleniya ognestojkosti trubobetonnoj kolonny zdaniya* [Prefabricated monolithic centrally loaded foundation for a steel column]. IPC E 02 D 24/42; E 04 B 1/38/.; application for invention no. 2020000000, Asia.

9. Baykov V. N., Sigalov E. E. *ZHelezobetonnye konstrukcii. Obshchij kurs* [Reinforced concrete structures. General course]. 4-th ed., M., Stroyizdat, 1985. (ch. 12 Reinforced concrete foundations.).

10. Davlatov B. I. et al. *Proektirovanie fundamentov zdaniy i promyshlennykh sooruzhenij* [Design of founda-

tions of buildings and industrial structures]. M., Higher School, 1968.

11. Polishchuk A. I. *Osnovy proektirovaniya i ustroystva fundamentov rekonstruiemykh zdaniy* [Fundamentals of design and construction of foundations of reconstructed buildings]. 3rd ed. Tomsk, 3TT, 2007. 476 p.

12. Pishchulev A.A., Panfilov D.A., Zhiltsov Yu.V., Buzovskaya Ya.I. Research of the work of reinforced concrete bended elements with the use of post-tensioned ropes. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 1, pp. 24–29. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.4. (in Russian)

13. Panfilov D.A., Iluin N.A., Mordovsky S.S., Buzovskaya Ya.A. Experimental test installation of bending reinforced concrete beam elements. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, vol. 9, no. 3, pp. 12–16. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.2. (in Russian)

14. Rodionov I.K. Reinforcement of steel truss by welding. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2017, vol. 7, no. 1, pp. 26–29. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.01.4. (in Russian)

15. SP 63. 13330. 202. «SNiP 52-01-2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozeniya» [«SNiP 52-01-2003. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions»].

16. SP 266.1325 800. 2016. *Konstrukcii stalezhelezobetonnye. Pravila proektirovaniya* [Steel-reinforced concrete structures. Design rules].

Об авторах:

ИЛЬИН Николай Алексеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 тел. (846)339-14-71

ПАНФИЛОВ Денис Александрович

кандидат технических наук, заведующий кафедрой железобетонных конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: panda-w800i@yandex.ru

ЖИЛЬЦОВ Юрий Викторович

старший преподаватель кафедры железобетонных конструкций, руководитель ОНИЛ ЖБК Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

ILYIN Nikolay A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 tel. (846) 339-14-71

PANFILOV Denis A.

PhD in Engineering Science, Head of the Reinforced Concrete Structures Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: panda-w800i@yandex.ru

ZHILTSOV Yuriy V.

Senior Lecturer of the Reinforced Concrete Structures Chair, Head of the Industry Research Laboratory RCS Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244

Для цитирования: Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Жильцов Ю.В. Трубобетонный центрально-нагруженный подколонник фундамента под стальную колонну // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 14–19. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.02.

For citation: Ilyin N.A., Panfilov D.A., Zhiltsov Yu.V. Pipe-Concrete Centrally-Loaded Sub-Column of a Steel Column Foundation. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 14–19. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.02.

М. В. МОЗГОЛОВ
А. В. ТУРАНОВА

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОСЫХ КЕССОННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

ON THE EFFECTIVENESS OF OBLIQUE CAISSON REINFORCED CONCRETE FLOORS

Сравнивается распределение усилий в балках прямого и косого монолитного железобетонного кессонного перекрытия квадратного в плане. Усилия в балках определены известными аналитическими способами и при помощи конечно-элементных моделей ПК SCAD. Расчеты показали, что усилия в балках косого кессонного перекрытия, определенные аналитическим путем и с помощью компьютерных моделей, значительно отличаются, что свидетельствует о сложной работе пространственной системы, не учитываемой аналитическим методом расчета, основанным на теории расчета плит, опертых по контуру. Полученные данные свидетельствуют, что квадратное кессонное перекрытие с балками, установленными под углом 45° к опорному контуру, имеет большую жесткость и меньшие значения изгибающих моментов по сравнению с прямыми кессонами. При отношении сторон перекрытия $L_2 > 1,5 \cdot L_1$ для обеспечения эффекта опирания по контуру расположение балок по отношению к внешнему контуру должно быть под углом 45°.

Ключевые слова: железобетонное кессонное перекрытие, прямые и косые кессоны, изгибающие моменты, поперечные силы, конечно-элементная компьютерная модель

Плиты с отношением сторон $0,5 < L_2/L_1 < 2$ принято называть кессонными, или опертыми по контуру. Такая плита распределяет нагрузку по двум направлениям, что уменьшает изгибающие моменты и позволяет увеличивать пролеты. Различают кессонные перекрытия с большими панелями пролетом плиты 5–7 м и с малыми 0,7–2 м [1]. Система перекрестных балок, монолитно связанная с плитой малого пролета, образует разновидность ребристого перекрытия, называемого кессонным часторебристым. До широкого внедрения в практику проектирования ЭВМ такие перекрытия проектировали квадратной или прямоугольной формы в плане. Это было связано с «ручным» аналитическим способом определением усилий в конструкции, основанном на аналогии рабо-

The distribution of forces in the beams of a straight and oblique monolithic reinforced concrete caisson floor of a square plan is compared. The forces in the beams are determined by well-known analytical methods and using finite element models of the SCAD PC. The calculations showed that the forces in the beams of the oblique caisson floor, determined analytically and using computer models, differ significantly, which indicates the complex operation of the spatial system, which is not taken into account by the analytical calculation method based on the theory of calculating plates supported by the contour. The obtained data indicate that a square caisson floor with beams installed at an angle of 45° to the reference contour has greater rigidity and lower values of bending moments compared to straight caissons. When the ratio of the sides of the overlap $L_2 > 1,5 \cdot L_1$ to ensure the effect of supporting the contour, the location of the beams in relation to the outer contour should be at an angle of 45°.

Keywords: reinforced concrete caisson floor; straight and oblique caissons; bending moments, transverse forces; finite element computer model

ты плиты, опертой по контуру [1–7]. При современном проектировании и переходе проектировщиков на компьютерные методы расчета форма перекрытия может быть произвольной и при условии соблюдения принципов кессонной системы она будет более эффективной, чем балочная. Пролетные балки по отношению к сторонам квадратного перекрытия могут располагаться под углом 90° или 45°, в последнем случае кессоны называются косыми (рис. 1, 2).

Граничным условием расположения балок под углом 90° является соотношение сторон $L_2 > 1,5 \cdot L_1$ [2, 5, 6], так как от этого соотношения зависит распределение нагрузки на ортогональные балки: $q_1 + q_2 = q$, где q_1 и q_2 – составляющие общей нагрузки q , приходящиеся на балки 1-го и 2-го направлений. При данном соотношении,

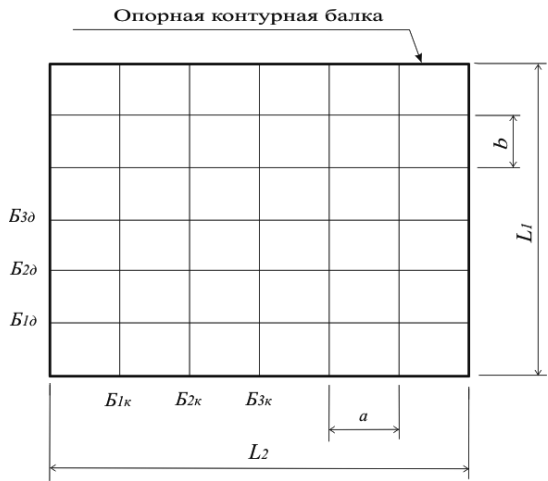


Рис. 1. Схема прямого кессона.
B_{1к}, B_{2к}, B_{3к}, B_{1д}, B_{2д}, B_{3д} – рассчитываемые балки по короткому и длинному направлениям

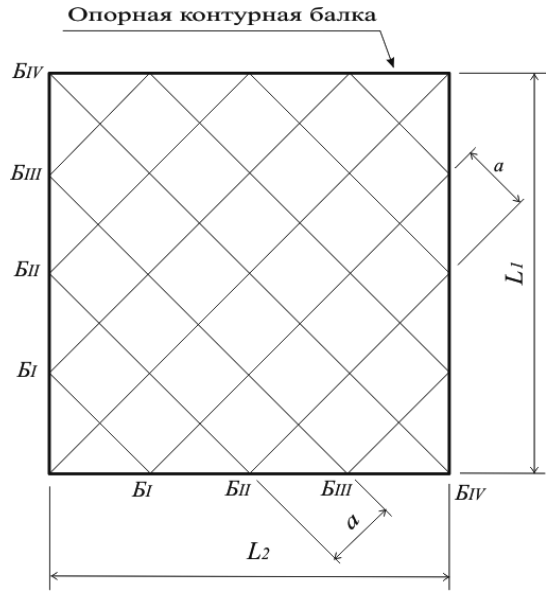


Рис. 2. Схема косоугольного кессона.
B₁-B₃, B_{1в}-B_{3в}, B₂-B₃, B_{2в}-B_{3в} – рассчитываемые балки

шарнирном опирании перекрытия по контуру и одинаковой жесткости балок EI нагрузка на короткие балки составит:

$$q_1 = q \cdot \frac{L_2^4}{L_1^4 + L_2^4} = q \cdot \frac{(1,5 \cdot L_1)^4}{L_1^4 + (1,5 \cdot L_1)^4} = 0,835 \cdot q.$$

Остаток нагрузки перейдет на длинные балки: $q_2 = q - 0,835 \cdot q = 0,165 \cdot q$. При соотношении $L_2 = 2 \cdot L_1$ перекрытие практически становится балочным, т. е. работает по короткому направлению, длинные балки нагрузку не воспринимают. Таким образом, при размерах перекрытия, близкого к квадратному, расположение балок может быть как прямым, так и ди-

агональным. При размерах сторон $L_2 > 1,5 \cdot L_1$ балки рекомендуется размещать под углом 45° , а при соотношении $L_2 \geq 2 \cdot L_1$ для обеспечения работы перекрытия по контуру балки должны располагаться только диагонально.

Целью настоящей работы является изучение напряженного состояния балок прямых и косых кессонов, работающих в одинаковых (близких) условиях, путем сравнения изгибающих моментов и поперечных сил, вычисленных при помощи аналитических способов [1–7] и компьютерных моделей [8–14], а также сравнения прогибов, полученных на ЭВМ (см. таблицу).

В качестве изучаемой конструкции выбрано квадратное в плане перекрытие размером 9,0х9,0 м. Первый вариант предусматривает прямое расположение ортогональных балок, устанавливаемых с шагом 1,5 м в обоих направлениях. По второму варианту балки размещаются диагонально с шагом 1,591 м. Перекрытие работает на равномерно распределенную нагрузку 1 Т/м² с шарнирным опиранием по контуру. В качестве конечного элемента перекрытия принят стержневой элемент – тавровая балка высотой 460 мм, с шириной ребра 200 мм, толщиной полки 60 мм, шириной полки 1500 мм в первом варианте и 1591 мм – во втором. В нашем случае ширина полки балок в соответствии с требованиями п. 8.1.11 СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» принимается равной расстоянию между осями балок. В соответствии с требованиями п. 6.2.5 СП. 430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования» и п. 2.1.1.1 Методического пособия [15] для учета упругопластических свойств бетона при расчете для всех балок компьютерных моделей начальный модуль упругости бетона класса В25 умножался на коэффициент 0,2 для участков с трещинами и 0,3 для участков без трещин (балки опорного контура). Для учета жесткости узлов [14] монолитных балок в местах их пересечения были установлены жесткие вставки размером, равным ширине балок. Наиболее полный метод определения усилий в балках прямых кессонных перекрытий представлен в работе [3].

Наибольший пролетный изгибающий момент M_1^{max} в балке B_{3к} и момент M_2^{max} в балке B_{3д} определяются по следующим формулам:

$$M_1^{max} = \alpha_1 \cdot q_1 \cdot a \cdot L_1^2; \tag{1}$$

$$M_2^{max} = \alpha_2 \cdot q_2 \cdot b \cdot L_2^2; \tag{2}$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты, зависящие от характера распределения нагрузки и вида опорных закреплений. При равномерно распределенной нагрузке на перекрытие и шарнирно-оперных балках $\alpha = 1/8$; в балках с заделкой $\alpha = 1/16$;

$$q_1 + q_2 = q; \quad (3)$$

$$q_1 = \frac{K_2}{K_1 + K_2} \cdot q; \quad (4)$$

$$q_2 = \frac{K_1}{K_1 + K_2} \cdot q; \quad (5)$$

$$K_1 = S_1 \cdot \alpha_1 \cdot L_1^4 \cdot \frac{1}{B_1}; \quad (6)$$

$$K_2 = S_2 \cdot \alpha_2 \cdot L_2^4 \cdot \frac{1}{B_2}; \quad (7)$$

где S_1 и S_2 – коэффициенты, зависящие от характера распределения нагрузки и вида закрепления. При равномерно распределенной нагрузке и шарнирно-опертых балках $S = 5/48$; в балках с заделкой $S = 1/16$; B_1, B_2 – жесткость перекрытия по 1-му и 2-му направлениям соответственно.

При квадратном в плане перекрытии, квадратных кессонах, одинаковых условиях опирания и геометрии балок получаем: $q_1 = 0,5 \cdot q$; $q_2 = 0,5 \cdot q$; $a = b$; $L_1 = L_2 = L$.

При шарнирно-опертом по периметру перекрытии максимальный изгибающий момент в центральных балках составит:

$$M_1^{max} = M_2^{max} = 0,125 \cdot 0,5 \cdot q \cdot a \cdot L^2. \quad (8)$$

Пролетные моменты в остальных балках определяются из условия пропорциональности их прогибов:

$$M_x = n_x \cdot M_1^{max}; \quad (9)$$

$$M_y = n_y \cdot M_2^{max}; \quad (10)$$

$$n_x = 16/5 \cdot (\eta_x - 2 \cdot \eta_x^3 + \eta_x^4); \quad (11)$$

$$n_y = 16/5 \cdot (\eta_y - 2 \cdot \eta_y^3 + \eta_y^4); \quad (12)$$

$$\eta_x = x/L_2; \quad (13)$$

$$\eta_y = y/L_1; \quad (14)$$

где x или y – расстояния от опоры до рассматриваемой балки.

Максимальная поперечная сила в средних балках 1-го и 2-го направлений определяется по формуле [1]:

$$Q_1^{max} = 0,5 \cdot q_1 \cdot a \cdot L_1; \quad (15)$$

$$Q_2^{max} = 0,5 \cdot q_2 \cdot b \cdot L_2. \quad (16)$$

Поперечные силы в остальных балках определяются с учетом коэффициентов n_x и n_y аналогично изгибающим моментам [1, 6].

При квадратном в плане перекрытии и квадратных кессонах для средних балок получаем:

$$Q_1^{max} = Q_2^{max} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot q \cdot a \cdot L. \quad (17)$$

Так как конструкция симметричная в плане, рассматриваем три балки: B_3 – центральная балка, расположенная от опоры на расстоянии 4,5 м; B_2 – балка, расположенная от опоры на

расстоянии 3,0 м; B_1 – балка, расположенная от опоры на расстоянии 1,5 м.

Максимальный изгибающий момент для балки B_3 :

$$M_{B3}^{max} = 0,125 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 9^2 = 7,594 \text{ Тм.}$$

Для вычисления моментов в балке B_2 определяем коэффициенты:

$$\eta_x = 3/9 = 1/3;$$

$$n_x = 16/5 \cdot (1/3 - 2 \cdot (1/3)^3 + (1/3)^4) = 0,869;$$

$$M_{B2}^{max} = n_x \cdot M_{B3}^{max} = 0,869 \cdot 7,594 = 6,599 \text{ Тм.}$$

Определяем коэффициенты для балки B_1 :

$$\eta_x = 1,5/9 = 1/6;$$

$$n_x = 16/5 \cdot (1/6 - 2 \cdot (1/6)^3 + (1/6)^4) = 0,506;$$

$$M_{B1}^{max} = n_x \cdot M_{B3}^{max} = 0,506 \cdot 7,594 = 3,843 \text{ Тм.}$$

Определяем поперечную силу в приопорной зоне балок:

$$\text{балка } B_3: Q_{B3}^{max} = 0,5 \cdot 0,5 \cdot q \cdot a \cdot L = 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 9 = 3,375 \text{ Т;}$$

$$\text{балка } B_2: Q_{B2}^{max} = 0,869 \cdot 3,375 = 2,933 \text{ Т;}$$

$$\text{балка } B_1: Q_{B1}^{max} = 0,506 \cdot 3,375 = 1,708 \text{ Т.}$$

Выполним аналитический расчет косоугольного квадратного кессонного перекрытия по методике [4, 7]:

$$M_{BI}^{max} = 0,0713 \cdot q \cdot a \cdot L^2 = 0,0713 \cdot 1,0 \cdot 1,591 \cdot 3,182^2 = 1,149 \text{ Тм;}$$

$$M_{BII}^{max} = 0,0385 \cdot q \cdot a \cdot L^2 = 0,0385 \cdot 1,0 \cdot 1,591 \cdot 6,364^2 = 2,481 \text{ Тм;}$$

$$M_{BIII}^{max} = 0,0427 \cdot q \cdot a \cdot L^2 = 0,0427 \cdot 1,0 \cdot 1,591 \cdot 9,546^2 = 6,191 \text{ Тм;}$$

$$M_{BIV}^{max} = 0,0389 \cdot q \cdot a \cdot L^2 = 0,0389 \cdot 1,0 \cdot 1,591 \cdot 12,728^2 = 10,026 \text{ Тм;}$$

$$Q_{BI}^{max} = 0,570 \cdot q \cdot a \cdot L \cdot 0,5 = 0,570 \cdot 1,0 \cdot 1,591 \cdot 3,182 \cdot 0,5 = 1,443 \text{ Т;}$$

$$Q_{BII}^{max} = 0,308 \cdot q \cdot a \cdot L \cdot 0,5 = 0,523 \cdot 1,0 \cdot 1,591 \cdot 6,364 \cdot 0,5 = 2,648 \text{ Т;}$$

$$Q_{BIII}^{max} = 0,341 \cdot q \cdot a \cdot L \cdot 0,5 = 0,293 \cdot 1,0 \cdot 1,591 \cdot 9,546 \cdot 0,5 = 2,225 \text{ Т;}$$

$$Q_{BIV}^{max} = 0,311 \cdot q \cdot a \cdot L \cdot 0,5 = 0,293 \cdot 1,0 \cdot 1,591 \cdot 12,728 \cdot 0,5 = 2,967 \text{ Т.}$$

Проверим равновесие расчетных схем.

Прямой кессон. Грузовая площадь балок: $A = 9,0 \cdot 9,0 - (1,5 \cdot 0,75 \cdot 0,5 \cdot 24) = 67,5 \text{ м}^2$. Суммарная нагрузка на балки $F = q \cdot A = 1,0 \cdot 67,5 = 67,56 \text{ Т}$. Аналитическая модель: $Q = 1,708 \cdot 8 + 2,933 \cdot 8 + 3,375 \cdot 4 = 50,628 \text{ Т}$. Ошибка – 25 %, равновесие не соблюдается. Модель SCAD: $Q = 2,6 \cdot 8 + 3,74 \cdot 8 + 4,11 \cdot 4 = 67,16 \text{ Т}$. Отклонение – 0,5 %, равновесие соблюдается.

Косой кессон. Грузовая площадь балок: $A = 9,0 \cdot 9,0 - (2,25 \cdot 0,466 \cdot 0,5 \cdot 16) = 72,612 \text{ м}^2$. Суммарная нагрузка на балки $F = q \cdot A = 1,0 \cdot 72,612 =$

72,612 Т. Аналитическая модель: Ошибка – 14 %, равновесие не соблюдается. Модель SCAD: $Q = 2,79 \cdot 8 + 3,18 \cdot 8 + 2,79 \cdot 8 + 0,68 \cdot 4 = 72,8$ Т. Отклонение +0,3 %, равновесие соблюдается.

Эпюры изгибающих моментов M_y в балках прямого и косоугольного кессонных перекрытий, полученные в ПК SCAD (версия 21.1.3.1 от 14.04.2017 для узлов), представлены на рис. 3, 4.

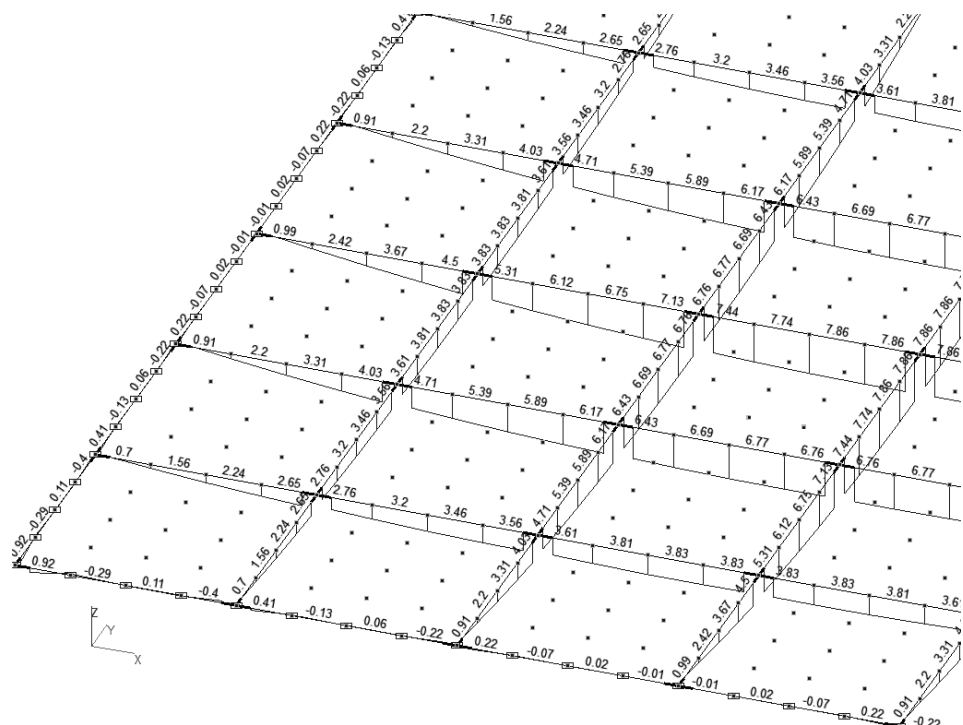


Рис. 3. Эпюры изгибающих моментов M_y в балках прямого кессона модели SCAD

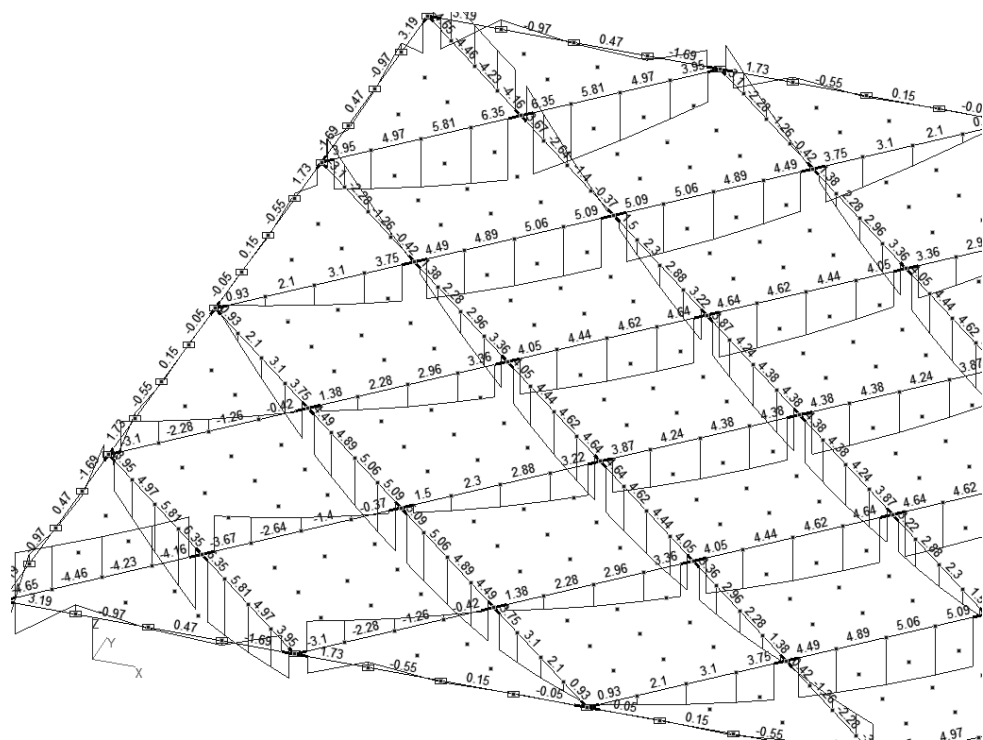


Рис. 4. Эпюры изгибающих моментов M_y в балках косоугольного кессона модели SCAD

**Сравнение усилий в балках прямого и косо́го кессонного перекрытия,
полученные аналитическими методами и с помощью компьютерных моделей**

Балка	Прямой кессон				Балка	Косой кессон			
	Методика [3,5,6]		SCAD			Методика [4,7]		SCAD	
	$M_y, Tм$	Q_z, T	$M_y, Tм$	Q_z, T		$M_y, Tм$	Q_z, T	$M_y, Tм$	Q_z, T
Б ₁	3,84	1,708	3,83 0 %	2,6 +52,2 %	Б _I	1,149	1,443	6,35 +453 %	2,79 +93,4 %
Б ₂	6,6	2,933	6,76 +2,4 %	3,74 +27,5 %	Б _{II}	2,481	2,648	5,09 +105 %	3,18 +20 %
Б ₃	7,6	3,375	7,86 +3,4 %	4,11 +21,8 %	Б _{III}	6,191	2,225	4,64 -25 %	2,79 +25,4 %
					Б _{IV}	10,026	2,967	4,38 -56,3 %	0,68 -77,1 %

Выводы. 1. Значения изгибающих моментов, полученные аналитическим путем и при помощи компьютерной модели ПК SCAD, при расчете прямого квадратного кессонного перекрытия совпадают, отклонения не превышают +3,4 % при расчете на ЭВМ, что свидетельствует о достоверности созданной конечно-элементной компьютерной модели.

2. Отклонения поперечных сил в балках прямого квадратного кессонного перекрытия, полученные аналитическим путем и в компьютерной модели, указывают на сложную работу пространственной конструкции. Равновесие расчетной схемы перекрытия, рассчитываемой по известным аналитическим формулам, не соблюдается. Равновесие компьютерной модели соблюдается.

3. Усилия в балках косо́го кессонного перекрытия, определенные по известным аналитическим формулам и с помощью компьютерной модели, значительно отличаются, что свидетельствует о сложной работе конструкции, не учитываемой при аналитическом методе расчета, основанном на теории расчета плит, опертых по контуру. Крайние короткие балки для длинных диагональных балок являются упругими опорами, превращают их в многопролетную неразрезную конструкцию и значительно уменьшают пролетный изгибающий момент.

4. При увеличении общей длины балок косо́го кессонного перекрытия по сравнению с прямым в $137,8/126 = 1,09$ раза его прогиб уменьшился в $28 \text{ мм}/17 \text{ мм} = 1,65$ раза, что свидетельствует о бо́льшей жесткости конструкции косо́го типа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Линович Л.Е. Расчет и конструирование частей гражданских зданий. К.: Будівельник, 1972. 664 с.
2. Вахненко П.Ф., Хилобок В.Г., Андрейко Н.Т., Яровой М.Л. Расчет и конструирование частей жилых и общественных зданий: справочник проектировщика. К.: Будівельник, 1987. 424 с.

3. Давыдов С.С., Жиров А.С., Иванова И.И. Руководство по железобетонным и каменным конструкциям. М.: МИИТ, 1975. 248 с.

4. Дыховичный Ю.А., Максименко В.А., Кондратьев А.Н., Крейтан В.Т., Сканава А.Н., Вайнштейн М.С. Жилые и общественные здания: краткий справочник инженера-конструктора. М.: Стройиздат, 1991. 656 с.

5. Залигер Р. Железобетон его расчет и проектирование / пер. с нем.; под ред. проф. П.Я. Каменцева. М. –Л.: Изд-во ГНТИ, 1931. 671 с.

6. Малахова А.Н. Монолитные кессонные перекрытия зданий // Вестник МГСУ. 2013. № 1. С. 79–86.

7. Улицкий И.И., Ривкин С.А., Самолетов М.В., Дыховичный А.А., Френкель М.М., Кретов В.И. Железобетонные конструкции. К.: Будівельник, 1972. 992 с.

8. Городецкий А.С., Батрак Л.Г., Городецкий Д.А., Лазнюк М.В., Юсипенко С.В. Расчет и проектирование конструкций высотных зданий из монолитного железобетона. К.: Изд-во «Факт», 2004. 106 с.

9. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. К.: Изд-во «Факт», 2005. 344 с.

10. Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н. Компьютерное моделирование в задачах строительной механики. М.: Изд-во АСВ, 2016. 337 с.

11. Картиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Фиалко С.Ю., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. SCAD Office. Версия 21. Вычислительный комплекс SCAD++. М.: Изд-во «СКАД СОФТ», 2015. 848 с.

12. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. М.: ДМК Пресс, 2007. 600 с.

13. Скорук Л. Поиск эффективных расчетных моделей ребристых железобетонных плит и перекрытий // CADmaster. 2004. № 3. С. 78–83.

14. Семенов А.А., Габитов А.И., Маляренко А.А., Порываев И.А., Сафиуллин М.Н. Вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе. Статический расчет. М.: Изд-во АСВ СКАД СОФТ, 2016. 242 с.

15. Плоские безбалочные железобетонные перекрытия: методическое пособие. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации // ФАУ «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве» [Электронный ресурс]. М.: 2017. 138 с. – Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293739/4293739389.pdf> (accessed 2017)

REFERENCES

1. Linovich L.E. *Raschet i konstruirovaniye chastej grazhdanskih zdaniy* [Calculation and construction of parts of civil buildings]. Kiev, Builder Publ, 1972. 664 p.
2. Vahnenko P.F., Hilobok V.G., Andrejko N.T., Jarovoj M.L. *Raschet i konstruirovaniye chastej zhilyh i obshchestvennyh zdaniy. Spravochnik proektirovshhika* [Calculation and construction of parts of residential and public buildings. The designer's reference book.] Kiev, Builder Publ, 1987. 424 p.
3. Davydov S.S., Zhiron A.S., Ivanova I.I. *Rukovodstvo po zhelezobetonnym i kamennym konstruksiyam* [Guide to reinforced concrete and stone structures]. Moscow, Kurs lektsiy. MIIT, 1975. 248 p. (unpublished).
4. Dykhovichnyy Yu.A., Maksimenko V.A., Kondrat'ev A.N., Kreytan V.T., Skanavi A.N., Vaynshteyn M.S. *Zhilye i obshchestvennye zdaniya. Kratkiy spravochnik inzhenera – konstruktora* [Residential and public buildings. Design engineer's Quick Reference Guide.] Moscow, Stroyizdat Publ, 1991. 656 p.
5. Zaliger R. Reinforced concrete its calculation and design. Translated from the German by prof. P. Ya. Kamentsev (Russ. ed.: Zaliger R. *Zhelezobeton ego raschet i proektirovaniye. Perevod s nemetskogo pod red. prof. P.Ya. Kamentseva*. Moscow, GNTI Publ., 1931. 671 p.)
6. Malakhova A.N. Monolithic caisson floors of buildings. *Bulletin of the MGSU*, 2013, no. 1, pp. 79 – 86. (in Russian).
7. Ulitskiy I.I., Rivkin S.A., Samoletov M.V., Dykhovichnyy A.A., Frenkel' M.M., Kretov V.I. *Zhelezobetonnye konstruksii* [Reinforced concrete structures]. Kiev, Builder Publ, 1972. 992 p.
8. Gorodetskiy A.S., Batrak L.G., Gorodetskiy D.A., Laznyuk M.V., Yusipenko S.V. *Raschet i proektirovaniye konstruksiy vysoznykh zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona* [Calculation and design of structures of high-rise buildings made of monolithic reinforced concrete]. Kiev, Fact Publ, 2004. 106 p.
9. Gorodetskiy A.S., Evzerov I.D. *Komp'yuternye modeli konstruksiy* [Computer models of structures]. Kiev, Fact Publ, 2005. 344 p.
10. Gorodetskiy A.S., Barabash M.S., Sidorov V.N. *Komp'yuternoe modelirovaniye v zadachakh stroitel'noy mekhaniki* [Computer modeling in problems of structural mechanics.]. Moscow, ACB Publ, 2016. 337 p.
11. Karpilovskiy V.S., Kriksunov E.Z., Malyarenko A.A., Fialko S.Yu., Perel'muter A.V., Perel'muter M.A. *SCAD Office. Versiya 21. Vychislitel'nyy kompleks SCAD ++* [SCAD Office. Version 21. The SCAD ++computing complex.]. Moscow, SCUD SOFTWARE Publ, 2015. 848 p.
12. Perel'muter A.V., Slivker V.I. *Raschetnye modeli sooruzheniy i vozmozhnost' ikh analiza* [Design models of structures and the possibility of their analysis]. Moscow, DMK Press Publ, 2007. 600 p.
13. Skoruk L. *Poisk effektivnykh raschetnykh modeley rebristyykh zhelezobetonnykh plit i perekrytiy* [Search for effective computational models of ribbed reinforced concrete slabs and floors.]. CADmaster, 2004, no. 3, pp. 78 – 83.
14. Semenov A.A., Gabitov A.I., Malyarenko A.A., Poryvaev I.A., Safiullin M.N. *Vychislitel'nyy kompleks SCAD v uchebnom protsesse. Staticheskiy raschet* [The SCAD computing complex in the educational process. Static calculation.]. Moscow, ACB Publ, SCUD SOFTWARE Publ, 2016. 242 p.
15. *Ploskie bezbalochnye zhelezobetonnye perekrytiya. Metodicheskoe posobie* [Flat girderless reinforced concrete floors. Methodological guide.]. Moscow, Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. FAA "Federal Center for Standardization, Standardization and Conformity Assessment in Construction", 2017. 138 p. Available at: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293739/4293739389.pdf> (Accessed 2017).

Об авторах:

МОЗГОЛОВ Михаил Валентинович

кандидат технических наук, доцент
Московский политехнический университет
Коломенский институт (филиал)
140402, г. Москва, Коломна,
ул. Октябрьской революции, 408
E-mail: mvmozglov@yandex.ru

ТУРАНОВА Арина Владиславовна

магистрант 1-го года обучения
направления «Строительство»
Российский университет дружбы народов
117198, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6
E-mail: arina.turanova@mail.ru

MOZGOLOV Mikhail V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor
Moscow Polytechnic University
Kolomna Institute (branch)
140402, Moscow Region, Kolomna, October Revolution
str., 408
E-mail: mvmozglov@yandex.ru

TURANOVA Arina V.

Master's Degree Student
Peoples' Friendship University of Russia
117198, Russia, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6
E-mail: arina.turanova@mail.ru

Для цитирования: Мозголов М.В., Туранова А.В. Об эффективности косых кессонных железобетонных перекрытий // Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 11, № 3. С. 20–25. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.03.
For citation: Mozglov M.V., Turanova A.V. On the Effectiveness of Oblique Coffered Reinforced Concrete Floors. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 20–25. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.03.

И. К. РОДИОНОВ
Е. Г. САФРОНОВ

УСИЛЕНИЕ ПОД НАГРУЗКОЙ ДЕФОРМИРОВАННЫХ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ СТАЛЬНЫХ СТРОПИЛЬНЫХ ФЕРМ

REINFORCEMENT UNDER LOAD OF DEFORMED COMPRESSED STEEL RAIL TRUSS

Представлены результаты обследования стальных ферм покрытия шести производственных зданий. В частности, выявлено наличие различной формы дефектов сжатых стержней: общие выгибы в плоскости и из плоскости фермы, местные погибы полок – смалкование и размалкование. Определена необходимость усиления стержней для дальнейшей эксплуатации конструкций. Приведены предложенные технические решения усиления деформированных стержней. При разработке технических решений стремились достичь, по возможности, компенсации поврежденной части сечения (для местно повреждённых стержней) и приведение оси отремонтированного стержня в проектное положение (для стержней, имеющих общие выгибы). Для подтверждения эффективности предложенных решений усиления проведены экспериментальные исследования. Дан краткий анализ результатов.

Ключевые слова: стальные стропильные фермы, сжатые деформированные стержни, усиление, эксперимент

The results of the survey of steel trusses covering six industrial buildings are presented. In particular, the presence of various forms of defects of compressed rods was revealed: general bends in the plane and out of the plane of the truss, local perishes of the shelves – grinding and grinding. The necessity of strengthening the rods for further operation of the structures is determined. The proposed technical solutions for strengthening deformed rods are presented. When developing technical solutions, we tried to achieve, if possible, compensation for the damaged part of the cross-section (for locally damaged rods) and bringing the axis of the repaired rod to the design position (for rods with common bends). To confirm the effectiveness of the proposed solutions, experimental studies were conducted. A brief analysis of the results is given.

Keywords: steel trusses, compressed deformed rods, reinforcement, experiment

При обследовании стальных конструкций покрытий шести производственных зданий было обнаружено 78 деформированных сжатых стержней ферм, подлежащих, согласно [1–4], усилению.

Наиболее выраженные виды деформаций:

– выгибы стержней из плоскости фермы (28 стержней) и в плоскости – «на обушок» (7 стержней);

– местные (ограниченной длины) погибы полок (лежащих в плоскости перпендикулярной плоскости фермы) уголков стержней [5–7].

Характер погибей полок уголков различен: размалкование (18 стержней), смалкование (25 стержней).

При разработке технических решений усиления стержней ферм под нагрузкой (от массы конструкций покрытия) стремились достичь, по возможности, следующее:

– компенсацию поврежденной части сечения (для местно повреждённых стержней);

– приведение оси отремонтированного стержня в проектное положение (для стержней, имеющих общие выгибы).

Решение усиления стержней, погнутых в плоскости фермы (на обушок), приведено на рис. 1. Уголки усиления принимаются такого же калибра, как и уголки стержня. Подготовка их осуществляется следующим образом. Одна из полок надрезается до утолщения у обушка: производится стиб элемента с таким расчетом, чтобы после заварки разреза получить величину стрелки выгиба элемента усиления, равную величине замеренного погиба стержня.

Следует отметить, что такое техническое решение отсутствует в известных источниках по усилению.

Решение усиления стержня при выгибе его из плоскости фермы приведено на рис. 2. Уголки усиления принимаются одного калибра с основными. Один из уголков прямой, другой подготавливается описанным выше

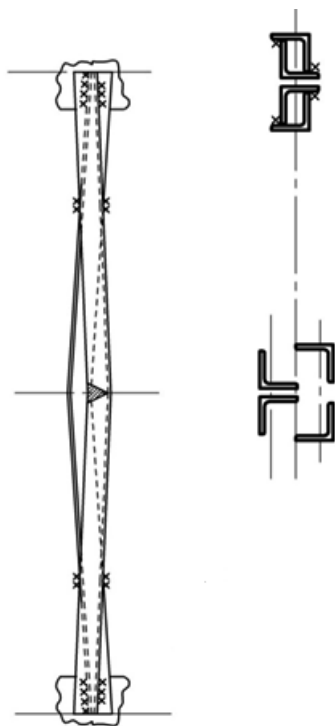


Рис. 1. Техническое решение усиления стержня, погнутого в плоскости фермы (заводская сварка условно не показана)

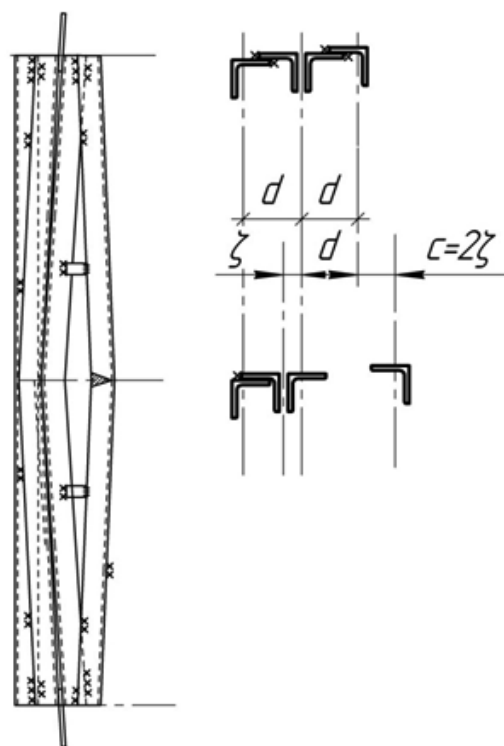


Рис. 2. Техническое решение усиления стержня, погнутого из плоскости фермы (заводская сварка условно не показана)

образом. При этом, в отличие от предыдущего случая, стрелка C по величине принимается равной удвоенной величине замеренного погиба стержня ζ . Величина стрелки выгиба уголков усиления C определяется из условия приведения оси отремонтированного стержня в проектное положение. При относительно небольшой стрелке погнутия, т. е. в большинстве случаев, соединительные планки из полосовой стали не нужны.

Следует отметить, что такое техническое решение, так же как в первом случае, отсутствует в известных источниках по усилению.

Элементы усиления прикрепляются к основному прерывистыми сварными швами длиной около 50 мм через 40 радиусов инерции уголка относительно оси, проходящей через его центр тяжести и параллельной вертикальной полке.

Усиление стержней с местным размалкованием полки одного из уголков производится приваркой в зоне погнутия двух коротышей из уголка (одного калибра с основными) (рис. 3). Из рисунка видно, что горизонтальная полка одного из уголков усиления располагается под погнутой полкой основного элемента, а горизонтальная полка второго коротыша лежит на полке соседнего уголка стержня. Длина

элементов усиления равна сумме длины волны погиба и удвоенной длины сварных швов, вычисленных по «площади» поврежденного сечения.

Усиление стержня при местном смалковании полки одного из уголков показано на рис. 4. Площадь сечения полосы усиления равна или несколько больше площади сечения поврежденной полки. Ширина полосы b подбирается из условия равенства радиусов инерции её сечения и уголка стержня относительно горизонтальной оси. Усиление стержня при местном смалковании может быть произведено только в соответствии с решением, приведенным на рис. 4.

С целью проверки надежности и эффективности предложенных решений усиления деформированных сжатых стержней ферм под нагрузкой был проведен эксперимент.

При решении основной задачи имелась возможность получить качественную оценку влияния различных типов погибов на снижение несущей способности стержней.

При планировании эксперимента старались выполнить следующие условия:

- приблизить характер работы опытных стержней к таковому рядовых сжатых (не опорных) стержней решетки обследованных стро-

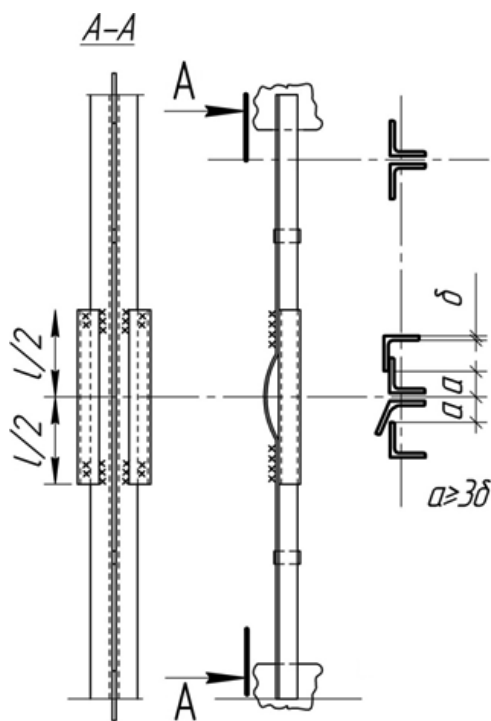


Рис. 3. Техническое решение усиления стержня с местным размалкованием полки уголка (заводская сварка условно не показана)

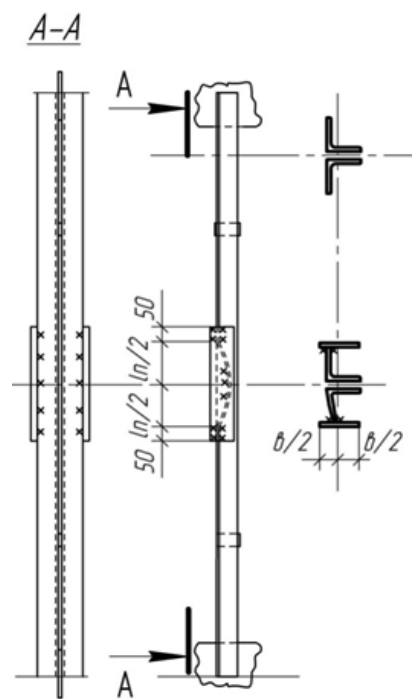


Рис. 4. Техническое решение усиления стержня с местным смалкованием полки уголка (заводская сварка условно не показана)

пильных ферм (по гибкости, закреплению в поясах, напряжению во время усиления);

– качество материалов опытных образцов по химическому составу и механическим свойствам должно быть возможно более близким к качеству обследованных конструкций.

Учитывались также возможности постановки опыта:

– 50-тонный пресс ГРМ-1 с наибольшим рабочим расстоянием в свету по высоте 1200 мм;

– наличие уголкового проката калибра L32x4, материал которого был классифицирован как сталь марки СтЗкп со среднестатистическим значением предела текучести 27,53 кН/см² (по результатам 6 образцов).

Принятая схема экспериментальной установки и основные размеры опытных образцов приведены на рис. 5.

Опытные образцы были изготовлены в виде стержней: таврового сечения – 30 шт., крестового сечения – 9 шт. Из них – 24 шт. и 6 шт. со стержнями соответственно таврового и крестового сечений были изготовлены с первоначальными деформациями (характер и величина приведены в таблице).

Образцы изготавливали в следующем порядке:

1) путём сварки отрезков L 32x4 с фасонками и прокладками получали стержни;

2) часть стержней деформировали, используя специальные приспособления;

3) к фасонкам стержней приваривали опорные части, состоящие из двух отрезков уголка L50x5 (имитирующие верхний и нижний пояса ферм).

Горизонтальные плоскости опор образцов были нормальны к проектной оси неповрежденного стержня.

Были изготовлены также элементы усиления. Для усиления погнутых стержней использовались отрезки уголка L32x4 длиной 1040 мм. При этом для серий образцов:

– со стержнями, погнутыми в плоскости фасонки, для каждого образца изготавливалось по два уголка, согнутых по середине их длины с $C = 8$ мм;

– со стержнями, погнутыми из плоскости фасонки, для каждого образца изготавливалось по два уголка, один из которых был согнут по середине его длины с $C = 16$ мм.

Для усиления стержней с местным смалкованием одной из полок уголка (по типу, приведенному на рис. 4) использовались полосы 32x4 длиной 125 мм (средняя длина волны погиба).

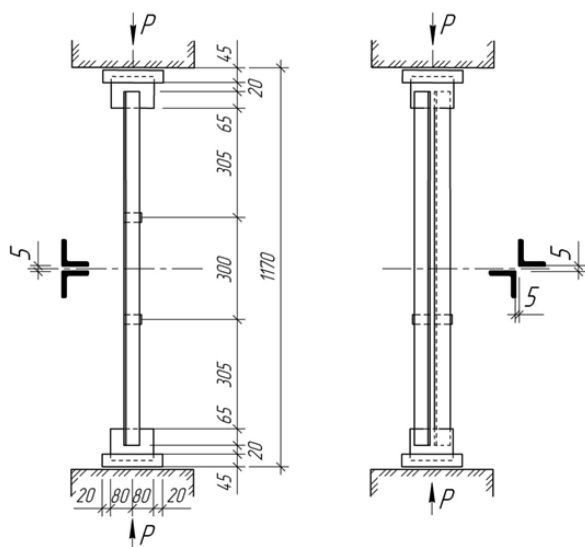


Рис. 5. Схема установки для испытания образцов со стержнями:
а – таврового сечения; б – крестового сечения

Возможность эксперимента обусловила некоторую нечёткость условия закрепления опытных стержней в поясах в плоскости и из плоскости фасонки (фермы). Неопределённость закрепления концов стержней не позволила произвести теоретическое обоснование полученных величин их несущей способности. При производстве испытаний фиксировали величину критической нагрузки, поль-

зуясь шкалой прессы 0-20 тс с ценой деления 50 кгс. При испытании образцов с деформированными стержнями, подлежащими усилению, нагрузка доводилась до 3300 кгс и поддерживалась на этом уровне (с наибольшими колебаниями по величине ± 25 кгс). Под этой нагрузкой к образцам приваривали элементы усиления. Использовались электроды типа Э-42 с толщиной проволоки 4 мм. Усиление по схемам, показанным на рис. 1 и 2, производилось путём наложения сварных швов длиной 50 мм у концов стержней и двух промежуточных швов длиной 20 мм в районе прокладок. Стержни крестового сечения, погнутые из плоскости фасонки, усиливали в соответствии с решением, приведенным на рис. 2. Усиление по типу, показанному на рис. 4, производилось в следующем порядке: 1) полосы прикладывались к образцу у вмятины, согласно ранее нанесенным мелом отметкам, и «прихватывались» у концов со стороны, противоположной обушкам уголков; 2) накладывались сварные швы, прикрепляющие полосы к уголкам со стороны их обушков. Выполнение сварных швов на каждом образце производилось один за другим без перерыва. Затем после остывания металла стержней до 60–80 °С нагрузка увеличивалась до потери несущей способности. Среднестатистические значения полученных величин критических нагрузок Р (по сериям образцов) приведены в таблице.

Результаты эксперимента

№ серии	Тип сечения стержней	Вид начальных деформаций	Количество стержней в серии	Наличие усиления	Критические нагрузки Р, кгс
1	Тавровое	Без деформаций	6	Нет	10080
2	Тавровое	Стержни погнуты в плоскости фасонки с $\zeta=8$ мм	3	Нет	8180
3	Тавровое	Стержни погнуты в плоскости фасонки с $\zeta=8$ мм	3	Есть	15450
4	Тавровое	Стержни погнуты из плоскости фасонки с $\zeta=8$ мм	3	Нет	7800
5	Тавровое	Стержни погнуты из плоскости фасонки с $\zeta=8$ мм	3	Есть	13150
6	Тавровое	Местное размазкование полки уголка с $\zeta=16$ мм	3	Нет	9050

Окончание таблицы

7	Тавровое	Местное размалкование полки уголка с $\zeta=12$ мм	3	Нет	9540
8	Тавровое	Местное смалкование полки уголка с $\zeta=12$ мм	3	Нет	8340
9	Тавровое	Местное смалкование полки уголка с $\zeta=12$ мм	3	Есть	9990
10	Крестовое	Без деформаций	3	Нет	11040
11	Крестовое	Стержни погнуты из плоскости фасонки с $\zeta=8$ мм	3	Нет	7170
12	Крестовое	Стержни погнуты из плоскости фасонки с $\zeta=8$ мм	3	Есть	14240

Как показал эксперимент, наличие дефектов, общих выгибов и местных погибей негативно влияет на работу сжатых стержней. В частности, общий выгиб стержней в плоскости и из плоскости фасонки $\zeta=8$ мм приводит к уменьшению несущей способности порядка 20–35 % (последнее для стержней крестового сечения). Местное размалкование со стрелкой 12 мм даёт уменьшение несущей способности около 5 %, в то время как такое же смалкование уменьшает критическую силу на 17 %. Критические силы стержней с местными погоями полок уголков уменьшаются при увеличении стрелки погояей.

Следует отметить, что предложенные решения усиления показали довольно хорошую эффективность. В частности, критические силы усиленных стержней с общими выгибами (и таврового, и крестового сечений) оказались порядка на 30–40 % выше критических сил эталонных стержней (без деформаций).

Таким образом, результаты проведенной работы дают возможность сделать следующие **выводы**:

1. Предложенные технические решения усиления под нагрузкой деформированных сжатых стержней стальных стропильных ферм надёжны и легко выполнимы.

2. Несущая способность стержня зависит от величины стрелки местного погоя полки уголка: при большем погояе наблюдается меньшая несущая способность.

3. Местное смалкование полок уголков стержней в большей степени снижает их несущую способность, чем размалкование, при одинаковой стрелке и длине волны погоя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов Ю.В. Реконструкция зданий и сооружений: усиление восстановление и ремонт. М.: изд-во АСВ, 2012. 312 с.

2. Металлические конструкции: в 3 т. Т 3. Стальные сооружения, конструкции из алюминиевых сплавов. Реконструкция, обследование, усиление и испытание конструкций зданий и сооружений: (справочник проектировщика) / под общ. ред. В.В. Кузнецова (ЦНИИ проекстальконструкция им. Н.П. Мельникова). М.: изд-во АСВ, 1999. 100 с.

3. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП II-23-81*) / Укрниипроекстальконструкция. М.: Стройиздат, 1989. 98 с.

4. Руководство по усилению элементов металлоконструкций с применением сварки / ЦНИИпроектстальконструкция. М., 1979. 60 с.

5. Родионов И.К., Родионов И.И. О результатах исследования сжатых деформированных составных стержней таврового сечения, усиливаемых с применением сварки // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 2. С. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.1.

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

7. Родионов И.К. Усиление сжатых стержней стальных ферм покрытия и сварочные деформации // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 3. С. 10–13. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.2.

REFERENCES

1. Ivanov Yu.V. *Rekonstrukciya zdaniy i sooruzhenij: usilenie vosstanovlenie i remont* [Reconstruction of build-

ings and structures: strengthening restoration and repair]. M., ASV, 2012. 312 p.

2. *Metallicheskie konstrukcii. V 3 T. T 3. Stal'nye sooruzheniya, konstrukcii iz alyu-minievykh splavov. Rekonstrukciya, obsledovanie, usilenie i ispytanie konstrukcij zdaniy i sooruzhenij. (Spravochnik proekti-rovshchika). Pod obshch. red. V.V. Kuznecova (CNII proektstal'-konstrukciya im. N.P. Mel'nikova)* [Metal structures: 3 V. vol. 3. Steel structures, structures from aluminum alloys. Reconstruction, inspection, strengthening and testing of structures of buildings and structures: (designer's guide) / under total. ed. V.V. Kuznetsov (TsNII proektstal-konstruktsiya named after N.P. Melnikov)]. M., ASV, 1999.

3. *Posobie po proektirovaniyu usileniya stal'nykh konstrukcij (k SNiP II-23-81*) / Ukrniiproektstal'konstrukciya* [Manual for the design of reinforcement of steel structures (to SNiP II-23-81 *)]. M., Strojizdat, 1989.

4. *Rukovodstvo po usileniyu elementov metallokonstrukcij s primeneniem svarki. CNIIproektstal'konstrukciya* [Guidelines for strengthening elements of metal structures using welding]. M., 1979.

5. Rodionov I.K., Rodionov I.I. Results of research of compressed deformed composite rods of t-section reinforced with welding. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 2, pp. 4–9. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.1. (in Russian)

Об авторах:

РОДИОНОВ Игорь Константинович

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

RODIONOV Igor K.

PhD in Engineering Science, Associate Professor
of the Urban Construction and Management Chair
Togliatti State University
Institute of Architecture and Civil Engineering
445020, Russia, Togliatti, st. Ushakov, 59,
tel.: 8 917 129-71-55
E-mail: riklt@mail.ru

САФРОНОВ Евгений Геннадьевич

кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики промышленности и производственного менеджмента
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: ewgenijsafronow@yandex.ru

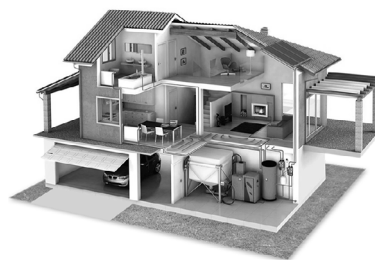
SAFRONOV Evgeniy G.

PhD in Economic Sciences, Associate Professor the
Industrial Economics and Industrial Management Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: ewgenijsafronow@yandex.ru

Для цитирования: Родионов И.К., Сафронов Е.Г. Усиление под нагрузкой деформированных сжатых стержней стальных стропильных ферм // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 26–31. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.04.

For citation: Rodionov I.K., Safronov E.G. Reinforcement Under Load of Deformed Compressed Steel Rail Truss. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 26–31. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.04.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ



УДК 699.86

DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.05

Р. Ж. ГАБДУШЕВ
С. А. ДЕНИСОВ
Е. А. КАНДАЕВ

ВЫБОР ТЕПЛООТРАЖАЮЩЕГО ЭКРАНА ПРИ НЕДОПУЩЕНИИ ОБРАЗОВАНИЯ КОНДЕНСАТА

SELECTING THE HEAT-REFLECTING SCREEN WHILE
THE FORMATION OF CONDENSATE IS AVOIDED

Рассматривается проблема выбора толщины теплоотражающего экрана за радиатором отопления, при котором не достигаются условия образования конденсата на стенке. На основании анализа полученных результатов устанавливается максимальная толщина экрана на примере пенофола при расчетном перепаде температур в условиях холодной пятидневки, а также определяются тепловые потери и экономический эффект данного энергосберегающего мероприятия уже в отопительный период. Расчеты проведены для стенки из железобетона, покрытой штукатуркой с наружной стороны. Данная методика может быть использована и для других случаев ограждающих конструкций и различных материалов теплоотражающего экрана.

This article deals with the problem of choosing the thickness of the heat-reflecting screen behind the heating radiator, in which the conditions for the formation of condensate on the wall are not achieved. Based on the analysis of the results obtained, the maximum thickness of the screen is established, using the example of penofol, at the calculated temperature difference in the conditions of a cold five-day period, and the heat losses and the economic effect of this energy-saving measure are determined already during the heating period. Calculations were carried out for a wall made of reinforced concrete, covered with plaster on the outside. This technique can be used for other cases of enclosing structures and various materials of the heat-reflecting screen.

Ключевые слова: теплоотражающий экран, конденсат, точка росы, пенофол, теплопотери, энергосбережение

Keywords: heat screen, condensate, dew point, penofol, heat loss, energy saving

При тепловизионном исследовании ограждающих конструкций зданий и сооружений отчетливо видна потеря теплоты за отопительным прибором. Одним из рекомендуемых энергосберегающих мероприятий является установка за радиатором отопления теплоотражающего экрана с целью снижения потерь теплоты через стену здания. Но утепление стен (ограждающих конструкций) целесообразно делать снаружи, чтобы не допустить их промерзания [1–6]. Таким образом, при установке экрана за отопительным прибором возможна ситуация, когда на внутренней поверхности стен начнет образо-

вываться конденсат (выпадать роса). Места выпадения конденсата, когда температура воздуха достигает температуры точки росы, могут быть следующие [1, 2]:

- между центром стены и утеплителем, а в период морозов или резкого снижения температуры и на их границе;
- на внутренней поверхности стены, которая в зимний период под утеплителем будет мокрой;
- внутри утеплителя во время отопительного периода.

Схематично это выглядит так, как показано на рис. 1.

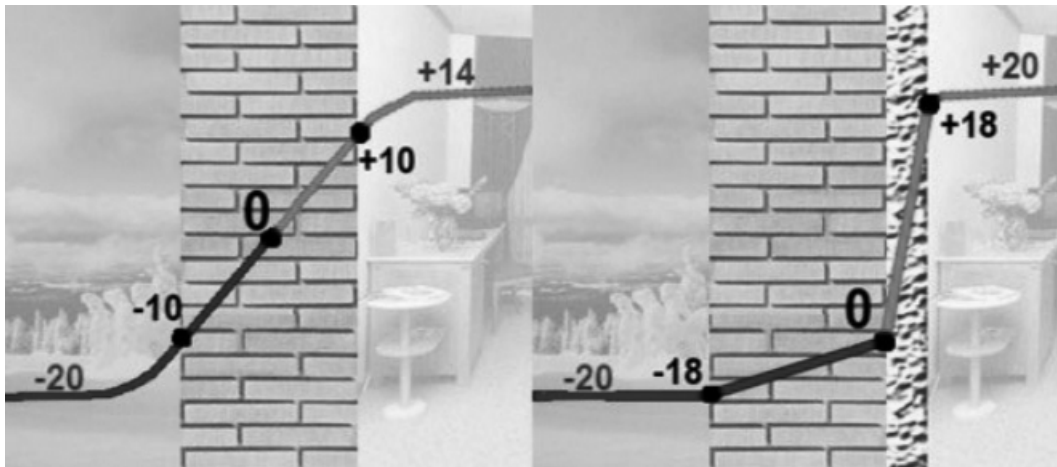


Рис. 1. Места выпадения конденсата

Невысохший конденсат – причина возникновения на внешней стене вздутия и расслоения отделочных материалов. Также влага является поводом для возникновения грибка и плесени на стенах, споры которых летают в воздухе и могут стать причиной многих болезней.

В связи с этим вопрос выбора теплоотражающего экрана оптимальной толщины и расчет теплотерь для различных случаев ограждающих конструкций и параметров воздуха в помещении будет актуальным.

Для проведения расчёта используем следующую схему теплообмена (рис. 2), принимая в качестве исходных данных усредненные значения параметров, влияющие на процесс теплопередачи.

- геометрические размеры радиатора отопления: высота: $h = 0,5$ м; ширина: $b = 1$ м; площадь отопительного прибора (напротив стены): $F = h \cdot b = 0,5$ м²;
- температура воздуха: в помещении: $t_{\text{в}} = 20$ °С; между батареей и стеной (или экраном): $t_{\text{вн}} = 50$ °С; снаружи (в условиях холодной пятидневки): $t_{\text{нар}} = -30$ °С;
- толщина материалов: известково-песчаного раствора (штукатурки): $\delta_{\text{ст}} = 0,38$ м; железобетонной стенки: $\delta_{\text{ш}} = 0,02$ м; экрана: $\delta_{\text{э}} = 0,01$ м;
- коэффициент теплопроводности: известково-песчаного раствора (штукатурки): $\lambda_{\text{ш}} = 0,7$ Вт/(м·°С);

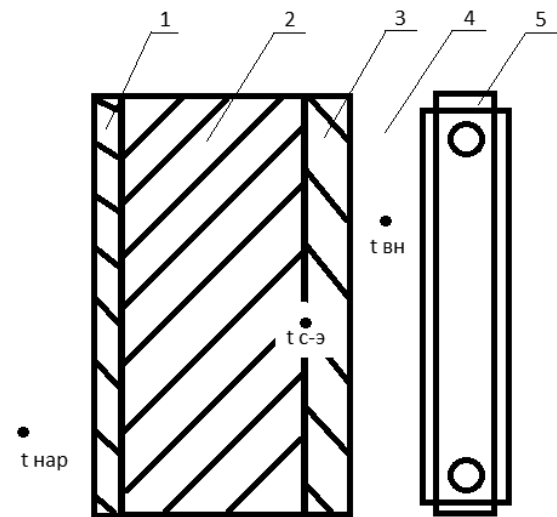


Рис. 2. Расчетная схема теплообмена с экраном:

- 1 – штукатурка; 2 – стена; 3 – экран;
- 4 – воздушная прослойка; 5 – радиатор отопления

- железобетонной стенки: $\lambda_{\text{ст}} = 1,69$ Вт/(м·°С);
- экрана (из пенофола): $\lambda_{\text{э}} = 0,05$ Вт/(м·°С);
- коэффициент теплоотдачи: между батареей и стеной (или экраном): $\alpha_{\text{вн}} = 10$ Вт/(м²·°С); к наружному воздуху: $\alpha_{\text{нар}} = 20$ Вт/(м²·°С);
- длительность отопительного периода в Самаре: $n = 5040$ ч;
- стоимость тепловой энергии с 1 ноября 2020 г.: $T = 1783,34$ руб./Гкал.

Определим плотность теплового потока через стенку с наложенным на нее экраном по известной формуле для процесса теплопередачи [3]:

$$q = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}}{R_t \alpha_{\text{вн}} + R_t \lambda_{\text{э}} + R_t \lambda_{\text{ст}} + R_t \lambda_{\text{ш}} + R_t \alpha_{\text{нар}}} = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_{\text{э}}}{\lambda_{\text{э}}} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{ш}}}{\lambda_{\text{ш}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}}} = \frac{50 - (-30)}{\frac{1}{10} + \frac{0,01}{0,05} + \frac{0,38}{1,69} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{1}{20}} = 132,6 \text{ Вт/м}^2,$$

где $R_{t \alpha_{\text{вн}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} [(м^2 \cdot К)/Вт]$ – термическое сопротивление теплоотдачи для воздуха между радиатором отопления и экраном; $R_{t \lambda_3} = \frac{\delta_3}{\lambda_3} [(м^2 \cdot К)/Вт]$ – термическое сопротивление теплопроводности теплоотражающего экрана; $R_{t \lambda_{\text{ст}}} = \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} [(м^2 \cdot К)/Вт]$ – термическое сопротивление теплопроводности материала стены; $R_{t \lambda_{\text{шт}}} = \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} [(м^2 \cdot К)/Вт]$ – термическое сопротивление слоя штукатурки; $R_{t \alpha_{\text{нар}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}} [(м^2 \cdot К)/Вт]$ – термическое сопротивление теплоотдачи к наружному воздуху.

Температуру на границе стены и экрана $t_{\text{с-э}}$ можно найти из формулы

$$q = \frac{t_{\text{с-э}} - t_{\text{нар}}}{R_{t \lambda_{\text{ст}}} + R_{t \lambda_{\text{шт}}} + R_{t \alpha_{\text{нар}}}} = \frac{t_{\text{с-э}} - t_{\text{нар}}}{\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}}};$$

$$t_{\text{с-э}} = t_{\text{нар}} + q \cdot \left(\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}} \right) = -30 + 132,6 \cdot \left(\frac{0,38}{1,69} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{1}{20} \right) = 10,23 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Общепринятый средний показатель нормальной влажности воздуха в квартире должен быть на уровне 45 % согласно ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещении». Он может варьироваться в зависимости от типа помещения и его эксплуатационных условий. Отклонение от нормы возможно как в зимнее время года, так и в теплый период. Какой должна быть влажность в квартире, т. е. ее усредненные показатели для основных помещений, указано в табл. 1.

Таблица 1

Усредненные показатели влажности для основных помещений

Тип помещения	Уровень влажности, %
Столовая	40-60
Ванная, кухня	40-60
Библиотека и зона для работы	30-40
Спальня	40-50
Детская	45-60

По таблицам из СП 23-101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий» (табл. 2) определяем температуру точки росы при относительной влажности воздуха $\varphi = 50 \%$ и температуре воздуха в помещении $t_{\text{в}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$. Она составляет $t_{\text{росы}} = 9,3 \text{ } ^\circ\text{C}$. Значит, при $t_{\text{с-э}} = 10,23 \text{ } ^\circ\text{C}$ роса на стенке образовываться не будет.

Если же относительная влажность воздуха будет $\varphi = 60 \%$ и при $t_{\text{в}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$, то температура точки росы составит $t_{\text{росы}} = 12 \text{ } ^\circ\text{C}$. Значит, конденсат образовываться будет.

Зная, что при $\varphi = 50 \%$ образование конденсата на стенке за экраном будет при $t_{\text{с-э}}^{\text{мин}} \leq 9,3 \text{ } ^\circ\text{C}$, найдем плотность теплового потока при этих условиях:

$$q = \frac{t_{\text{с-э}}^{\text{мин}} - t_{\text{нар}}}{R_{t \lambda_{\text{ст}}} + R_{t \lambda_{\text{шт}}} + R_{t \alpha_{\text{нар}}}} = \frac{t_{\text{с-э}}^{\text{мин}} - t_{\text{нар}}}{\frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}}} = \frac{9,3 - (-30)}{\frac{0,38}{1,69} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{1}{20}} = 129,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Теперь можем определить максимальную толщину теплоотражающего экрана:

$$q = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}}{R_{t \alpha_{\text{вн}}} + R_{t \lambda_3} + R_{t \lambda_{\text{ст}}} + R_{t \lambda_{\text{шт}}} + R_{t \alpha_{\text{нар}}}} = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}}}{\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}}}.$$

$$t_{\text{вн}} - t_{\text{нар}} = q \left(\frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{шт}}}{\lambda_{\text{шт}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{нар}}} \right).$$

Таблица 2

Температура точки росы при относительной влажности воздуха

Температура воздуха, °C	Температура точки росы (°C) при относительной влажности воздуха (%)														
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	
30	10,5	12,9	14,9	16,8	18,4	20	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1	
29	9,7	12	14	15,9	17,5	19	20,4	21,7	23	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1	
28	8,8	11,1	13,1	15	16,6	18,1	19,5	20,8	22	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1	
27	8	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,3	23,3	24,3	25,2	26,1	
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1	
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1	
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1	
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2	
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,1	
21	2,8	5	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2	
20	1,9	4,1	6	7,7	9,3	10,7	12	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2	
19	1	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2	
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2	
17	-0,6	1,4	3,3	5	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2	
16	-1,4	0,5	2,4	4,1	5,6	7	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2	
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2	
14	-2,9	-1	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2	
13	-3,7	-1,9	-0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2	
12	-4,5	-2,6	-1	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2	
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2	
10	-6	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2	

$$\frac{t_{ст}-t_{нар}}{q} = \frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_э}{\lambda_э} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} + \frac{1}{\alpha_{нар}}.$$
$$\delta_э = \lambda_э \left(\frac{t_{ст}-t_{нар}}{q} - \frac{1}{\alpha_{вн}} - \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} - \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} - \frac{1}{\alpha_{нар}} \right) = 0,05 \left(\frac{50-(-30)}{129,5} - \frac{1}{10} - \frac{0,38}{1,69} - \frac{0,02}{0,7} - \frac{1}{20} \right) = 0,0107 \text{ м}.$$

Полученное значение указывает на то, что при значениях толщины экрана, больших найденного (0,0107 м), на стенке будет образовываться конденсат (при φ = 50 %). Следовательно, имеем возможность рассчитать теплопотери через стенку при условиях недопущения образования конденсата на стенке за теплоотражающим экраном.

Рассчитаем потери теплоты через стенку в отопительный период для двух случаев: без экрана и с экраном максимальной толщины, т. е. когда не допускается образование конденсата на стенке.

Дополнительно примем следующие исходные значения при температуре воздуха снаружи (средняя в отопительный период) $\bar{t}_{нар}^{отоп} = -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$:

1) Сначала найдем теплопотери без использования экрана

$$q = \frac{t_{вн}-\bar{t}_{нар}^{отоп}}{R_t \alpha_{вн} + R_t \lambda_э + R_t \lambda_{ст} + R_t \lambda_{ш} + R_t \alpha_{нар}} = \frac{t_{вн}-\bar{t}_{нар}^{отоп}}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_э}{\lambda_э} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} + \frac{1}{\alpha_{нар}}} = \frac{50-(-10)}{\frac{1}{10} + \frac{0,38}{1,69} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{1}{20}} = 148,7 \text{ Вт/м}^2.$$

$$Q = qF = 148,7 \cdot 0,5 = 74,35 \text{ Вт}.$$

2) Вычислим теплопотери после установки экрана из пенофола с максимально возможной толщиной, когда соблюдается условие недопущения достижения температуры точки росы,

$$q_э = \frac{t_{вн}-\bar{t}_{нар}^{отоп}}{R_t \alpha_{вн} + R_t \lambda_э + R_t \lambda_{ст} + R_t \lambda_{ш} + R_t \alpha_{нар}} = \frac{t_{вн}-\bar{t}_{нар}^{отоп}}{\frac{1}{\alpha_{вн}} + \frac{\delta_э}{\lambda_э} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} + \frac{1}{\alpha_{нар}}} = \frac{50-(-10)}{\frac{1}{10} + \frac{0,0107}{0,05} + \frac{0,38}{1,69} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{1}{20}} = 97,2 \text{ Вт/м}^2.$$

$$Q_э = q_э F = 97,2 \cdot 0,5 = 48,6 \text{ Вт}.$$

3) Экономия теплоты за отопительный период составит

$$\Delta Q = (Q - Q_3) \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot C = \\ = (74,35 - 48,6) \cdot 10^{-3} \cdot 5040 \cdot 0,86 \cdot 10^{-3} = 0,11 \text{ Гкал},$$

где n – длительность отопительного периода (210 сут = 5040 ч); C – коэффициент перевода из кВт·ч в Гкал.

4) Годовая экономия в денежном эквиваленте составляет

$$\Delta = \Delta Q \cdot T = 0,11 \cdot 1783,34 = 199 \text{ руб.}$$

5) Затраты на установку экранов – стоимость пенофола типа С фольгированного самоклеющегося за 1 м² = 150 руб. Следовательно, при площади отопительного прибора 0,5 м² затраты составят 75 руб., что позволяет судить о скорой окупаемости данного энергосберегающего мероприятия (0,4 года).

Аналогичные расчеты для других значений относительной влажности воздуха ($\varphi = 40 \%$, $t_{с-3}^{\text{мин}} \leq 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 60 \%$, $t_{с-3}^{\text{мин}} \leq 12 \text{ }^{\circ}\text{C}$) дают максимальную толщину экрана 0,0135 м (1,35 см) и 0,0087 м (8,7 мм) соответственно. Результаты расчетов указаны в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетов

Относительная влажность воздуха φ , %	Температура точки росы, $t_{с-3}^{\text{мин}}$, $^{\circ}\text{C}$	Максимальная толщина экрана из пенофола $\delta_{\text{э}}$, м	Экономия теплоты за отопительный период ΔQ , Гкал	Годовая экономия Δ , руб.	Срок окупаемости, лет (год)
40	6	0,0135	0,13	230	0,33
50	9,3	0,0107	0,11	199	0,38
60	12	0,0087	0,097	173	0,43

Выводы. В работе были выявлены причины появления конденсата на стенах при достижении температуры точки росы. Показана методика определения максимальной толщины теплоотражающего экрана (на примере пенофола) при различных значениях относительной влажности воздуха в помещении (40, 50 и 60 %), при которой соблюдаются условия недопущения образования конденсата на стене за экраном. Определены также тепловые потери и рассчитан экономический эффект данного энергосберегающего мероприятия за отопительный период, определен срок окупаемости. На основании полученных результатов можно рекомендовать установку теплоотражающего экрана за радиатором отопления толщиной 1 см как наиболее оптимальный вариант со сроком окупаемости около 0,4 года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фролов М.В. Выявление причин возникновения влаги в ограждающей конструкции стены // Проблемы энергосбережения в промышленном и жилищно-коммунальном комплексах: сборник трудов XVIII Международной научно-практической конференции / под ред. Т.И. Королевой. Самара, 2017. С. 185–189.

2. Третьяков В.А. Проблемы обеспечения надежности и долговечности ограждающих строительных конструкций с учетом их промерзания // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2019. № 3(4). С. 219–229.

3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. 3-е изд., репринт. М.: ООО «ИД «БАСТЕТ», 2010. 344 с.: ил.

4. Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е. Применение метода безразмерных характеристик к расчету влажностного режима многослойных строительных ограждающих конструкций // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 2. С.10–15. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.2.

5. Вытчиков Ю.С., Сапарёв М.Е., Костуганов А.Б. Исследование влияния инфильтрации наружного воздуха на теплозащитные характеристики наружных стен высотных зданий // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, № 1. С. 30–35. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.5.

6. Чулков А.А. Исследование теплозащитных характеристик двухслойных наружных стен зданий с прерывистым отоплением // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 4. С. 15–18. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.3.

REFERENCES

1. Frolov M.V. Identifying the causes of moisture in the enclosing structure of the wall. *Problemy*

energoberezheniya v promyshlennom i zhilishchno-kommunal'nom kompleksah: sbornik trudov XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii / pod red. T.I. Korolevoj [Problems of Energy Saving in Industrial and Housing and Communal Complexes: Collection of Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference / ed. T.I. Koroleva]. Samara, 2017, pp. 185-189. (in Russian)

2. Tretyakov V.A. Problems of ensuring the reliability and durability of enclosing building structures, taking into account their freezing. *Aktual'nye problemy voenno-nauchnykh issledovaniy* [Actual problems of military scientific research], 2019, no. 3(4), pp. 219-229. (in Russian)

3. Mikheev M.A., Mikheeva I.M. *Osnovy teplopere-dachi* [Heat Transfer Basics]. M., Bastet Publ. 210 p.

4. Vytchikov Yu.S., Saparev M.Ye. Application of the Method of Dimensional Characteristics to the Calculation of the Humidity Mode of Multi-layered Enclosing Building Structures. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 2, Pp. 10–15. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.2.

5. Vytchikov Yu.S., Saparev M.Ye., Kostuganov A.B. Investigation the effect of outdoor air infiltration on the heat-shielding characteristics the outer walls of high-rise buildings. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 1, Pp. 30–35. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.5.

6. Chulkov A.A. Study of the Heat-Shielding Characteristics of Double-Layer Exterior Walls of Buildings with Intermittent Heating. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018. Vol. 8, no. 4. Pp. 15–18. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.3.

Об авторах:

ГАБДУШЕВ Руслан Жамангараевич

кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ теплотехники и гидромеханики Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: gabduschew@mail.ru

GABDUSHEV Ruslan Zh.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Theoretical Foundations of Heat Engineering and Hydromechanics Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: gabduschew@mail.ru

ДЕНИСОВ Сергей Алексеевич

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

DENISOV Sergey A.

Master's Degree Student of the Theoretical Foundations of Heat Engineering and Hydromechanics Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: gsword@mail.ru

КАНДАЕВ Егор Андреевич

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

KANDAIEV Egor A.

Master's Degree Student of the Theoretical Foundations of Heat Engineering and Hydromechanics Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: egor.kandaev@yandex.ru

Для цитирования: Габдушев Р.Ж., Денисов С.А., Кандаев Е.А. Выбор толщины теплоотражающего экрана при недопущении образования конденсата // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 32–37. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.05.

For citation: Gabdushev R.Zh., Denisov S.A., Kandaev E.A. Selecting the Thickness of the Heat-Reflecting Screen While the Formation of Condensate is Avoided. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 32–37. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.05.

**А. П. МАСЛЯНИЦЫН
Е. В. МАСЛЯНИЦЫНА
М. С. КРАСНОВА**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАТОРА СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

**MATHEMATICAL SIMULATION OF THE HEATING SYSTEM RADIATOR
OF AS A CONTROL OBJECT**

Рассматривается задача математического моделирования радиатора системы отопления как объекта управления. Цель ее разработки заключается в создании обобщенной математической модели тепловых процессов в помещении, отапливаемом посредством водяных радиаторов. Разработана расчетная схема процессов теплообмена между теплоносителем радиатора и воздухом помещения, на основании которой записаны уравнения теплового баланса. При этом учитываются как установившиеся, так и неустойчивые процессы теплообмена между теплоносителем, радиатором и воздухом помещения. Разработана структурная схема математической модели радиатора отопления. После введения допущений и преобразования структурной схемы нелинейной модели получена структурная схема линейной математической модели радиатора отопления. На ее основании выведена передаточная функция радиатора отопления, выходной координатой которой является тепловая мощность. Полученная передаточная функция может быть использована в обобщенной математической модели отапливаемого помещения. Выполнен анализ передаточной функции радиатора отопления и показано, что его динамика определяется не только геометрическими параметрами, но и расходом теплоносителя.

Ключевые слова: математическая модель, радиатор отопления, структурная схема, передаточная функция, система отопления

Внедрение систем автоматизированного управления тепловыми процессами в зданиях тесно связано с использованием адекватных и удобных для инженерной практики математических моделей элементов отопительных систем: насосов, элеваторов, регулирующих устройств, трубопроводов и отопительных приборов. Применение моделей этих устройств позволяет выполнять диагностику систем отопления, более рационально выбирать режимы их работы [1–3].

Система отопления здания предназначена для компенсации тепловых потерь помеще-

The problem of mathematical modeling of a heating system radiator as a control object is considered. The purpose of its development is to create a generalized mathematical model of thermal processes in a room heated by means of water radiators. A calculation scheme of heat transfer processes between the heat carrier of the radiator and the air of the room has been developed, on the basis of which the heat balance equations are written. This takes into account both steady and unsteady heat transfer processes between the coolant, radiator and room air. A block diagram of the mathematical model of a heating radiator has been developed. After the introduction of assumptions and transformation of the structural diagram of the nonlinear model, the structural diagram of the linear mathematical model of the heating radiator was obtained. On its basis, the transfer function of the heating radiator is derived, the output coordinate of which is the thermal power. The resulting transfer function can be used in a generalized mathematical model of a heated room. The analysis of the transfer function of the heating radiator is carried out and it is shown that its dynamics is determined not only by geometric parameters, but also by the flow rate of the heat carrier.

Keywords: mathematical model, heating radiator, structural scheme, transmission function, heating system

ния в холодное время года [4–7]. Посредством отопительных приборов энергия теплоносителя, в качестве которого чаще всего используют воду, передается воздуху помещения [8]. В зависимости от типа прибора теплопередача осуществляется как конвекцией, так и радиацией [8, 9]. Будем считать, что в помещении в качестве приборов отопления используются радиаторы и теплопередача осуществляется конвекцией.

Разработана расчетная схема процессов теплообмена между теплоносителем радиа-

тора и воздухом помещения (рис. 1). В радиатор поступает теплоноситель (вода), который имеет температуру T_{1m} и массовый расход G_1 . В процессе движения теплоноситель омывает внутреннюю поверхность радиатора с температурой T_p и посредством конвективного теплообмена нагревает ее, отдавая часть своей энергии. Это приводит к охлаждению теплоносителя, который на выходе из радиатора имеет температуру T_{2m} . Количество энергии, отданной теплоносителем радиатору [8], составляет

$$\Delta Q_m = G_1 \cdot G_m \cdot (T_{1m} - T_{2m}). \quad (1)$$

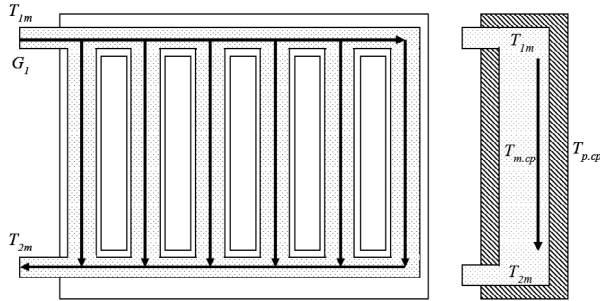


Рис. 1. Расчетная схема тепловых процессов в радиаторе отопления

Энергия ΔQ_m затрачивается на конвективный теплообмен с поверхностью радиатора и на изменение его внутренней энергии [10, 11]:

$$\Delta Q_m = (T_{m,cp} - T_{p,cp}) \cdot \alpha_1 \cdot F_{1p} + C_m \cdot m_m \frac{dT_{m,cp}}{dt}, \quad (2)$$

где $T_{m,cp}$ и $T_{p,cp}$ – средние температуры теплоносителя и стенки радиатора; α_1 и F_{1p} – коэффициент теплоотдачи и площадь внутренней поверхности радиатора.

Внешняя поверхность радиатора омывается воздухом помещения, поэтому посредством конвективного теплообмена происходит передача энергии от радиатора воздуху:

$$(T_{m,cp} - T_{p,cp}) \cdot \alpha_1 \cdot F_{1p} - Q_{on} = C_p \cdot m_p \frac{dT_{p,cp}}{dt}, \quad (3)$$

где α_2 и F_{2p} – коэффициент теплоотдачи и площадь наружной поверхности радиатора; Q_{on} – тепловой поток отопительного прибора [9],

$$Q_{on} = (T_{p,cp} - T_e) \cdot \alpha_2 \cdot F_{2p}. \quad (4)$$

Средняя по высоте радиатора температура может быть рассчитана как среднее арифметическое температур теплоносителя на входе и выходе из радиатора

$$T_{m,cp} = \frac{T_{1m} + T_{2m}}{2}. \quad (5)$$

Подставим выражение (5) в (1), в результате получим

$$\Delta Q_m = 2 \cdot G_1 \cdot C_m \cdot (T_{1m} - T_{m,cp}). \quad (6)$$

Представим выражения (2)–(4) и (6) в операторной форме и сведем их в общую систему

$$\begin{cases} 2G_1(p) \cdot C_m \cdot (T_{1m} - T_{m,cp}(p)) - (T_{m,cp}(p) - T_{p,cp}(p)) \cdot \alpha_1 \cdot F_{1p} = C_m \cdot m_m \cdot p \cdot T_{m,cp}(p), \\ (T_{m,cp}(p) - T_{p,cp}(p)) \cdot \alpha_1 \cdot F_{1p} - Q_{on}(p) = C_p \cdot m_p \cdot p \cdot T_{p,cp}(p), \\ Q_{on}(p) = (T_{p,cp}(p) - T_e) \cdot \alpha_2 \cdot F_{2p}. \end{cases} \quad (7)$$

На основании системы уравнений (7) разработана структурная схема математической модели радиатора отопления (рис. 2).

С целью свертки структурной схемы и получения более компактной математической модели были выполнены структурные преобразования, результаты которых показаны на рис. 3, а, б.

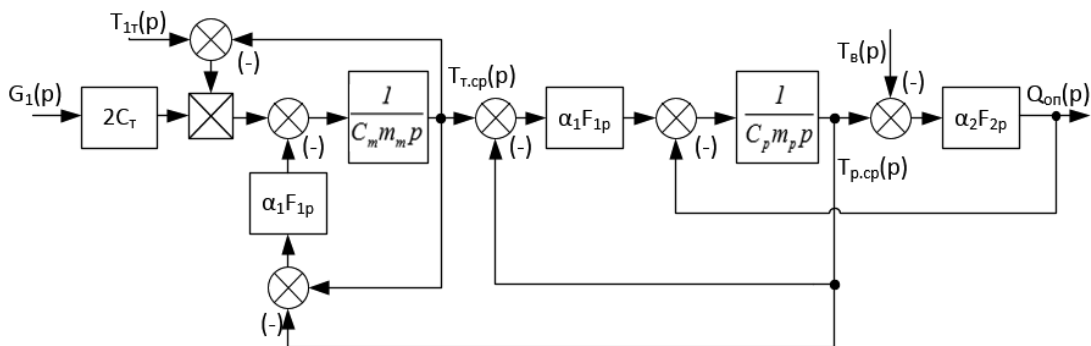


Рис. 2. Структурная схема модели радиатора отопления

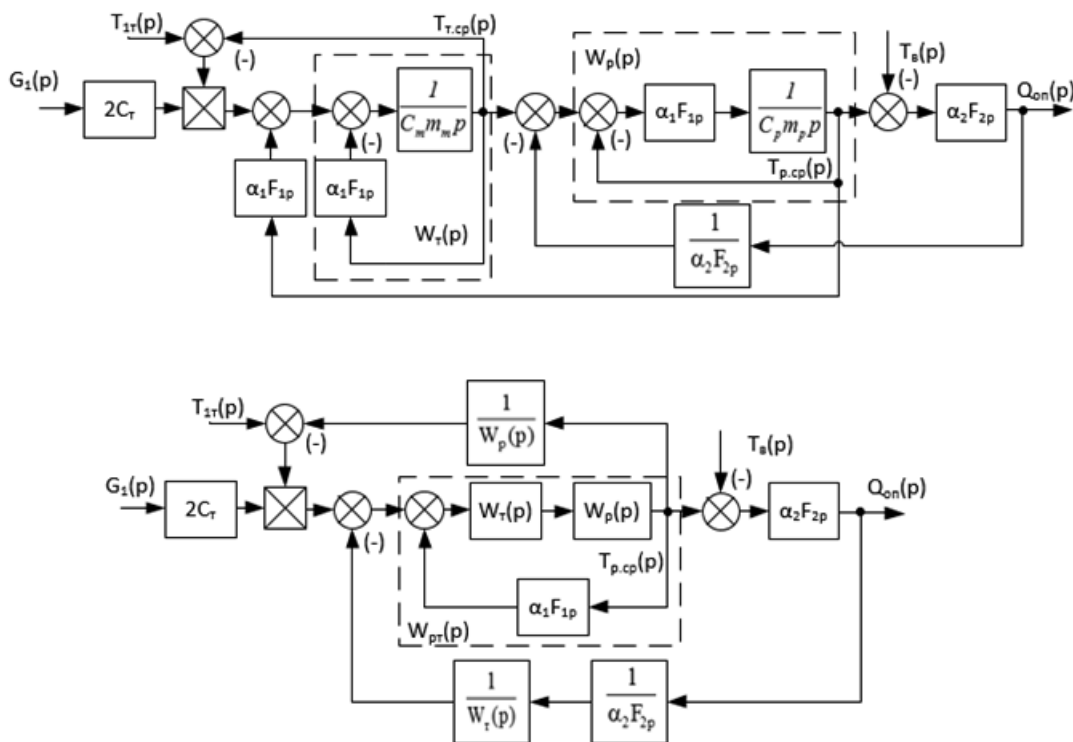


Рис. 3. Структурные преобразования модели

В результате свертки получены передаточные функции

$$W_m(p) = \frac{K_m}{\tau_m p + 1}, \quad (8)$$

где $K_m = \frac{1}{\alpha_1 F_{1p}}$, $\tau_m = \frac{C_m m_m}{\alpha_1 F_{1p}}$ – коэффициент передачи и постоянная времени звена;

$$W_p(p) = \frac{1}{\tau_p p + 1}, \quad (9)$$

где $\tau_p = \frac{C_p m_p}{\alpha_1 F_{1p}}$ – постоянная времени звена;

$$W_{pm}(p) = \frac{K_{pm}}{(\tau_{pm} p + 1)p}, \quad (10)$$

где $K_{pm} = \frac{K_m}{\tau_m + \tau_p}$, $\tau_{pm} = \frac{\tau_m \tau_p}{\tau_m + \tau_p}$.

Приведенная на рис. 3, б схема открывает возможность получения математической модели радиатора отопления по отношению к одному из воздействий: расходу теплоносителя $G_1(p)$, температуре теплоносителя $T_{1m}(p)$ на входе в радиатор или температуре $T_0(p)$ воздуха в помещении.

Наиболее часто регулирование теплового режима помещений выполняется путем изменения температуры теплоносителя на одном

из уровней управления системой теплоснабжения. Поэтому преобразуем первое уравнение системы (7) с учетом условия $G_1(p) = G_{10} = \text{const.}$

$$\begin{aligned} & 2G_{10} \cdot C_m \cdot (T_{1m} - T_{m,ср}(p)) - \\ & - (T_{m,ср}(p) - T_{p,ср}(p)) \cdot \alpha_3 \cdot F_{1p} = \\ & = C_m \cdot m_m \cdot p \cdot T_{m,ср}(p). \end{aligned} \quad (11)$$

Уравнение (11) является линейным, что в совокупности со вторым и третьим уравнениями системы позволяет получить передаточную функцию радиатора отопления в виде

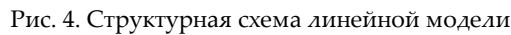
$$W_{po}(p) = \frac{Q_{он}(p)}{T_{1m}(p)}. \quad (12)$$

Разработана структурная схема линейной математической модели радиатора отопления с учетом принятых допущений (рис. 4).

Выполнена свертка полученной структурной схемы (см. рис. 4) и получена передаточная функция радиатора отопления

$$W_{pm2}(p) = \frac{K_{pm2}}{\tau_m \tau_p p^2 + (2\tau_m + \tau_p)p + 1}, \quad (13)$$

где $K_{pm2} = \frac{\alpha_2 F_{2p}}{\alpha_1 F_{1p}}$;



$$W_{po}(p) = \frac{2W_{pm2}(p)G_{l0}C_m}{I + \frac{2W_{pm2}(p)G_{l0}C_m}{W_p(p)\alpha_2 F_{2p}}} = \frac{K_{po}}{a_2^2 p^2 + a_1 p + I}, \quad (14)$$

$$\text{где } K_{po} = \alpha_2 F_{2p}, a_2^2 = \frac{\tau_p \tau_m \alpha_l F_{lp}}{2G_{l0} C_m},$$

$$a_l = \frac{\alpha_l F_{lp}}{2G_{l0} C_m} (2\tau_m + \tau_p) + \tau_p.$$

Вывод. В результате проведенных исследований получено, что динамика радиатора отопления может быть описана с помощью звена 2-го порядка. Кроме того, показано, что коэффициенты знаменателя передаточной функции обратно пропорционально зависят от величины расхода теплоносителя G_{10} . При индивидуальном регулировании радиаторов отопления используется принцип количественного регулирования, который реализуется с помощью клапанов, ограничивающих расход теплоносителя. В соответствии с уравнением можно утверждать, что уменьшение расхода G_{10} приводит к увеличению тепловой инерционности радиатора отопления.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пырклов В.В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. Киев: П ДП «Такі справи», 2007. 252 с.
2. Потатенко А.Н., Солдатенков А.С., Белоусов А.В. Автоматизация и управление процессами теплоснабжения зданий: учебное пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 262 с.
3. Масляницын А.П., Масляницына Е.В. Анализ современных систем регулирования теплоснабже-

4. Сабуров В.В., Галицков С.Я., Алешин А.Н. Решение задач энергосбережения при выполнении капитального ремонта электрооборудования многоквартирных домов // Градостроительство и архитектура. 2014. № 4(17). С. 107–110. DOI: 10.17673/Vestnik.2014.04.16.

5. *Веснин В.И.* Инфильтрация воздуха и тепловые потери помещений через оконные проёмы // Градостроительство и архитектура. 2016. № 3(24). С. 10–16. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.2.

6. Чичерин С.В., Глухов С.В. Методика планирования нагрузок системы централизованного теплоснабжения // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, № 3. С. 129–136. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.22.

7. Ватузов Д.Н., Пуринг С.М., Филатова Е.Б., Тюрин Н.П. Выбор источника теплоснабжения зданий жилой застройки // Градостроительство и архитектура. 2014. № 4(17). С. 86–91. DOI: 10.17673/Vestnik.2014.04.13.

8. Сканапи А.Н., Махов Л.М. Отопление. М.: АСВ, 2002. 575 с.

9. Меденцова Н.Л. Отопление. Новосибирск: НГАСУ(Сибстрин), 2013. 128 с.

10. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / под ред. Ю.А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.

11. Масляницын А.П., Масляницyna Е.В. Математическое моделирование пластинчатого теплообменника как объекта управления // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии [Электронный ресурс]: сборник статей / под ред. М.В. Шувалова, А.А. Пищулева, А.К. Стрелкова. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2020. С. 474-485.

REFERENCES

1. Pyrkov V.V. *Sovremennye teplovye punkty. Avtomatika i regulirovanie* [Modern heat points. Automation and regulation]. Kiev, "So-do" DP, 2007. 252 p.
2. Potapenko A.N., Soldatenkov A.S., Belousov A.V. *Avtomatizatsiya i upravlenie processami teplosnabzheniya zdaniy: uchebnoe posobie* [Automation and management of the heating processes of buildings: training manual]. Belgorod, Izd -in BGTU, 2016. 262 p.
3. Maslyanitsyn A.P., Maslyanitsyna E.V. Analysis of modern heating management systems for residential and administrative buildings. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya stroitel'stva [Elektronnyj resurs]: sbornik statej / pod red. S.YA. Galickova, M.V. SHuvalova, T.E. Gordeevoy, N.G. CHumachenko, A.K. Strelkova* [Mechanization and automation of construction: a collection of articles / under ed. S.Y. Galitskov, M.V. Shuvalov, T.E. Gordeeva, N.G. Chumachenko, A.K. Strelkov]. Samara, SamGTU, 2019, pp. 135-138. (in Russian)
4. Saburov V.V., Galitskov S.Yu., Aleshin A.N. Solving of energy-savings problem in major repairs of electricity supply systems of flat buildings. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2014, vol.4, no. 4, pp. 107–110. DOI: 10.17673/Vestnik.2014.04.16.(in Russian)
5. Vesnin V.I. Air infiltration and room heat loss through window openings. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2016, vol. 6, no. 3, pp. 10–16. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.2. (in Russian)
6. Chicherin S.V., Glukhov S.V. Centralized heat supply system and techniques of planning its loads. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2017, vol. 7, no. 3, pp. 129–136. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.22. (in Russian)
7. Vatzov D.N., Puring S.M., Filatova E.B., Tyurin N.P. Choice of heat source for residential buildings. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2014, vol.4, no. 4, pp. 86–91. DOI: 10.17673/Vestnik.2014.04.13. (in Russian)
8. Scanavi A.N., Makhov L.M. *Otoplenie* [Heating: textbook for universities]. M., Ed. Association of Building Universities, 2002. 575 p.
9. Medentsova N.L. *Otoplenie* [Heating : Manual]. Novosibirsk, NGASU (Sibstrin), 2013. 128 p.
10. Fokin K.F. *Stroitel'nayatekhnikaograzhdayushchih chastej zdaniy / pod red. YU.A. Tabunshchikova, V. G. Gagarina* [Construction thermal engineering of fencing parts of buildings / Under ed. I.A. Tabunshchikov, V.G. Gagarin]. M., AVOK-PRESS, 2006. 256 p.
11. Maslyanitsyn AP, Maslyanitsyna E.V. Mathematical modeling of the plate heat exchanger as a control object. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'nye tekhnologii [Elektronnyj resurs]: sbornik statej / pod red. M.V. SHuvalova, A.A. Pishchuleva, A.K. Strelkova* [Tradition and innovation in construction and architecture. Construction technologies: a collection of articles / edited by M.V. Shuvalov, A.A. Pischevalev, A.K. Strelkov]. Samara, SamGTU, 2020, pp. 474-485. (in Russian)

Об авторах:

МАСЛЯНИЦЫН Александр Петрович

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры механизации, автоматизации
и энергоснабжения строительства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: maes@samgtu.ru

MASLYANITSYN Alexander P.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of
the Mechanization, Automation and Energy Supply of
Construction Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244
E-mail: maes@samgtu.ru

МАСЛЯНИЦЫНА Елена Васильевна

магистрант строительного-технологического факультета
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: maes@samgtu.ru

MASLYANITSYNA Elena V.

Master's Degree Student of the Faculty of Construction
and Technology
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244
E-mail: maes@samgtu.ru

КРАСНОВА Марина Сергеевна

магистрант строительного-технологического факультета
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: marishkakrasnova@mail.ru

KRASNOVA Marina S.

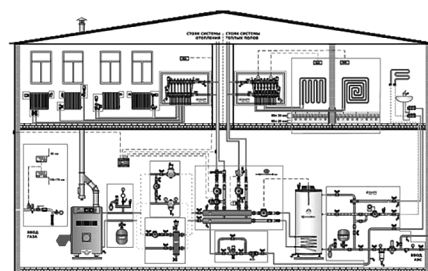
Master's Degree Student of the Faculty of Construction
and Technology
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 244
E-mail: marishkakrasnova@mail.ru

Для цитирования: Масляницын А.П., Масляницына Е.В., Краснова М.С. Математическое моделирование радиатора системы отопления как объекта управления // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 38–44. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.06.

For citation: Maslyanitsyn A.P., Maslyanitsyna E.V., Krasnova M.S. Mathematical Simulation of the Heating System Radiator of as a Control Object. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 38–44. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.06.

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





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

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ

EFFECTIVENESS ANALYSIS OF SOFTENING METHODS OF WATER
FROM NATURAL SOURCES

Приведены результаты химического анализа природных вод из поверхностных (река, водопровод) и подземных (скважина, колодец) источников. Отбор воды на анализ проводился в ряде городов и поселков Самарской и Пензенской областей. Анализ был выполнен по следующим показателям: общая жесткость, водородный показатель, катионы кальция, магния, железа, хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты, перманганатная окисляемость. Выявлен наиболее часто встречаемый химический показатель качества воды, превышающий ПДК. Показано негативное влияние жесткой воды на работу котельных агрегатов и бытовых нужд. Описаны различные способы умягчения воды. Изложены результаты определения жесткости воды до умягчения и после фильтрации через слой катионита и анионита. На основе полученных показателей даны рекомендации по выбору способов умягчения для различных типов котлов.

Ключевые слова: поверхностные и подземные воды, общая жесткость воды, химические показатели качества воды, ионообменный метод, диализ, реagentный метод, катиониты, аниониты, паровые котлы, водогрейные котлы

Природные воды представляют собой сложные системы, в которых присутствуют различные химические элементы в определенных концентрациях. Они могут быть как природного, так и антропогенного происхождения. Именно от наличия и количества тех или иных соединений зависят физические и химические свойства воды, а значит, и ее качество. При этом наибольшую нагрузку на фи-

The results of chemical analysis of natural waters from surface (river, water supply) and underground (well, well) sources are given. Water selection for analysis was carried out in a number of cities and villages of the Samara and Penza regions. The analysis was performed on the following indicators: total stiffness, hydrogen index, calcium, magnesium, iron cations, chlorides, sulfates, hydrocarbonates, permanganate oxidability. The most common chemical indicator of water quality exceeding MPC was identified. The negative impact of rigid water on the operation of boiler units and household needs is shown. Various methods of water softening are illuminated. The results of determination of water hardness before softening and after filtration through a layer of cationite and anionite are presented. Based on the obtained indicators, recommendations are given on the selection of softening methods for various types of boilers.

Keywords: surface and underground waters, total water hardness, chemical indicators of water quality, ion-exchange method, dialysis, reagent method, cationites, anionites, steam boilers, hot water boilers

зико-химический состав воды дают вещества, привнесенные человеком напрямую или косвенно [1–3].

Нами были проанализированы 23 водных источника Самарской и Пензенской областей. При этом 8 из источников прошли анализ на содержание ионов кальция, магния, железа, хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов, общую жесткость и перманганатную окисляемость

(П.О.). Вода из остальных источников проанализирована на наличие катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , солей жесткости ($\text{Ж}_{\text{общ}}$) и pH среды.

Результаты исследования представлены в табл. 1 и 2.

По данным табл. 1 изученные показатели воды в источнике № 4 находятся в пределах нормы, за исключением перманганатной окисляемости (норма предельно допустимой концентрации составляет не более 5,0 мг/л).

Перманганатная окисляемость (П.О.) определяется количеством миллиграммов кислорода, которое нужно для окисления примеси в виде органики, находящейся в 1 л воды. Высокие показатели говорят о чрезмерном загрязнении водного объекта органическими примесями, что губительно действует на флору и фауну [1,4–7].

Установлено, что концентрация железа в исследуемых водах находится в пределах нормы, что исключает риск развития гемохроматоза. Тем не менее в источнике № 5 (см. табл. 1) количество ионов Fe^{3+} близко к предельно допустимой концентрации, значение которой должно быть не более 0,3 мг/л.

Количество ионов Cl^- и SO_4^{2-} в исследуемых источниках (см. табл. 1) соответствует нормативным требованиям (предельно допустимые концентрации хлоридов должны быть не более 350 мг/л, сульфатов – не более 500 мг/л).

Особый интерес представляют результаты по жесткости исследуемых проб.

Жесткость воды – это совокупность свойств, которые характеризуются количеством в ней в основном катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} .

В источниках № 1–3, 7 (см. табл. 1) отмечена кальциевая жесткость, иными словами, количество катионов Ca^{2+} намного больше, чем количество катионов Mg^{2+} .

Для объектов № 4, 5, 8 (см. табл. 1) наоборот – характерна магниевая жесткость, т. е. количество катионов Mg^{2+} намного больше, чем количество катионов Ca^{2+} .

Во всех объектах, указанных в табл. 1, общая жесткость больше предельно допустимой концентрации (7 мл-экв/л), за исключением пробы из источника № 4 (см. табл. 1). В г. Новокуйбышевске (источник № 2) показатели жесткости значительно превосходят ПДК (в три раза) [8].

В табл. 2 приведены сведения по общей жесткости, водородному показателю, содержанию в воде катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Общая жесткость воды в исследованных источниках находится в пределах 3,1 – 22,6 °Ж.

Превышение ПДК по жесткости в несколько раз увеличивает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний и органов пищеварения. При передозировке ионов кальция в воде мо-

жет возникнуть спазм сердца, астма, атеросклероз, повышенное артериальное давление, катаракта, мочекаменная болезнь, полиартриты. Кроме того, такая вода горьковата по вкусовым ощущениям. В воде с повышенной жесткостью тяжело приготовить пищу, так как ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} с белковыми продуктами дают нерастворимые вещества. В такой воде плохо завариваются кофе и чай. Стирка белья в воде с повышенной жесткостью приводит к ухудшению его потребительских свойств – ткань становится хрупкой и ломкой. Жесткая вода требует большего расхода моющих средств – мыла, гелей, шампуней, порошка и пр., что приводит к увеличению затрат, а главное – к увеличению и загрязнению воды входящими в состав моющих средств веществами.

Соли, обуславливающие жесткость воды, накапливаются на стенках чайников, посудомоечных, стиральных машин и других бытовых приборах, что уменьшает как их работоспособность, так и срок их службы. То же самое случается при использовании промышленных нагревательных приборов. При эксплуатации водогрейных и паровых котлов на их стенки с внутренней стороны из воды с повышенной жесткостью осаждаются соли кальция и магния, снижающие их теплопроводность. Это увеличивает затраты топливных средств, загрязняет атмосферу вредными веществами, уменьшает работу самих агрегатов. Осадки из солей кальция и магния могут полностью перекрыть внутреннее пространство трубопровода, привести к местному перегреванию, ускорить коррозионные процессы стенок агрегатов и привести к сбоям в работе и авариям.

Кроме того, соли кальция и магния отрицательно воздействуют на бетонные конструкции (магнезиальная коррозия бетона, сульфатная коррозия бетона) и конструкции из стали. Если сооружение стальное, то на металлических поверхностях под действием «жестких» солей проходят такие электрохимические реакции, которые ускоряют коррозию и вызывают разрушение конструкций [3, 9–12].

Таким образом, по результатам выполненных анализов можно рекомендовать использование природной воды из всех исследуемых природных источников, но после ее умягчения.

Для умягчения воды используют следующие методы: диализ, термический, реагентный, ионообменный, комбинированный. В зависимости от качества воды, которую необходимо умягчить, выбирают тот или иной указанный способ.

Например, воду из объектов № 1, 2, 3, 7 (см. табл. 1) следует непродолжительное время прокипятить, что устраним ионы Ca^{2+} , а воду из

Таблица 1

**Результаты расширенного анализа
природных вод Самарской области**

№ п/п	Источник	Ж _{общ.} , мг-экв/л	Ca ²⁺ , мг-экв/л	Mg ²⁺ , мг-экв/л	Fe ³⁺ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	HCO ₃ ⁻ , мг/л	П.О.
1	Самарская обл., Челновершинский р-н, пос. Соловецкий (колодец)	16,0	11,98	4,03	0,012	149	30	610	4,6
2	Самарская обл., г.о. Новокуйбышевск (кран в доме)	21,0	15,7	5,3	-	184	25	210	5,7
3	Самарская обл., Безенчукский р-н, с. Васильевка (колодец)	15,8	10,9	4,9	0,01	150	120	320	4,5
4	Самарская обл., Красноярский р-н, с. Старая Бинаратка (родник)	5,0	1,9	3,1	0,024	78	10	329	7,4
5	Самарская обл., г.о. Новокуйбышевск (озеро)	15,0	8,58	6,42	0,24	191	44	244	6,0
6	Самарская обл., Нефтегорский р-н, с. Семеновка	-	-	-	0,052	71	42	-	14,1
7	Самарская обл., г.о. Самара, пос. Мехзавод (артезианский источник)	18,5	12,0	6,5	-	-	-	-	22,37
8	Самарская обл., Сергиевский р-н, с. Елховка	8,2	4,2	4,0	-	140	70	-	48,7

Таблица 2

**Результаты анализа природных вод на жесткость,
ионы кальция и магния и pH среды**

№ п/п	Источник	pH	Ж _{общ.} , мг-экв/л	Ca ²⁺ , мг-экв/л	Mg ²⁺ , мг-экв/л
1	Самарская обл., г. Самара, Красноглинский р-н, пос. Управленческий (кран в доме)	6,21	15,0	5,7	9,3
2	Самарская обл., Красноярский р-н, с. Малая Царевщина (скважина 22 м)	6,19	5,0	2,8	2,2
3	Самарская обл., с. Камышла (скважина 27 м)	5,25	5,5	2,0	3,5
4	Самарская обл., Шенталинский р-н, с. Семеново-Шарла (кран в доме)	6,1	12,4	5,3	7,1
5	Самарская обл., Волжский р-н, с. Белозерки (скважина 8 м)	5,6	16,9	10,5	6,4
6	Пензенская обл., Сосновоборский р-н («Максимкин родник»)	3,6	3,1	0,9	2,2
7	Пензенская обл., пос. Березкино (водопроводная вода)	5,22	6,0	1,5	4,5
8	Самарская обл., пос. Журавли (колодец 5 м)	6,04	11,5	5,5	6,0
9	Самарская обл., г.о. Самара, Красноглинский р-н, 19-й км	5,05	8,6	6,8	1,8
10	Самарская обл., Волжский р-н, пос. Березки (колодец 15 м)	5,66	22,6	12,0	10,6
11	Самарская обл., пос. Новосемейкино (скважина 100 м)	5,52	11,6	6,0	5,6
12	Самарская обл., г. Самара, Куйбышевский р-н, Сухая Самарка	5,02	15,6	11,9	3,7
13	Самарская обл., Кошкинский р-н (родник «Белый ключ»)	5,47	6,9	2,8	4,1
14	Самарская обл., Кинельский р-н, с. Чубовка (родник)	6,0	8,1	3,1	5,0

объектов № 4, 5, 8 (см. табл. 1) необходимо под-
вернуть более длительному кипячению (около
пяти минут), для удаления ионов Mg^{2+} [2, 3, 11].

Нормальная эксплуатация водогрейных
котлов протекает при остаточной жесткости
воды, равной 0,1 мг-экв/л. Для паровых котлов
этот показатель составляет 0,02 мг-экв/л.

Из перечисленных методов ионообмен-
ный, комбинированный и диализ позволяют
выполнить глубокое умягчение воды, получить
остаточную жесткость 0,01 мг-экв/л и ниже.

Диализ применяется при общей жесткости
(J_0) меньше или равной 10 мг-экв/л и мутности
исходной воды до 2,0 мг/л. Этот метод обеспе-
чивает глубокое умягчение, но его применение
ограничено требованиями по общей жесткости
и мутности воды, а также он является дорого-
стоящим (на стадии установки и эксплуата-
ции). При диализе исходная вода фильтруется
через полупроницаемые мембраны.

В ионообменном методе применяется
Na-катионирование одноступенчатое или двух-
ступенчатое, H-катионирование, H-Na-катиони-
рование (последовательное, параллельное). Ио-
нообменный метод используется при $J_0 \leq 15,0$
мг-экв/л, мутности исходной воды до 8 мг/л.

Реагентный метод очистки воды обеспечи-
вает остаточную жесткость воды до 0,7 мг-эк-
в/л, применяется при $J_0 = 5-30$ мг-экв/л и бо-
лее и мутности воды до 500 мг/л. Может быть
использован как I ступень умягчения воды из
артезианских скважин, так как не обеспечивает
необходимую глубину умягчения по остаточ-
ной жесткости.

Для умягчения воды с высокой общей
жесткостью, карбонатной жесткостью (J_k), вы-
соким содержанием взвешенных веществ ис-
пользуется комбинированный метод.

При эксплуатации отечественных водот-
рубных паровых котлов выбор схемы умягче-
ния зависит от сухого остатка исходной воды
и карбонатной жесткости, водогрейных кот-
лов – от общей жесткости и сухого остатка ис-
ходной воды [4, 6, 13–15].

Для отечественных и импортных жаро-
трубных паровых котлов выбор схемы умягче-
ния зависит от величины водородного показате-
ля (pH) и общей жесткости воды, водогрейных
котлов – карбонатной жесткости и водородного
показателя.

Результаты химического анализа воды на
общую и карбонатную жесткость до умягче-
ния и после него по обследуемым источникам
представлены в табл. 3.

Анализ полученных результатов после
умягчения воды с высокой общей жестко-
стью ($J_0 > 30$ мг-экв/л) позволяет сделать
вывод, что использование в данном случае
только ионообменного способа является
недостаточным, так как не обеспечивает не-
обходимую остаточную жесткость воды для
работы паровых и водогрейных котлов. Из
табл. 1 видно, что использование в качестве
фильтрующей загрузки катионита КJ-2-8
является более эффективным по сравнению
с анионитом АН-31.

По результатам оценки эффективно-
сти рассмотренных способов умягчения воды

Таблица 3

Показатели качества воды

№ п/п	Место отбора	До умягчения воды				После умягчения воды	
		J_0 , мг-эк- в/л	J_k , мг-эк- в/л	Сухой оста- ток, мг/л	pH	Остаточная жесткость, мг-экв/л	
						Анионит, АН-31	Катионит, КJ-2-8
1	Яблоневоый овраг (скважина)	35,0	1,67	-	-	1,8	0,90
2	Г. Новокуйбышевск	30,73	4,07	-	-	2,40	0,60
3	Г. Казань	20,3	5,23	-	-	-	-
4	Г. Самара (Кошелев)	41,0	-	-	-	1,6	0,80
5	Г. Чапаевск	18,6	4,7	1505	7,28	-	-
6	Красный Яр (скважина)	14,3	9,6	1032	7,31	-	-
7	Пос. Алексеевка	19,0	10,2	1457	7,32	-	-

(см. табл. 3) и их обратной интерполяции могут быть сформулированы следующие рекомендации применительно к водоподготовке для котлов и тепловых сетей:

– при общей жесткости воды менее 10 мг-экв/л рекомендуется ее умягчение ионообменным способом (одноступенчатым для водогрейных котлов и тепловых сетей и двухступенчатым для паровых котлов);

– при общей жесткости воды от 10 до 20 мг-экв/л рекомендуется применение ионообменного метода (H-Na-катионирование) или комбинированного метода;

– при общей жесткости воды более 20 мг-экв/л рекомендуется применение комбинированного метода.

Комбинированный метод умягчения должен включать: на I ступени – реагентную очистку, на II ступени – доумягчение ионообменным методом или диализом [3, 8, 11, 16, 17].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егоров В.В. Экологическая химия. СПб.: Лань, 2009. 192 с.
2. Коровин Н.В. Общая химия. М.: Высшая школа, 2000. 558 с.
3. Негода Л.Л., Жукова А.А., Клименков О.М. Определение качества питьевых, природных и сточных вод. Самара: СГАСУ, 2009. 60 с.
4. Васильев А.В., Антропов Г.В., Баженов А.И. Повышение надежности жаротрубных водогрейных котлов // Промышленная энергетика. 1998. № 7. С. 28-32.
5. Кичигин В.И., Быкова П.Г. Исследование физико-химических характеристик поверхностного стока населенных пунктов // Водоснабжение и санитарная техника. 2002. № 11. С.28-32.
6. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. М.: Изд-во АСВ, 2004. 496 с.
7. Стась М.Ф. Справочник по общей и неорганической химии. Томск: ТПУ, 2011. 84 с.
8. Негода Л.Л., Курмаева Т.С. Обзор результатов анализа воды природных источников самарской области // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: материалы Международной научно-технической конференции. Самара: СГАСУ, 2016. С. 148-151.
9. Глинка Н.Л. Общая химия. М.: КноРус, 2010. 752 с.
10. Минкина С.А., Негода Л.Л., Курмаева Т.С. Влияние основных показателей качества воды на способ умягчения // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Естественные науки и техносферная безопасность: материалы Международной научно-технической конференции. Самара: СамГТУ, 2018.
11. Негода Л.Л., Коржев И.Р. Определение жесткости природных вод и методы их умягчения. Самара: СГАСУ, 2014. 34 с.

12. Стрелков А.К., Егорова Ю.А., Быкова П.Г. Выбор наиболее эффективных реагентов при очистке воды // Водоснабжение и санитарная техника. 2014. № 8. С. 5-9.

13. Минкина С.А. Водоподготовка котельных установок. Расчёт и проектирование оборудования. Самара: СГАСУ, 2010. 164 с.

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

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

16. Негода Л.Л., Курмаева Т.С. Химическая характеристика природной воды самарской губернии из различных источников // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Материалы Международной научно-технической конференции. Самара: АСИ. СамГТУ, 2017.

17. Обработка осадков сточных вод нефтяного комплекса / К.Л. Чертес, Д.В. Зеленцов, Н.А. Сафонова, В.Н. Пыстин, А.С. Малиновский, М.В. Бикунова // Региональная архитектура и строительство. 2012. № 2. С. 159–166.

REFERENCES

1. Vasil'ev A.V., Antropov G.V., Bazhenov A.I. Improving the Reliability of Heat Tube Hot Water Boilers. *Promyshlennaya energetika* [Industrial energy], 1998, no. 7, pp. 28–32. (in Russian)
2. Glinka N.L. *Obshchaya khimiya* [General chemistry]. Moscow, KnoRus, 2010. 752 p.
3. Egorov V.V. *Ekologicheskaya khimiya* [Environmental chemistry]. St. Petersburg Lan, 2009. 192 p.
4. Zhurba M.G. *Vodosnabzhenie. Proektirovanie sistem i sooruzheniy* [Water supply. Design of systems and structures]. Moscow, ASV, 2004. 496 p.
5. Kichigin V.I., Bykova P.G. Study of physical and chemical characteristics of surface runoff of settlements. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitation], 2002, no. 11, pp. 28–32. (in Russian)
6. Korovin N.V. *Obshchaya khimiya* [General chemistry]. Moscow, Vysshaya shkola, 2000. 558 p.
7. Minkina S.A. *Vodopodgotovka kotel'nykh ustanovok. Raschet i proektirovanie oborudovaniya* [Water treatment of boiler plants. Equipment Calculation and Design]. Samara, SGASU, 2010. 164 p.
8. Minkina S.A. *Teplovye skhemy kotel'nykh. Raschet i proektirovanie oborudovaniya* [Thermal diagrams of boiler houses. Equipment Calculation and Design]. Samara, SSTU. 134 p.
9. Minkina S.A., Negoda L.L. Selection of water softening methods for operation of boiler houses and heating networks of Samara city and Samara region. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'nye tekhnologii: sbornik statey* [Traditions and innovations in construction and architecture. Building technologies: a

collection of articles]. Samara, SSTU, 2017, pp. 333–336. (in Russian).

10. Minkina S.A., Negoda L.L., Kurmaeva T.S. Influence of basic water quality indicators on softening method. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Estestvennye nauki i tekhnosferная bezopasnost'.* Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Traditions and innovations in construction and architecture. Natural sciences and technospheric safety. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Samara, SSTU, 2018. (in Russian).

11. Negoda L.L., Zhukova A.A., Klimenkov O.M. *Opreделение kachestva pit'evykh, prirodnnykh i stochnnykh vod* [Determination of drinking, natural and wastewater quality]. Samara, SGASU, 2009. 60 p.

12. Negoda L.L., Korzhev I.R. *Opreделение zhestkosti prirodnnykh vod i metody ikh umyagcheniya* [Determination of hardness of natural waters and methods of their softening]. Samara, SGASU, 2014. 34 p.

13. Negoda L.L., Kurmaeva T.S. Overview of the results of the analysis of the water of natural sources of the Samara region. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Traditions and innovations in construction and architecture. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Samara, SGASU, 2016, pp. 148–151. (in Russian).

14. Negoda L.L., Kurmaeva T.S. Chemical characteristic of the natural water of the Samara province from various sources. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Traditions and innovations in construction and architecture. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. Samara, SSTU, 2017. (in Russian).

15. Stas' M.F. *Spravochnik po obshchey i neorganicheskoy khimii* [General and Inorganic Chemistry Handbook]. Tomsk, TPU, 2011. 84 p.

16. Strelkov A.K., Egorova Yu.A., Bykova P.G. Selection of the most effective water treatment reagents. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitation], 2014, no. 8, pp. 5–9. (in Russian)

17. Chertes K.L., Zelentsov D.V., Safonova N.A., Pystin V.N., Malinovskiy A.S., Bikunova M.V. Treatment of sewage sludge of oil complex. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and construction], 2012, no. 2, pp. 159–166. (in Russian)

Об авторах:

МИНКИНА Светлана Абрамовна

старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: minkina.svetlana2011@yandex.ru

MINKINA Svetlana A.

Senior Lecturer of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: minkina.svetlana2011@yandex.ru

НЕГОДА Лариса Леонидовна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры общей неорганической химии Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: negll@yandex.ru

NEGODA Larisa L.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the General Inorganic Chemistry Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: negll@yandex.ru

КУРМАЕВА Татьяна Сергеевна

кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры общей неорганической химии Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: tatianasb@yandex.ru

KURMAYEVA Tatyana S.

PhD in Pedagogy, Associate Professor of the General Inorganic Chemistry Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: tatianasb@yandex.ru

Для цитирования: Минкина С.А., Негода Л.Л., Курмаева Т.С. Анализ эффективности методов умягчения воды из природных источников // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 44–49. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.07.

For citation: Minkina S.A., Negoda L.L., Kurmayeva T.S. Effectiveness Analysis of Softening Methods of Water from Natural Sources. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 44–49. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.07.

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

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ С ВЫСОКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЖИРОВ, НЕФТЕПРОДУКТОВ И ФЕНОЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ

**TREATMENT OF FOOD PRODUCTION WASTE WATER WITH A HIGH CONTENT
OF FATS, PETROLEUM PRODUCTS AND PHENOLIC IMPURITIES**

Технология пищевых производств в последние десятилетия подверглась значительным изменениям, были внесены кардинальные изменения в технологическую цепочку, что приводит к образованию сточных вод с более высокими концентрациями загрязнений по различным показателям. Большая часть предприятий пищевой промышленности расположена в селитебной зоне, что усложняет строительство очистных сооружений ввиду ограниченной территории. Предлагается биопрепарат для очистки сточных вод, который является сравнительно новым направлением в очистке сточных вод и широко не изучен. Выявлены значительные преимущества биопрепарата перед другими технологиями очистки. Сбор и анализ данных производился на маслоэкстракционном заводе в г. Безенчуке. Изучена схема производства и осуществлен отбор проб с различных участков производства. Представлена схема очистных сооружений, произведен отбор проб поступающих сточных вод и очищенных сточных вод. В лабораторных условиях был осуществлен подбор оптимальных доз биопрепарата на сточных водах цеха рафинации и поступающих сточных водах на очистные сооружения. Применение биопрепарата свидетельствует о перспективности его использования для интенсификации процессов очистки сточных вод, снижения уровня выделения неприятных запахов и повышения санитарной безопасности объектов канализационного хозяйства.

Ключевые слова: масложировые сточные воды, нефтепродукты, фенолы, биологический метод очистки

The technology of food production has undergone significant changes in recent decades. For this reason, considerable changes have also been made in the technological chain which resulted in the formation of wastewater with other concentrations of pollutants. As a lot of food industry enterprises are located in the residential area, it complicates the construction of treatment facilities, due to the limited territory. In this case, biological wastewater treatment can be recommended. This method of wastewater treatment is relatively new and has not yet been widely studied. This paper reveals significant advantages of bio-products over other purification technologies. The data was collected and analyzed at Bezenchuk oil extraction plant. The researchers studied its production scheme and collected samples from different parts of this production area. They further drew a diagram of treatment facilities and examined both incoming wastewater and treated wastewater. Then, in laboratory conditions, the dose ranging of bio-products was carried out while taking wastewater from the refining shop and wastewater coming to the treatment facilities. These experiments of bio-products application show the potential of their use for the intensification of wastewater treatment processes, for the reduction of the level of unpleasant odors and for improving sanitary safety of sewage facilities.

Keywords: oil and grease waste water, petroleum products, phenol, biological treatment

1. Методы очистки сточных вод пищевой промышленности

Технология производства предприятий пищевой промышленности значительно изменилась за последние десятилетия. Очистные сооружения были построены исходя из запатентованной ранее технологии производства. Большая часть предприятий пищевой промышленности расположена в селитебной зоне,

что усложняет строительство очистных сооружений ввиду ограниченной территории [1, 2]. Загрязненные сточные воды подвергают 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.

Изменения в технологии производства и ограниченная территория позволяют рассмотреть к применению препараты, не используемые ранее для очистки предприятий пищевой промышленности [3].

Для очистки сточных вод с высоким содержанием жиров наибольшее распространение на территории Российской Федерации получила схема, включающая жироловки, усреднители, установки напорной реагентной флотации, биологические очистные сооружения с аэротенками или биофильтрами [4].

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 40–45 %, а взвешенных веществ – на 40–50 % [5].

Частыми проблемами, выявленными на подобных станциях, является нестабильная работа установки физико-химической очистки в связи с отсутствием автоматизированных систем корректировки pH и дозирования коагулянта, а также неэффективная работа сооружений биологической очистки, требующая их модернизации для полного окисления органических веществ, нитрификации, денитрификации [6, 7].

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 дальнейшего использования в промышленности [8, 9]. Биомембранные технологии имеют высокую стоимость по сравнению с традиционными сооружениями. Применение мембранного биореактора возможно лишь при наличии аэротенков, которые в свою очередь уже обусловлены наличием санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и зоны санитарной охраны (ЗСО), т. е. расположение очистных сооружений до жилых застроек на расстоянии 400–1000 м [10–12].

В последнее время начали выпускать биопрепараты, адаптированные для использования в области водопроводно-канализационного хозяйства. Применение биопрепаратов для очистки сточных вод является новым методом очистки и имеет преимущества перед другими технологиями.

Биопрепарат представляет собой специально подобранную смесь из нескольких штаммов микроорганизмов, позволяющих быстро разлагать жировые, масляные и ор-

ганические загрязнения в сточных водах [13]. Он отличается от реагентов тем, что содержит культуры бактерий, которые по определению должны быть непатогенными и нетоксичными, поэтому их применение безопасно, экологично и не приводит к загрязнению образующихся осадков [13]. При попадании в питательную среду бактерии быстро поглощают субстрат в виде органических веществ, не оставляя патогенным микроорганизмам возможности для развития.

2. Сбор и анализ общих данных с объекта исследования

Технологические процессы предприятий пищевой промышленности требуют использования только питьевой воды, что практически исключает повторное использование очищенных сточных вод в собственном пищевом производстве [14, 15].

Объектом исследования является маслоэкстракционный завод в г. Безенчуке, на котором производился сбор и анализ общих данных.

Производство продукции осуществляется на следующих участках:

- рафинации и дезодорации;
- рушально-веечном;
- прессовом;
- экстракционном;
- грануляции шрота;
- розлива и склада хранения готовой продукции.

Производственные стоки предприятий масложировой отрасли содержат высокие концентрации органических загрязнений и существенно отличаются по составу от хозяйственно-бытовых сточных вод [16–19]. Особое внимание при очистке сточных вод следует уделять выделению из сточных вод ценных пищевых компонентов, которые при попадании в канализацию и водоемы на стадии разложения выделяют высокотоксичные продукты.

Осуществлен отбор проб с различных участков и проведены исследования в лабораторных условиях, которые показали следующие концентрации по различным показателям (табл.1).

Из табл. 1 можно сделать следующий вывод: выявлены значительные превышения по жирам в цехе рафинации и небольшие превышения по фенолам в экстракционном участке, по нефтепродуктам превышения отсутствуют.

Очистные сооружения Безенчукского маслоэкстракционного завода включают в себя:

- резервуар-усреднитель с насосным оборудованием и мешалками;
- флотационную установку;

- реагентное хозяйство (применяется реагент Praestol);
- напорный фильтр с песчаной загрузкой;
- сорбционный напорный фильтр;
- ленточный фильтр-пресс;
- емкость накопления фотошлама;
- емкость отфлотированной воды;
- резервуар чистой воды (РЧВ)

Был осуществлен отбор проб на входе и выходе с очистных сооружений Безенчукского маслоэкстракционного завода, и по 6 показателям были оценены поступающие сточные воды и очищенные сточные воды (табл. 2).

На основании полученных данных можно сделать вывод, что до норм ПДК водоема рыбохозяйственного назначения очистка не осуществлена.

3. Эксперименты с применением биопрепарата

Далее в лабораторных условиях была проведена серия опытов по подбору оптимальных доз биопрепарата. Диктующими показателями для оценки результатов исследования являлись: жиры, нефтепродукты, фенолы.

Исследование биодеструкции на сточных водах предприятий маслоэкстракционной промышленности производилось в лабораторных условиях. Точка отбора: цех рафинации – исходная концентрация жира 2224,0 мг/дм³.

Ожидания от результатов исследования были следующие: чем больше концентрация жиров, тем интенсивнее идет процесс биодеструкции (табл. 3).

Таблица 1

Концентрация стоков с различных технологических участков
маслоэкстракционного завода в г. Безенчуке

Показатель	Ед. изм.	Цех рафинации	ТЭЦ	Прессовой участок	Экстракционный участок
БПК-5	мгО ₂ /дм³	446±40	<0,5	<0,5	381±34
ХПК	мг/дм³	960±144	<4,0	<4,0	740±111
РН	ед. РН	6,0±0,2	8,6 ±0,2	7,5 ±0,2	7,1±0,2
Жиры	мг/дм³	2224,0	27,0±3	7,0±1,3	8,4±1,5
Нефтепродукты	мг/дм³	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Фенол	мг/дм³	-	0,040±0,012	0,050±0,015	0,068±0,021

Таблица 2

Концентрация поступающих сточных вод на очистные сооружения
маслоэкстракционного завода в г. Безенчуке

Показатель	Ед. изм	До очистки	После очистки
БПК-5	мг О ₂ /дм³	196±6	50±6
ХПК	мг/дм³	410±16	108±16
РН	ед. РН	7,3 ±0,2	6,9 ±0,2
Жиры	мг/дм³	326±3	38±3
Фенол	мг/дм³	<0,11	<0,0005
Нефтепродукты	мг/дм³	2,87±0,72	<0,0005

Таблица 3

Результаты применения биопрепарата Microbelift
с исходной концентрацией жиров 2224,0 мг/дм³

Дозировка биопрепарата, г/л	Жиры, мг/дм³
5	1526
8	1198
10	890
12	344
14	281
16	199

Таблица 4

Результаты применения биопрепарата Microbelift
с исходной концентрацией жиров 326 мг/дм³

Дозировка биопрепарата, г/л	Жиры, мг/дм ³	Нефтепродукты, мг/дм ³	Фенол, мг/дм ³
0,3	309	0,5	<0,01
0,5	277	<0,1	<0,01
0,7	151	<0,01	<0,001
1	75	<0,005	<0,0005
3	61	<0,005	<0,0005
6	54	<0,005	<0,0005
10	35	<0,005	<0,0005
12	22	<0,005	<0,0005
15	14	0,5	<0,01
17	6,8	<0,1	<0,01

Следующая точка отбора: резервуар-усреднитель перед очистными сооружениями, исходная концентрация жира 326 мг/дм³. Важно отметить, что эксперимент проведен в статических условиях без накопления/наращивания биомассы, отсутствуют дополнительные сооружения очистки (табл. 4).

На основании полученных данных можно сделать следующие **выводы**:

1. Применение биопрепарата для очистки сточных вод с высоким содержанием жиров, нефтепродуктов и фенольных примесей показало высокий эффект очистки. Нормативы допустимого сброса в городскую канализацию были достигнуты в статических условиях без применения дополнительных способов очистки. Комплексное воздействие биопрепарата и экологичность обуславливают высокую перспективность его использования.

2. Данную схему очистки можно применять на предприятиях любого пищевого производства на территории Российской Федерации, расположенного в селитебной зоне и требующего разработки компактных очистных сооружений для соблюдения ЗСО и СЗЗ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90026.

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number № 20-35-90026.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Файнберг Е.Е., Товбин И.М., Луговой А.В. Технологическое проектирование жироперерабатывающих предприятий. М.: ЛиПП, 1983. 416 с.
2. Данилович Д.А., Максимова А.А. Современные решения по очистке сточных вод // Молочная промышленность. 2011. № 8. С. 73–77.

3. Надысев В.С. Очистка сточных вод предприятий масложировой промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1976. 132 с.

4. Товбин М., Файнберг Е.Е. Технологическое проектирование жироперерабатывающих предприятий. М.: Пищевая промышленность, 1965. 516 с.

5. Видякин М.Н., Гарипова С.А. Особенности внедрения мембранных биореакторов для обработки сточных вод // Экология производства. 2014. № 11. С. 61–68.

6. 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.

7. Катраева И.В. Современные анаэробные аппараты для очистки концентрированных сточных вод // Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. 2011. № 2. С. 179–184.

8. Воронов Ю.В. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений. М.: Стройиздат, 1990. 224 с.

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.Н., Морозова К.М. Биологическая очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. М.: Издательство АСВ, 2017. 204 с.

11. Stephenson T., Judd, S., Jefferson B., Brindle K. Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. London. U.K: IWA Publishing, 2000.

12. Visvanathan R. Ben Aim K. Parameshwaran/ Membrane separation bioreactors for wastewater treatment/ Crit. Rev. Environ. SciTechnol. 2000 V. 30 (1). P. 1–48.

13. Киристаев А.В. Очистка сточных вод в мембранном биореакторе: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. М., 2008. 24 с.

14. Блинов В. А. Пробиотики в пищевой промышленности и сельском хозяйстве. Саратов : ИЦ Наука, 2011. 171 с.

15. Степанов С.В., Стрелков А.К., Швецов В.Н., Морозова К.М. Биологическая очистка сточных вод нефтеперерабатывающих заводов. М.: Издательство АСВ, 2017. 204 с.

16. Быстранова А.О., Теплых С.Ю., Теплых Е.А. Очистка сточных вод масложировой промышленности // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 4. С. 24–28. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.5.

17. Теплых С.Ю. Очистка масло- и жирсодержащих сточных вод: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.04. Самара, 2000. 154 с.

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

19. Стрелков А.К., Теплых С.Ю., Горшкालёв П.А., Саргсян А.М. Разработка установки для очистки сточных вод // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 1. С. 52–57. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.01.9.

20. Вялкова Е.И., Сидоренко О.В., Глуценко Е.С. Влияние пробиотических средств на качество очистки сточных вод предприятий молочной промышленности // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 1. С. 47–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.7.

REFERENCES

1. Feinberg E.E., Tovbin I.M., Lugovoy A.V. *Tehnologicheskoe proektirovanie zhiropererabatyvayushhih predpriyatij* [Technological design of fat-processing enterprises]. Moscow, Light and Food Industry Publishing House, 1983. 416 p.

2. Danilovich D.A., Maximova A.A. Modern solutions for wastewater treatment. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 2011, no. 8, pp. 73–77. (in Russian)

3. Nadysev V.S. *Ochistka stochnykh vod predpriyatij maslozhirovoj promyshlennosti* [Wastewater treatment of oil and fat industry enterprises]. Moscow, Food industry, 1976. 132 p.

4. Tovbin I.M., Feinberg E.E. *Tehnologicheskoe proektirovanie zhiropererabatyvayushhih predpriyatij* [Technological design of fat-processing enterprises]. Moscow, Food industry, 1965. 516 p.

5. 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)

6. Likhachev N.I., Larin I.I., Haskin S.A. *Kanalizatsiya naselennykh mest i promyshlennykh predpriyatij* [Drainage of populated areas and industrial enterprises]. Moscow, Stroiizdat, 1981. 639 p.

7. 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, pp. 179–184. (in Russian)

8. Voronov Yu.V. *Rekonstruktsiya i intensifikatsiya raboty kanalizatsionnykh ochistnykh sooruzhenij* [Reconstruction and intensification of sewage treatment plants]. Moscow, Stroiizdat, 1990. 224 p.

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 neftepererabatyvayushhih zavodov* [Biological wastewater treatment of oil refineries Scientific publication]. Moscow, DIA Publishing House, 2017. 204 p.

11. Stephenson T., Judd S., Jefferson B., Brindle K.T. *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*. London, IWA Publishing, 2000.

12. Visvanathan C., Aim R. Ben, Parameshwaran K. Membrane separation bioreactors for wastewater treatment Crit. Rev. Environnement SciTechnol, 2000, no. 30 (1), pp. 1–48.

13. Kiristaev A.V. *Ochistka stochnykh vod v membrannom bioreaktore. Kand. Diss.* [Wastewater treatment in a membrane bioreactor, Cand. Diss.]. Moscow, 2008. 24 p.

14. Blinov V. A. *Probiotiki v pishhevoj promyshlennosti i sel'skom hozjajstve*. [Probiotics in food industry and agriculture.]. Saratov, Nauka, 2011. 171 p.

15. Stepanov S.V., Strelkov A.K., Shvetsov V.N., Morozova K.M. *Biologicheskaya ochistka stochnykh vod neftepererabatyvayushhih zavodov* [Biological wastewater treatment of oil refineries Scientific publication] Moscow: DIA Publishing House, 2017. 204 p.

16. Bystranova A.O., Teplykh S.Yu., Teplykh E.A. Cleaning of oil-containing wastewater. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Constructi on and Architecture], 2018, vol. 8, no. 4, pp. 24–28. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.5. (in Russian)

17. Teplykh S Yu *Ochistka maslo- i zhirsoderzhashhih stochnykh vod.*, Kand. Diss. [Treatment of oil- and fat-containing wastewater, Cand., Diss.]. Samara, 2000. 154 p.

18. Kichigin V.I., Zemlyanova M.V., Vyalkova E.I. Study of the possibility of using microwave radiation for the treatment of liquid municipal waste. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Constructi on and Architecture], 2018, vol. 8, no. 1, pp. 44–49. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.8. (in Russian)

19. Strelkov A.K., Teplykh S.Yu., Gorshkalev P.A., Sargsyan A.M. Design of wastewater treatment unit. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Constructi on and Architecture], 2017, vol. 7, no. 1, pp. 52–57. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.01.9. (in Russian)

20. Vialkova E.I., Sidorenko O.V., Glushenko E.S. Influence of probiotic products on the quality of wastewater treatment in dairy industries. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 1, pp. 47–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.7. (in Russian)

Об авторах:

СТРЕЛКОВ Александр Кузьмич

доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой водоснабжения и водоотведения
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: a19400209@yandex.ru

БАЗАРОВА Анастасия Олеговна

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

ТЕПЛЫХ Светлана Юрьевна

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

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
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: a19400209@yandex.ru

BAZAROVA Anastasya O.

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

TEPLYH Svetlana Yu.

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

Для цитирования: Стрелков А.К., Базарова А.О., Теплых С.Ю. Очистка сточных вод пищевых производств с высоким содержанием жиров, нефтепродуктов и фенольных примесей // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 50–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.08.

For citation: Strelkov A.K., Bazarova A.O., Teplykh S.Yu. Treatment of Food Production Waste Water with a High Content of Fats, Petroleum Products and Phenolic Impurities. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 50–55. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.08.

Е. Ю. ТУКТАШЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПИВОВАРЕННЫХ ЗАВОДОВ**STUDY OF EFFICIENCY OF PRE-REAGENT TREATMENT OF WASTE WATER FROM BREWERY**

Целью работы являлось определение эффективности реagentной обработки сточных вод пивоваренных заводов. Объектом исследования служили сточные воды пивоваренного завода г.Самары. Для достижения поставленной цели проводилось пробное коагулирование исходной сточной воды пивоваренного завода с применением шести различных реагентов. В ходе эксперимента были определены оптимальные дозы каждого коагулянта. Экспериментальным путем установлено, что максимальная эффективность коагуляции составила 34% по ХПК. Сравнительные результаты реagentной обработки различными коагулянтами показали, что увеличение дозы реагента свыше 150 мг/л по Me_2O_3 не приводило к повышению эффективности очистки, однако при этом значительно возрастала стоимость очищенной воды. Результаты исследования использованы при разработке схемы очистки пивоваренного завода г. Самары.

Ключевые слова: канализационные очистные сооружения, сточные воды, пивоваренный завод, реagentная обработка, коагулянт

The purpose of this research was to determine the effectiveness of the reagent treatment of wastewater from breweries. The object of the study was the wastewater of the Samara brewery. To achieve this goal, a trial coagulation of the original wastewater of the brewery was carried out using six different reagents. During the experiment, the optimal doses of each coagulant were determined. It was found experimentally that the maximum efficiency of coagulation was 34 % in terms of COD. Comparative results of the reagent treatment with various coagulants showed that an increase in the reagent dose over 150 mg / l in terms of Me_2O_3 did not lead to an increase in the purification efficiency, however, the cost of purified water significantly increased. The research results were used in the development of a cleaning scheme for the brewery in Samara.

Keywords: sewerage treatment facilities, waste water, post-treatment, reagent treatment, coagulant

Введение

Пиво – это безалкогольный напиток, полученный путем алкогольного брожения с использованием отобранных дрожжей рода *Saccharomycus* из сусла, приготовленного из солодовых злаков, в основном ячменя, а также другого сырья, к которому были добавлены хмелевые цветы или их производные и надлежащим образом подготовленная вода.

Местами образования сточных вод выступают все технологические участки и этапы производства. Состав и концентрация загрязнений на различных производственных этапах отличаются. Основные этапы производства и соответственно места образования загрязнений – это мытье и замачивание сырья, его проращивание, мойка оборудования, варочных котлов, бродительных чанов, сброса кизельгура. Также сточные воды образуются в результате процесса розлива и охлаждения сусла и пива и от других технологических процессов.

Наиболее загрязненными считаются сточные воды, образующиеся при подготовке зерна,

сбросе отработанного хмеля и промывке пивных дрожжей перед введением в сусло. Их концентрация составляет: рН=6,0-7,0, взвешенные вещества – 100-400 мг/л, БПК_{полн} 400-1000 мг/л, ХПК 600-1200 мг/л [1]. Однако результаты, полученные автором в ходе работы по исследованию эффективности предварительной реagentной обработки сточных вод пивоваренного завода г. Самары, отличаются от известных литературных данных (табл. 1).

При высоких показателях органических загрязнений наблюдается дефицит азота и фосфора для проведения глубокой биологической очистки. В табл. 1 приведены данные по концентрациям сточных вод некоторых зарубежных и российских пивоваренных производств.

Как можно видеть из приведенных в табл. 1 данных, сточные воды пивоваренных производств имеют очень высокую концентрацию органических веществ при недостатке азота и фосфора. В случае аварийного сброса ХПК может превышать 11000 мг/л. Одной из проблем являются колебания рН ввиду различных технологи-

Таблица 1

Данные по загрязнениям

Показатель	«Городцовское пиво», пос. Городцовка, СО, Россия	«Первый пивоваренный завод», г. Алма-Аты, Казахстан	«Шымкент-пиво», г. Шымкент, Казахстан
ХПК, мгО/л	5150	4893	3456
БПК _{полн} , мгО/л	3020	3527	1988
Взвешенные вещества, мг/л	1768	1592	566
Фосфаты, мг/л	56,9	43	11
Азот аммонийный, мг/л	16,6	19	28

ческих процессов, в том числе и СІР-мойки (Clean In Place). Тенденция современных производств – это повторное использование сточных вод и снижение негативного воздействия на окружающую среду [2–4]. Однако не всегда есть возможность 100 % повторного использования сточных вод и часть из них направляется на сброс. В случае с пивзаводами это, как правило, сброс на городские очистные сооружения. В соответствии с нормативами приема сточных вод требуется очистка в первую очередь от органических загрязнений. Целью настоящей работы являлось исследование эффективности предварительной реагентной обработки сточных вод пивоваренных заводов. Для этого автором были поставлены и решены следующие задачи: определение зависимости эффективности снижения ХПК от дозы реагента с использованием различных коагулянтов; определение целесообразности использования предварительного коагулирования на сточных водах пивзавода. Объектом исследования являлись сточные воды пивоваренного завода г. Самары.

Коагулянты подразделяются на органические и неорганические. Группа органических коагулянтов включает в себя низкомолекулярные водорастворимые полимеры, такие как полиамиды, дициандиамидные и меламиноформальдегидные смолы, полиДАДМАХ. Эти коагулянты очень эффективны, практически не изменяют рН, однако при этом они имеют высокую стоимость и круг их производителей весьма ограничен.

Неорганические коагулянты более распространены, что обусловлено их универсальностью в применении и относительно низкой стоимостью. Данная группа коагулянтов представлена солями алюминия, железа и их смеси, значительно реже используются соли магния, титана, цинка [5, 6].

Материалы и методы

В ходе настоящего исследования было использовано шесть коагулянтов. Данные по примененным реагентам приведены в табл. 2.

Из железосодержащих коагулянтов применяют в основном хлорид железа, сульфат железа (III). Реагент FeCl_3 представляет собой мелкие кристаллы фиолетового цвета с темно-зеленым оттенком с металлическим блеском. Данное вещество очень гигроскопично и поэтому чаще встречается в форме кристаллогидрата $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Соли железа обеспечивают наилучшую коагуляцию при рН 3,5–6,5 или 8,0–11,0, что является их преимуществом. Коагулянт хорошо работает даже при низких температурах воды. Минусом данного реагента можно считать необходимость точной дозировки, так как избыток коагулянта способен приводить к значительному росту концентраций катионов и соединений железа в очищенной воде [5].

Сульфат алюминия выпускается трех сортов. Сульфат алюминия высшего сорта – это белое сыпучее вещество с содержанием Al_2O_3 не менее 16 %. Данный коагулянт хорошо работает при рН 5–7,5. Однако он чувствителен к изменению рН и температуры воды. При этом коагулянт имеет невысокую стоимость, достаточно прост в обращении, имеет практически неограниченный срок хранения и хорошо растворим, что особенно важно при промышленной эксплуатации. На сегодняшний день это один из самых популярных коагулянтов [7].

Оксихлорид алюминия (ОХА) (другие названия – полиалюминий гидроксид, хлоргидроксид алюминия, основной хлорид

Таблица 2

Сведения по примененным реагентам

Реагент	Основное вещество по Me_2O_3 , %
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	17
Аква-Аурат 10М	10
Аква-Аурат 14	12
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	19,5
ЭПОХА Марка 4	23,5
Аква-Аурат 30	30

алюминия) можно представить в виде общей формулы $Al_n(OH)_m Cl_{3n-m}$, наиболее частый вид $Al_2(OH)_5 Cl \cdot 6H_2O$. Такой тип коагулянтов на сегодняшний день является одним из наиболее эффективных, может применяться при низких температурах, обладает различной, в т. ч. низкой кислотностью и широким диапазоном pH. Содержание остаточного алюминия после обработки вод ОХА значительно ниже, чем при использовании сульфата алюминия [8].

Коагулянты – ОХА торговой марки АКВА-АУРАТ™ 10М, АКВА-АУРАТ™ 13М, АКВА-АУРАТ™ 14М, АКВА-АУРАТ™ 15М, АКВА-АУРАТ™ 18М, АКВА-АУРАТ™ 102М, АКВА-АУРАТ™ 105М, АКВА-АУРАТ™ 110М, содержат сульфат алюминия, полиоксихлорид алюминия Аква-Аурат™-18 и флокулянт полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПолиДАД-МАХ) [9].

Оксихлорид алюминия производства Аква-Аурат отличается, прежде всего, по физико-химическим свойствам и, в первую очередь, по основности. Основность реагентов производства Аква-Аурат в зависимости от типа и формы выпуска (жидкий или твердый) находится в диапазоне от 25 до 83 %. Диапазон доз различных коагулянтов был выбран от 10 до 175 мг/л по Me_2O_3 . Коагулянты в виде 5 %-го раствора вводились в исходные сточные воды после корректировки pH исходной воды до значения 7,4. Исследования проводились на исходной сточной воде при значениях ХПК=4475 мг/л.

При проведении пробного коагулирования с использованием кристаллических реагентов приготавливали раствор 100 г/л по товарному

продукту с использованием дистиллированной воды. Жидкие реагенты дозировали в виде товарных растворов. В цилиндры объемом 1000 мл добавляли 500 мл сточной воды. После добавления коагулянта сточную воду сначала интенсивно перемешивали в течение 10 с со скоростью 300 об/мин, затем медленно перемешивали в течение 60 с со скоростью 100 об/мин. Далее сточная вода отстаивалась в течение 30 мин и отбиралась для проведения анализов.

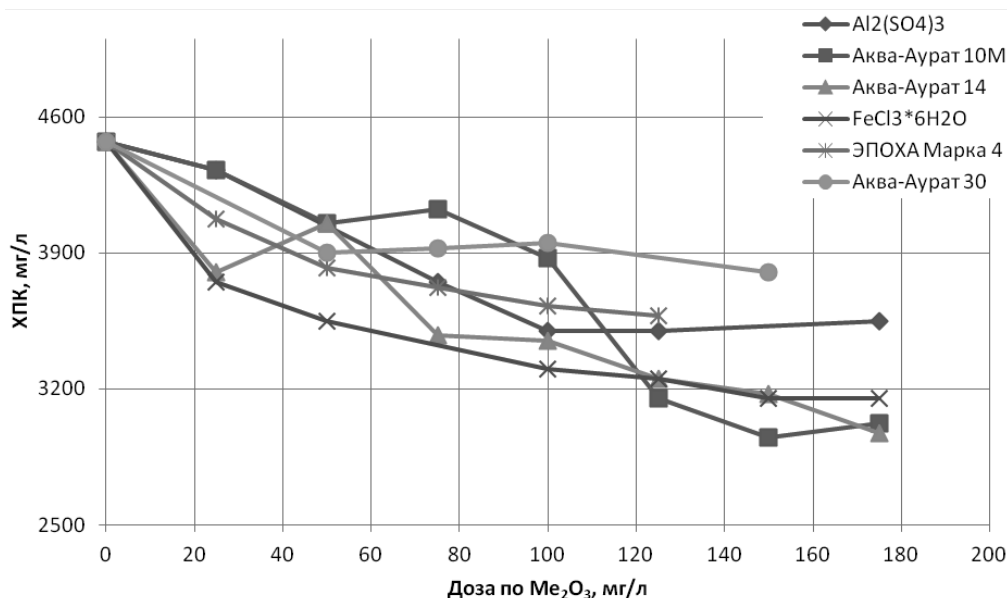
Результаты и обсуждение

Результаты пробного коагулирования на исходных сточных водах пивоваренного завода и исследование эффективности работы коагулянтов приведены на рисунке и в табл. 3. В ходе эксперимента было выполнено 50 опытов с различными дозами коагулянтов.

Таким образом, в ходе эксперимента были определены оптимальные дозы каждого из коагулянтов и максимально возможное снижение ХПК сточных вод.

Как видно из таблицы, наиболее эффективными оказались следующие дозы реагентов: $Al_2(SO_4)_3$ при дозе 100 мг/л (здесь и далее дозы по Me_2O_3) – снижение ХПК составило 21,79 %; Аква-Аурат 10М при дозе 150 мг/л – снижение ХПК 34,08 %; Аква-Аурат 14 при дозе 175 мг/л снижение ХПК 33,52 %; $FeCl_3$ при дозе 150 мг/л снижение ХПК 29,61 %; ЭПОХА Марка 4 при дозе 125 мг/л снижение ХПК 20,11 %; Аква-Аурат 30 при дозе 150 мг/л снижение ХПК 15,08 %.

Максимальная эффективность снижения ХПК составила 34,08 % у Аква-Аурат 10М при достаточно высокой стоимости за $1m^3$ обрабо-



Зависимость результатов пробного коагулирования от дозы используемого коагулянта

Таблица 3

Оптимальные дозы коагулянтов и снижение ХПК

Реагент	№	Доза коагулянта, мг/л по Me_2O_3	pH	ХПК, мг/л	Фосфор фосфатов	Стоимость, руб./м ³
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	1	25	6,32	4325	10,45	1,77
	2	75	5,81	3750	0,02	5,30
	3	100	5,47	3500	0,00	7,06
	4	125	4,71	3500	0,00	8,83
	5	175	3,83	3550	0,00	12,36
Аква-Аурат 10М	1	25	6,93	4325	13,10	3,75
	2	50	6,84	4050	8,89	7,5
	3	75	6,75	4125	6,76	11,25
	4	100	6,65	3875	3,69	15
	5	125	6,5	3150	1,46	18,75
	6	150	6,35	2950	0,00	22,5
	7	175	6,27	3025	0,00	26,25
Аква-Аурат 14	1	25	6,81	3800	13,50	1,87
	2	50	6,46	4050	7,51	3,75
	3	75	6,25	3475	3,03	5,62
	4	100	5,94	3450	0,54	7,49
	5	125	5,67	3250	0,44	9,36
	6	150	5,37	3175	2,23	11,24
	7	175	4,92	2975	1,92	13,11
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1	25	6,52	3750	11,35	0,51
	2	50	6,28	3550	8,51	1,02
	3	100	5,92	3300	1,65	2,03
	4	125	5,71	3250	0,00	2,54
	5	150	5,5	3150	0,00	3,05
	6	175	5,09	3150	0,00	3,55
ЭПОХА Марка 4	1	25	5,18	4075	15,52	4,25
	2	50	5,44	3825	12,31	8,50
	3	75	5,25	3725	11,52	12,75
	4	100	5,29	3625	7,59	17,00
	5	125	5,16	3575	6,09	21,25
Аква-Аурат 30	1	50	5,12	3900	0,00	6,50
	2	75	4,89	3925	0,00	9,75
	3	100	4,5	3950	0,00	13,00
	4	150	3,96	3800	0,00	19,50

танной сточной воды, равной 22,5 руб. Однако при этом применение данного реагента дает почти нейтральную среду. Аква-Аурат 14М показывает также неплохую эффективность снижения ХПК по сравнению с другими примененными реагентами – 33,52 %, однако при этом он значительно понижает рН обрабатываемого стока – до 4,92. Стоимость применения реагента Аква -Аурат 14М составляет 13,11 руб./м³. Наиболее экономичным оказался хлорид железа, стоимость обработки составила 3,05 руб./м³, но при этом рН снижается сильнее, чем при использовании Аква-Аурат 10М. Сульфат алюминия при эффективности очистки по ХПК 21,79 % оказался на четвертом месте и вторым после хлорида железа по стоимости за 1 м³ обработанного стока, равной 7,06 руб.

Исходя из приведенных данных видно, что в ходе реагентной обработки происходит снижение рН воды и содержания фосфора, который необходим для последующего протекания процессов биологической очистки. Снижение рН сточных вод вызывает необходимость повторной корректировки рН для обеспечения последующего процесса биологической очистки.

Из рисунка и табл. 3 видно, что повышение дозы реагента более оптимальных доз не приводит к существенному росту степени очистки.

Исходя из вышеизложенного, целесообразность коагуляции перед проведением биологической очистки может быть установлена технико-экономическим расчетом.

Выводы. 1. Экспериментальным путем установлено, что наиболее эффективными оказались Аква-Аурат 10М при дозе 150 мг/л – снижение ХПК 34,08% при стоимости 22,5 руб./м³; Аква-Аурат 14 при дозе 175 мг/л снижение ХПК 33,52 % при стоимости 13,11 руб./м³; FeCl₃ при дозе 150 мг/л снижение ХПК 29,61 % при наиболее низкой стоимости по сравнению с другими реагентами, равной 3,05 руб./м³ обрабатываемого стока.

4. Увеличение дозы вводимого реагента более 150 мг/л по Me₂O₃ не вызвало повышения эффективности снижения ХПК независимо от применяемого реагента.

5. Предварительное коагулирование требует корректировки рН для обеспечения протекания процессов последующей биологической очистки и приводит к росту капитальных и эксплуатационных затрат, связанных с устройством дополнительного узла приготовления и дозирования реагента.

6. Применение реагентной обработки до биологической очистки приводило к снижению концентрации соединений фосфора, что при его недостатке в исходной воде, наряду с азотом, вызывает необходимость дополнительного до-

зирования фосфора при использовании на последующих этапах биологической очистки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов А.В., Мусаева Н.М., Булычев Э.Ю. Экологические проблемы переработки отходов пивоваренной промышленности // Известия Вузов. Пищевая технология. 2003. № 5–6. С. 132–133.
2. Шувалов М.В. Системный анализ эволюции нормативных требований к составу и свойствам сточных вод при сбросе в поверхностные водные объекты // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, №2. С. 43–56. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.7.
3. Вялкова Е.И., Сидоренко О.В., Глушенко Е.С. Влияние пробиотических средств на качество очистки сточных вод предприятий молочной промышленности // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, №1. С. 47–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.7.
4. Вильсон Е.В., Серпокрылов Н.С., Долженко Л.А. Устойчивость функционирования очистных сооружений водоотведения в критических ситуациях // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №1. С.54–58. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.10.
5. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П., Гетманцев С.В. Коагуляция в технологии очистки природных вод. М., 2005. 576 с.
6. Пазенко Т.Я., Колова А.Ф. Обработка промывных вод фильтров водоподготовки // Известия вузов. Строительство. 2010. № 9. С. 65–68.
7. Качалова Г.С., Пешева А.В., Зосуль О.И., Настенко А.О. Выбор современных реагентов, определение их доз для снижения мутности промывных вод скорых фильтров с целью их оборотного использования // Водные ресурсы и ландшафтно-усадебная урбанизация территорий России в XXI веке: 17-я Международная научно-практическая конференция. Тюмень: ТюмГАСУ. 2015. Т.1. С. 87–93.
8. Коева А.Ю., Максимова С.В., Качалова Г.С. Обработка промывных вод станции водоподготовки города Курган на реке Тобол // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5. С. 47–50.
9. Электронный ресурс <http://www.aurat.ru/product/807-akvaaurat-10m-13m-14m/>

REFERENCES

1. Belov A.V., Musaeva N.M., Bulychev E. Yu. Ecological problems of processing waste from the brewing industry. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [Food technology], 2003, no. 5-6, pp. 132-133. (in Russian)
2. Shuvalov M.V. System analysis of normative requirements evolution in terms of composition and characteristics of sewage discharged into surface water bodies. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol.10, no. 2, pp. 43-56. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.7. (in Russian)
3. Vialkova E.I., Sidorenko O.V., Glushenko E.S. Influence of probiotic products on the quality of waste water treatment in dairy industries. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architec-

ture], 2020, vol.10, no. 1, pp. 47–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.7. (in Russian)

4. Vilson E.V., Serpokrylov N.S., Dolzhenko L.A. Sustainable operation of the sewage works in critical situations. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, vol. 8, no. 1, pp. 54–58. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.10. (in Russian)

5. Draginsky V.L., Alekseeva L.P., Getmantsev S.V. *Koagulyaciya v tekhnologii ochistki prirodnih vod* [Coagulation in technology of natural water purification]. M., 2005. 576 p.

6. Pazenko T. Ya., Kolova A.F. Treatment of wash water of water treatment filters / T. Ya. Pazenko and AF Kolova. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [Proceedings of universities. Construction], 2010, no. 9, pp. 65–68. (in Russian)

7. Kachalova G.S., Pesheva A.V., Zosul O.I., Nastenkov A.O. Selection of modern reagents, determination of their doses to reduce the turbidity of rinsing water of high-speed filters for the purpose of their recycling. *Vodnye resursy i landshaftno-usadebnaya urbanizaciya territorij Rossii v XXI veke: 17-ya Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya* [17th International Scientific and Practical Conference "Water Resources and Landscape-Estate Urbanization of Russian Territories in the XXI Century"]. Tyumen, TyumGASU, 2015, vol. 1, pp. 87–93. (in Russian)

8. Koeva A. Yu., Maksimova S. V., Kachalova G. S. Treatment of wash water at the water treatment station of the city of Kurgan on the Tobol River. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high-tech technologies], 2014, no. 5, pp. 47–50. (in Russian)

9. Aqua-Aurat 10M, 13M, 14M. Available at: <http://www.aurat.ru/product/807-akvaaurat-10m-13m-14m/>

Об авторе:

ТУКТАШЕВА Екатерина Юрьевна

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 директор ООО «Объединенные Системы Водочистки» 443030, Россия, г. Самара, ул. Урицкого, 10, тел. (846)205-99-55 E-mail: osv_samara@mail.ru

TUKTASHEVA Ekaterina Yu.

Postgraduate Student of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 Director LLC «Ob"edinennye Sistemy Vodochistki» 443030, Russia, Samara, Uritskogo, 10, tel. (846)205-99-55 E-mail: osv_samara@mail.ru

Для цитирования: Тукташева Е.Ю. Исследование эффективности предварительной реагентной обработки сточных вод пивоваренных заводов // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 56–61. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.09.

For citation: Tuktasheva E.Yu. Study of Efficiency of Pre-reagent Treatment of Wastewater from Brewery. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 56–61. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.09.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА



УДК 625. 711. 1. 098

DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.10

О. Г. ОРЛОВ

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ РАЗЛИЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF ACOUSTIC SCREENS OF DIFFERENT DESIGNS

Рассмотрены источники шума в городах и способы борьбы с ними. Проведён анализ эффективности двух типов акустических экранов: однослойных, двух- и трёхслойных. Перечислены положительные и отрицательные характеристики различных конструкций существующих акустических экранов. Описана принципиально новая конструкция акустического экрана: панели имеют коньковый профиль, они расположены вдоль вертикальной оси каркаса с шагом, при котором панели вышерасположенного конька накрывают вершину нижерасположенного конька, наружные поверхности панелей и их торцовые части выполнены из материала, обладающего звукоотражающими свойствами, а внутренние поверхности панелей – из звукопоглощающего материала. Такой акустический экран лишён недостатков, присущих акустическим экранам других конструкций, и является более эффективным. Рассмотренное устройство позволяет за счёт применения коньковой формы акустических панелей: предотвратить отражение звуковой энергии в сторону источников шума (незначительная часть будет направлена вверх); обеспечить практически полностью поглощение звуковой энергии при её прохождении через каналы, образованные коньковыми панелями; обеспечить одинаковую эффективную защиту от источников шума, расположенных по обе стороны экрана; предотвратить образование снежной и ледяной корки на звукопоглощающих поверхностях, что обеспечит постоянную эффективность экрана в различные сезоны года; сократить расход металла, что позволит уменьшить вес конструкции без снижения её эффективности и снизить стоимость акустических экранов.

Ключевые слова: город, источники шума, способы борьбы, акустические экраны, эффективность, недостатки, преимущества новой конструкции, высокая эффективность

Various sources of noise in cities and ways to combat them are considered. The efficiency of two types of acoustic screens is analyzed: single-layer and two- and three-layer. The positive and negative characteristics of various designs of existing acoustic screens are listed. A fundamentally new design of the acoustic screen is described: the panels have a ridge profile, they are located along the vertical axis of the frame with a step at which the panels above the located ridge cover the top of the lower ridge, the outer surfaces of the panels and their end parts are made of a material that has sound-reflecting properties, and the inner surfaces of the panels are made of sound-absorbing material. Such an acoustic screen is devoid of the disadvantages inherent in acoustic screens of other structures and is more efficient. The considered invention allows due to the use of the ridge shape of acoustic panels: prevent the reflection of sound energy in the direction of noise sources (a small part will be directed upwards); provide almost complete absorption of sound energy as it passes through the channels formed by the ridge panels; provide the same effective protection against noise sources located on both sides of the screen; prevent the formation of snow and ice crust on sound-absorbing surfaces, which ensures the constant effectiveness of the screen in different seasons of the year; reduce metal consumption, which will reduce the weight of the structure without reducing its efficiency and reduce the cost of acoustic screens.

Keywords: city, noise sources, methods of control, acoustic screens, efficiency, disadvantages, advantages of a new design, high efficiency

Современный город должен обеспечивать высокий уровень комфортности для его жителей. Комфортность городской среды определяется широким спектром её параметров, соответствующих санитарным требованиям. Основными параметрами являются качество воды, степень загрязнения воздуха и шумовое загрязнение городской среды [1–3]. Учитывая современные возможности обеспечения жителей качественной водой, на первом месте стоит проблема предотвращения загрязнения городского воздуха, а на втором в современном городе – шумовое загрязнение. Проблема защиты населения от шума существует в той или иной степени для любого населённого пункта, но особенно она значима для крупных городов. Сложность решения этой проблемы определяется большим разнообразием источников шума: транспортные магистрали, строительные площадки, автостоянки, контейнерные площадки, трансформаторные подстанции, спортивные и детские площадки и т. д. Каждый из этих источников шума имеет свою специфику: по частотному диапазону, по времени звучания, по месту локализации и пр. В частности, спортивные и детские площадки размещаются в жилой застройке, так же как и строительные площадки [4, 5].

Существуют различные способы снижения шумового воздействия на население. Это и административные решения (регулирование транспортных потоков), борьба с шумом в источнике (снижение шумности оборудования, технологических процессов, автомобильного и других видов транспорта, улучшение качества дорожного покрытия), снижение шума на пути его распространения (расстоянием, различными препятствиями). В городах защита от шума расстоянием экономически не целесообразна. В качестве препятствий могут быть использованы зелёные насаждения, здания-экраны, акустические экраны и т. д.

Зелёные насаждения, для того чтобы они выполняли шумозащитные функции, должны соответствовать определённым требованиям: многоярусность, многорядность, достаточная ширина (от 10 м и больше). Существенным недостатком, кроме требований по ширине зелёных насаждений, является сезонная эффективность. Только в летний период их эффективность снижения шума значима.

Здания-экраны могут эффективно защищать только от шума транспортных магистралей. В качестве таковых используются здания нежилого назначения и шумозащищённые жилые здания, располагающиеся по красной линии улиц.

В городах более универсальны и эффективны акустические экраны различной кон-

струкции. Основными параметрами экрана, определяющими его эффективность, являются его высота и длина. Высотой создается зона акустической тени, снижающая эффект дифракции через верхнее ребро, в то время как длина выбирается таким образом, чтобы обеспечить затухание звука, проникающего через боковую грань акустического экрана. В условиях городской застройки невозможно использовать экраны высотой более 3–5 м.

Все акустические экраны по типу применяемого материала с отражающими или поглощающими свойствам можно разбить на две группы:

- однослойные (отражающие);
- двух- или трехслойные (как правило, поглощающие).

В первой группе акустические экраны отражают звуковую энергию, а во второй в их конструкции, наряду с отражающими свойствами, обеспечено звукопоглощение.

Акустические экраны, принадлежащие к первой группе, изготавливаются из бетона, кирпича, металла, пластика, стекла и пр. Основные свойства этих экранов – отражающие, коэффициент $\alpha = 0,01–0,05$, они имеют меньшую эффективность, чем акустические экраны со звукопоглощающими материалами. Применение таких экранов приводит к повышению уровней шума на противоположной стороне за счёт отражённого шума. При размещении таких экранов с двух сторон от автомагистрали происходит увеличение уровней шума на магистрали и, как следствие, снижение эффективности экранов на 1–5 дБА [6].

Невозможно создать однослойный акустический экран, совмещающий требуемые прочностные свойства и приемлемое звукопоглощение, поэтому приходится усложнять их конструкцию за счёт введения специальных звукопоглощающих материалов (ЗПМ), значения коэффициента звукопоглощения которых варьируются в пределах $\alpha = 0,5–1$. Такие акустические экраны можно разбить на два типа: металлические трехслойные, где ЗПМ располагается между сплошными и перфорированными металлическими слоями, и бетонные двухслойные, где в качестве поглощающего слоя применяются полистербетон, пенобетон и пр. Эффективность таких экранов определяется ещё одним показателем – звукоизоляцией экрана, которая определяется поверхностной плотностью конструкции. Так, при плотности в 17 кг/м^2 снижение звука конструкцией составит 10 дБА, при поверхностной плотности в 39 кг/м^2 – 24 дБА [6]. Стандартная трехслойная панель площадью 5 м^2 при поверхностной плотности в 39 кг/м^2 будет весить 195 кг. Выполнение

этих требований приводит к увеличению расхода металла и к значительному удорожанию конструкций.

В качестве ЗПМ в трехслойных акустических экранах применяют такие материалы, как URSA, шлаковата, капроновое волокно, стекловата, пенополиуретан и другие пористые или волокнистые материалы. Перфорация в трехслойных акустических экранах обеспечивает проникновение звука к слою ЗПМ. Конструктивно перфорация может применяться в виде щелей или отверстий. Процент перфорированной поверхности определяет долю отражённой звуковой энергии.

Следует отметить широкое применение сочетания металлических акустических экранов с таковыми из стекла или прозрачного пластика для осуществления обзора, улучшения внешнего вида. Их эффективность несколько меньше, чем у сплошных металлических экранов, но необходимость обеспечения обзора обуславливает широкое использование таких конструкций. Выбор материала акустического экрана диктуется несколькими соображениями: эффективностью конструкции, стоимостью, внешним видом, условиями эксплуатации и т. д.

На эффективность экранов влияет также их форма. Обычно акустические экраны устанавливаются как вертикальные конструкции, но нередко выполняются Г-образными и Т-образными. Экран Г-образный более эффективен, чем вертикальный (на 2,5 дБА), звукопоглощающее покрытие полки увеличивает эффективность на 4,5 дБА. Еще более эффективны Т-образные акустические экраны. В обоих случаях эффективность возрастает за счет увеличения угла дифракции [6].

Проведённый анализ характеристик существующих конструкций акустических экранов позволил выявить следующие их недостатки:

- значительное снижение эффективности защиты от шума при отсутствии звукопоглощающего покрытия вследствие отражения значительной части звуковой энергии от поверхности экрана в сторону источника шума и его усиления;
- значительное снижение или даже полное отсутствие звукопоглощающих свойств поверхностей экрана при образовании снежно-ледяной корки в осенний, зимний и весенний периоды;
- большая ёмкость материала при изготовлении металлических трехслойных акустических экранов;
- эффективность экрана только при расположении источника звука с одной стороны;
- размещение экранов вдоль автомагистралей с двух сторон препятствует её проветрива-

нию и ведёт к увеличению концентрации токсичных выхлопных газов.

С целью устранения перечисленных недостатков была разработана данная конструкция акустического экрана [7]. Сущность изобретения заключается в предотвращении отражения звуковой энергии в сторону источника шума, в максимальном поглощении звуковой энергии, в одинаковой эффективности акустического экрана с обеих сторон, в обеспечении эффективности работы акустического экрана вне зависимости от погодных условий, а также в предотвращении увеличения концентрации токсичных выхлопных газов на проезжей части за счёт движения воздушных потоков через конструкцию экрана.

Это достигается тем, что в данном акустическом экране, содержащем основание и закреплённый на нём каркас, размещается набор акустических панелей, выполненных из материалов с различными свойствами шумопоглощения. Панели имеют коньковый профиль и расположены вдоль вертикальной оси каркаса с шагом, при котором панели вышерасположенного конька накрывают вершину нижерасположенного конька, наружные поверхности панелей и их торцевые части выполнены из материала, обладающего звукоотражающими свойствами, а внутренние поверхности панелей – из звукопоглощающего материала. На рис. 1 представлен акустический экран, на рис. 2 показан разрез акустического экрана с коньковым способом размещения панелей. Основание 1 (см. рис. 2) выполняется в виде бетонных или металлических опор, к нему крепится каркас 2, выполненный, например, из стального профиля, к каркасу крепятся акустические панели коньковой формы, верх и торцы коньковых панелей 3 выполнены из звукоотражающего материала, например из листового металла, на нижней стороне коньковой панели 3 крепится звукопоглощающий материал, например ППЖ 200 – плиты повышенной жесткости из минеральной ваты толщиной 100 мм.

Экран работает следующим образом. Звуковая энергия, достигая акустического экрана, частично отражается вверх от звукоотражающей поверхности панелей 4, другая часть проникает в зазоры между соседними коньковыми панелями 3, при этом нижняя поверхность зазора обладает звукоотражающими свойствами, а верхняя – звукопоглощающими, что приводит при прохождении звука через своеобразный канал к многократному отражению и поглощению звуковой энергии. Это обеспечивает высокую эффективность акустического экрана.

Расчёт эффективности акустического экрана высотой 5 м, состоящего из четырёх конько-

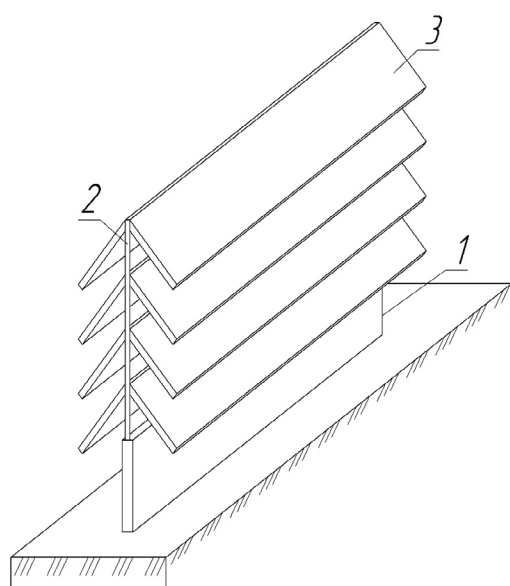


Рис. 1. Акустический экран

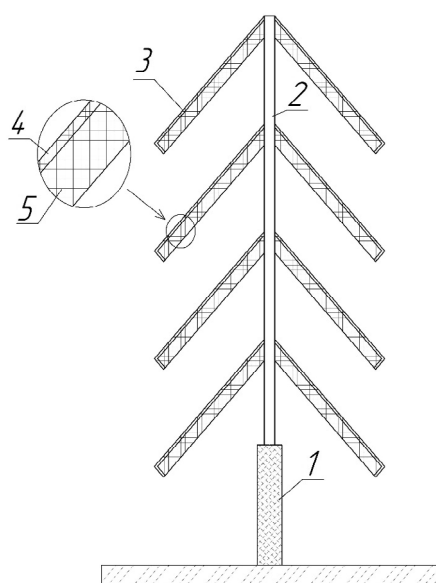


Рис. 2. Акустический экран (разрез):

- 1 – основание; 2 – каркас; 3 – коньковая панель;
4 – звукоотражающая поверхность панели;
5 – звукопоглощающая поверхность панели

вых панелей (угол между панелями 90°), показал следующие результаты:

– при установке экрана на расстоянии в 5 м до источника шума (середина ближайшей полосы движения автомагистрали) вверх будет отражено 5 % падающей на экран звуковой энергии, 95 % поглощено в результате многократного отражения и поглощения в зазорах, образованных коньковыми панелями;

– при расстоянии в 10 м до источника шума (вторая и третья полосы движения автомагистра-

ли) вверх будет отражено 14 % падающей на экран звуковой энергии, 86 % поглощено в результате многократного отражения и поглощения в зазорах, образованных коньковыми панелями.

Акустический экран устанавливают вдоль автомобильных и железных дорог, строительных площадок, прилегающих к жилой застройке, рекреационным территориям, или в зоне проведения ремонтных и других работ с превышающими санитарные нормы уровнями шума. При необходимости данные акустические экраны могут быть установлены на разделительной полосе скоростных многорядных автомагистралей, так как у предлагаемой конструкции экрана обе стороны одинаково эффективно защищают от шума.

Рассмотренное устройство позволяет за счёт применения коньковой формы акустических панелей:

- предотвратить отражение звуковой энергии в сторону источников шума (незначительная часть будет направлена вверх);
- обеспечить практически полностью поглощение звуковой энергии при её прохождении через каналы, образованные коньковыми панелями;
- обеспечить одинаковую эффективность защиты от источников шума, расположенных по обе стороны акустического экрана;
- предотвратить образование снежной и ледяной корки на звукопоглощающих поверхностях, что обеспечит постоянную эффективность акустического экрана в различные сезоны года;
- сократить расход металла, что позволит уменьшить вес конструкции без снижения её эффективности и снизить стоимость акустического экрана.

С применением акустического экрана данной конструкции повышается эффективность защиты населения от шума различных транспортных источников, а также от внутренних источников селитебных территорий: детских садов, школ, спортивных площадок, строительных площадок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стрелков А.К., Зотов Ю.Н., Михайлова И.Ю. О внесении изменений в свод правил 30.13330.2016 «Внутренний водопровод и канализация зданий. Актуализированная редакция СНиП 2.04.01-85*» // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, № 1. С. 56–62. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.8.
2. Сухина Е.А. Становление и особенности сертифицирования российских экологических стандартов в строительстве // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 2. С. 96–103. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.02.13.

3. Орлов О.Г. Современные тенденции формирования акустической ситуации в крупных городах // Строительная физика в XXI веке: материалы научно-технической конференции. М., 2006. С. 356–358.

4. Орлов О.Г. Акустическая ситуация в городе Самаре и пути её дальнейшего улучшения // Сборник трудов III Международного экологического конгресса (V Международной научно-технической конференции) «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов». Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. С. 221–226.

5. Орлов О.Г. Определение приоритетного варианта скоростной магистрали на основании оценки шумозащитной эффективности ограждений // Градостроительство и архитектура. 2011. Т. 1, № 2. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.02.26.

6. Защита от шума в градостроительстве: справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1993. 300 с.

7. Пат. 2 727 997 Российская Федерация. МПК-КЕ01F8/00(2006-01-01). Шумозащитный экран / Орлов О.Г., Галицков С.Я., Корнева Е.И.; патентообладатель ФГБОУ ВО «СамГТУ». № 2019119083; заявл. 2019-06-19; опубл. 2020-07-28.

4. Orlov O.G. Acoustic situation in Samara and its further improvement. *Sbornik trudov III Mezhdunarodnogo ekologicheskogo kongressa (V Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii) «Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatel'nosti promyshlennno-transportnykh kompleksov»* [Collection of works of the III of the International Environmental Congress (V of the International Scientific and Technical Conference) "Ecology and Safety of Life Improvements of Industrial Transport Complexes"]. Samara, Samara Scientific Center RAS, 2012, pp. 221–226. (in Russian)

5. Orlov O.G. Determination of the priority option of the expressway based on the assessment of the noise protection efficiency of fences. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2011. Vol. 1, no. 2. Pp. 120–122. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2011.02.26.

6. *Spravochnik projektirovshchika "Zashchita ot shuma v gradostroitel'stve"* [Directory of the designer "Protection against noise in urban planning"]. M., Stroyizdat, 1993. 300 p.

7. Orlov O.G., Galitskov S.Ya., Korneva E.I. and all. *Shumozashchitnyy ekran* [Noise protection screen]. Patent RF, 2020, no. 2 727 997.

REFERENCES

1. Strelkov A.K., Zotov Yu.N., Mikhailova I.Yu. On amendments to the regulations 30.13330.2016, «internal water pipeline and sewerage of buildings. Actualized edition of construction standards and regulations 2.04.01-85». *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 1, Pp. 56–62. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.8.

2. Sukhinina E.A. Formation and features of certification of Russian environmental standards in construction. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 2. Pp. 96–103. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.02.13.

3. Orlov O.G. Modern tendency to form an acoustic situation in major cities. *Stroitel'naya fizika v XXI veke: Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Construction physics in the XXI century: Material of the Scientific and Technical Conference]. M., 2006, pp. 356–358. (in Russian)

Об авторе:

ОРЛОВ Олег Георгиевич

кандидат биологических наук, доцент кафедры природоохранного и гидротехнического строительства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

ORLOV Oleg G.

PhD in Biological Science, Associate Professor of the Nature protection and Hydraulic Engineering Construction Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244

Для цитирования: Орлов О.Г. Анализ эффективности акустических экранов различной конструкции // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 62–66. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.10.

For citation: Orlov O.G. Analysis of the Efficiency of Acoustic Screens of Different Designs. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 62–66. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.10.



М. А. ГРАНСТРЕМ
М. В. ЗОЛОТАРЕВА

ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ЛЕНИНГРАДА 1920–1930-Х ГОДОВ

URBAN DEVELOPMENT OF LENINGRAD IN THE 1920S-1930S

Изучение градостроительных особенностей развития Ленинграда предвоенного десятилетия актуально, прежде всего, в контексте сохранения визуальной идентичности градостроительных ансамблей первой половины XX в. Генеральные планы 1935–1937 гг. дали направление проектной деятельности и масштабному строительству в Ленинграде на протяжении двух десятилетий. Основой системного подхода к формированию структуры новой застройки Ленинграда стало создание комплекса градостроительных ансамблей, объединивших периферийные районы и ориентирующиеся на традиции Петербургского зодчества. Авторами выявлены архитектурно-композиционные и пространственные особенности организации районов жилой застройки на периферийной территории Ленинграда. Были рассмотрены архитектурные приемы формирования и средства организации ансамблей 1920–1930-х гг.

The study of the urban planning features of the development of Leningrad in the pre-war decade can serve to determine the preservation of the visual identity of urban planning ensembles of the historical and cultural heritage of the first half of the 20th century. General plans 1935–1937 gave direction to design activities and large-scale construction in Leningrad for two decades. The basis of a systematic approach to the formation of the structure of the new development of Leningrad was the creation of a complex of urban planning ensembles that united the peripheral districts and focused on the traditions of Petersburg architecture. Are detected the architectural, compositional and spatial features of the organization of residential areas on the peripheral territory of Leningrad are being studied. The boundaries of the protection of ensembles and complexes of the 1920–1930s, aimed at preserving the volumetric-spatial structure, as well as visual connections of the dominants and accents of the period under consideration, have been determined. The architectural principles of the formation and means of organizing the ensembles of the 1920s–1930s are revealed, the boundaries of the protection territories of objects are determined in the context of visual relationships.

Ключевые слова: градостроительство, архитектура 1930-х гг., ансамбли, жилмассивы, генеральный план развития Ленинграда, визуальные связи

Keywords: Urban planning, architecture of the 1930s, ensembles, housing estates, general plan for the development of Leningrad, visual connections

Введение

В Ленинграде 1920–1930-х гг. одной из важнейших целей архитектурной деятельности стало обеспечение жильем рабочего населения, численность которого значительно увеличилась. Возводились жилые рабочие городки; поблизости от промышленных предприятий строились клубы, дома культуры, школы, фабрики-кухни, бани. Но необходимо отметить,

что идея обеспечения рабочего класса жильем, причем жильем, обогащенным инфраструктурой, вовсе не являлась продуктом социалистического строя. Прообразом жилмассивов, появившихся в Петрограде – Ленинграде в 1920–1930-е гг., стал Гаванский жилой городок, возведённый в 1906 г. в западной части Васильевского острова по проекту гражданского инженера Н. В. Дмитриева. Еще один социаль-

ный проект по созданию комфортной жилой среды для рабочих был реализован на Выборгской стороне Петербурга. Здесь, поблизости от завода «Людвиг Нобель», по инициативе промышленника Эммануила Нобеля также был возведен комплекс жилых домов. В период с 1893 по 1913 гг. приглашенные Э. Нобелем архитекторы В. А. Шретер, Р. Ф. Мельцер, Ф. И. Лидваль возвели жилой городок; здесь же в 1901 г. Р. Ф. Мельцером была построена школа для рабочих, а также один из первых в России культурно-просветительных заведений для трудящихся – Народный дом Э. Нобеля – прообраз советских рабочих клубов.

Темпы строительства жилых и общественных зданий, взятые в Петрограде–Ленинграде начиная с 1925 г., уникальны – за достаточно краткий период были освоены территории рабочих окраин Выборгской стороны, участки у Нарвской, Московской и Невской застав. Город стал увеличиваться гигантскими темпами в соответствии с Генеральными планами 1935–1939 гг., осваивая территории бывших пригородов. Деревянные бараки постепенно заменялись на современное достойное жилье советских рабочих. Это была профессиональная работа зодчих, решающих не только функциональные задачи, но и уделяющих пристальное внимание градостроительным аспектам, объемно-пространственным решениям, художественному образу, предусматривающих также идеологическую составляющую.

Основная часть

К концу XX в. Санкт-Петербург уже был окружен кольцом промышленных территорий. Они расположились в Нарвской, Выборгской, Васильевской, Петербургской, Охтинской частях, заняли прибрежные зоны Невы, малых рек и каналов. Исторические промышленные зоны сформировали вокруг себя рабочие слободы, состоявшие в большинстве случаев из обычных деревянных бараков. В начале 1920-х гг. было принято решение о строительстве вблизи ленинградских промышленных предприятий жилищных массивов [1].

В декабре 1926 г., когда была проведена первая после революции всеобщая перепись населения СССР, численность жителей Ленинграда достигла уже 1614 тыс. человек – вдвое больше, чем в 1920 г. Решение жилищного вопроса в 1920–1930-х гг. стало в Ленинграде одной из первоочередных задач. Были образованы Комитет содействия рабочему жилищному строительству и строительная организация Стройком с проектным бюро. Главными архитекторами бюро, возглавляемого Г. А. Симоновым, стали А. И. Гегелло, А. С. Николь-

ский, Л. М. Тверской, Д. П. Бурышкин. Новые строящиеся дома чаще всего являлись собственностью жилищных товариществ и кооперативов. Членами таких товариществ были, как правило, сотрудники одного предприятия или учреждения. В этих домах внедрялись новые идеи обобществления быта, развивалась инфраструктура – предусматривались прачечные, бани, детские сады и ясли. Важнейшие объекты строительства 1924–1926 гг. – жилые комплексы на Тракторной улице, Серафимовский участок, Палевский и Щемиловский жилмассивы, в них отразились не только принципы западноевропейских идей городов-садов, но и преемственность архитектурных традиций Петербурга.

Следующим этапом освоения периферийных районов города стала реализация Генерального плана Ленинграда 1935–1939 гг., который предусматривал увеличение территории города в два раза с развитием массового жилищного строительства на юге, юго-востоке и юго-западе. Районами новых ансамблей общественных и жилых комплексов должны были стать Малая Охта, Щемиловка, район Нарвской Заставы, Автово, некоторые районы на севере, а также участки в районе нового центра города, примыкающие к Международному проспекту и Московскому шоссе [2]. Таким образом, в застройку были включены обширные территории Ленинграда.

В соответствии с генпланом Ленинграда 1935 г. новый административный центр города перемещался в южном направлении, развитие которого становилось приоритетным. Основными композиционными осями города должны были стать магистраль – Международный проспект и далее – Московское шоссе и центральная дуговая магистраль. С 1936 г. начались масштабные проектные и строительные работы [3].

Московский проспект предполагалось реконструировать на всем его протяжении от Сенной площади до Средней Рогатки. Реконструкцию Сенной площади должны были осуществить по проекту архитектора Н. Баранова. В 1939–1941 гг. на площади были разобраны торговые рыночные павильоны и в ее центре была запланирована установка стелы, «работающей» на перспективу Международного проспекта и Садовой улицы.

К этому времени относится решение президиума Ленсовета «в связи с реконструкцией Международного проспекта и Московского шоссе» снести Московские ворота и кордегардии – здания военных караулов по обеим сторонам ворот, являющиеся неотъемлемой частью задумки Василия Стасова [4]. В 1936 г. Московские ворота и кордегардии были ра-

зобраны. Напомним, что в 1959–1960 гг. по инициативе директора КГИОП Н.Н. Белехова Триумфальные ворота были восстановлены на прежнем месте в варианте 1936 г., но уже без кордегардий.

К 1938 г. пересечение Международного проспекта и набережной Обводного канала было «закреплено» зданием Фрунзенского универмага, построенного по проекту архитекторов Е. И. Катонина, Л. С. Катонина, Е. М. Соколова, К. Л. Иогансена, инженера С. И. Катонина. Архитектура здания универмага характерна для перехода от конструктивизма к «сталинской неоклассике». Возле промышленных предприятий, находящихся в зоне исторического Московского шоссе, продолжающего Международный проспект, строились идеологические и просветительские центры: Дом Культуры Союза кожевников имени Капранова и Дом Культуры имени Ильича завода «Электросила». В период с 1935 по 1940 гг. здесь строятся такие «знаковые» здания, как административное здание гаража ЛСПО Госторга (архитектор М. Э. Хевелев, инженер А. И. Алексеев), типовая школа (Московский пр., 96, 1937 г., архитектор С. В. Васильковский – на основе типового проекта архитекторы Л. Е. Асса и А. С. Гинцберга), дом Союзпущины (Московский пр., 98, 1937–1939 гг., архитектор Д. Ф. Фридман), жилое здание Наркомпищепрома (1939 г., архитекторы Е. И. Катонин, Е. М. Соколов, Л. С. Катонин), здание Ленсовета (1931–1935 гг., архитекторы И. А. Фомин, В. Г. Даугуль и Б. М. Серебровский), частично построенный жилой комплекс «Дом текстилей» (Московский пр., 79, 1938–1941 гг., архитекторы Л. А. Ильин, А. М. Арнольд).

Все эти здания находились на участке Московского шоссе, расположенного между Обводным каналом и путепроводом у завода «Электросила». Разнородность этой застройки лишала архитекторов возможности создания архитектурно-композиционного и пространственного единства на данном отрезке шоссе. Это было учтено в дальнейшем проектировании магистрали – от завода «Электросила» до Средней Рогатки. Общая протяженность застроенной территории должна была составить 4,38 км. Основа планировки была подготовлена в АПО Ленсовета авторским коллективом в составе Д. К. Михайлова, П. Н. Твардовского, О. С. Мильберга, под руководством Л. А. Ильина. Проектная ширина магистрали равнялась 52 м [5].

Основным композиционно-идеологическим центром должен был стать Ленинградский Дом Советов, поэтому главной художественной задачей стало не только создание репрезентативности магистрали, ведущей к бу-

дущему центру города, но и создание «впечатления нарастания архитектурной силы по мере приближения к площади Дома Ленинградского Совета и затем уменьшение ее по мере движения к границе города» [6].

«Ведущим ансамблем» южной части города и самым грандиозным ансамблем, запроектированным с середины 1930-х – начала 1940-х гг. стала площадь Дома Советов. Ленинградский Дом Советов стал самым грандиозным реализованным проектом советской России 1930-х – начала 1940-х гг. Его строительство в основном было завершено к маю 1941 г., а открытие предполагалось провести в годовщину Октябрьской Социалистической революции – 7 ноября 1941 г., но этим планам помешала Великая Отечественная война. Проектное решение не было осуществлено и задуманные архитекторами пропорции площади оказались видоизменены.

Международный проспект и продолжающее его Московское шоссе должны были связать предполагаемые к строительству ансамбли новых районов города. Узлы этих связей были закреплены площадями в местах пересечения «дуговых» магистралей. Одна из них вела в район Щемиловки и завода «Большевик» (в проекте она значилась как «северная»), другая – к заводу имени С. М. Кирова, Северной верфи и Морскому порту («южная»). Еще одна магистраль, обозначенная в проекте как «главная», пересекала Московское шоссе в районе Ленинградского Дома Советов и, обходя его, делилась на две параллельные улицы, которые должны были обеспечить в этой части транзитное движение с запада на восток города, соединить район Финского залива и Володарский мост. Прочие, менее значимые магистрали пересекали Международный проспект и Московское шоссе с частотой 400–450 м, исключение было сделано в районе парка Победы. В соответствии с ритмом пересечений были определены размеры кварталов, которые составляли от 9 до 15 га. От Московского шоссе на запад города лучами разбегались улицы, собираемые в пучки центричными площадями.

Архитектурно-композиционная организация застройки магистрали Московского шоссе должна была подчеркивать главную ее доминанту – Дом Советов. Здания должны были подготавливать зрителя к его восприятию, поэтому они создавали на протяжении магистрали своеобразные торжественные «пропилеи». Это, в свою очередь, требовало от проектировщиков увязки архитектурной темы противоположных сторон улицы, включение в застройку общественных зданий, имеющих отличный от жилых зданий масштаб, а также определение места для зеленых насаждений. В соответствии

с этим определялись требования к решению зданий в целом, а также их частей, обращенных на Московское шоссе [7]. Размер членения кварталов новой застройки, выходящих на магистраль, мог составлять более 400 м, поэтому была принята следующая схема их застройки: «красную» линию кварталов формировали здания протяженностью от 100 до 140 м, которые отстояли друг от друга на расстоянии 35 м. Эти разрывы декорировались соответствующими архитектурными средствами: аркадами, колоннадами, открытыми лоджиями, ордерными композициями и т. п. Эти элементы, объединяя фасады, создавали цельность квартальной застройки. Кроме того, для звучания единой архитектурной темы были даны рекомендации к общей композиции фасадов на протяжении магистрали, высотность зданий составляла шесть этажей, которая могла меняться в узловых точках, где ставились 7-этажные дома. Наряду с единством этажности требовалось создать единство членения зданий, их масштабного модуля. Отдельно определялось место для надписей и наружной рекламы в тех местах, где располагались магазины, все надписи такого характера разрешалось выставлять только в окнах-витринах и ни в коем случае не на самом здании.

Применение поквартальной застройки предполагало комплексное решение всех задач для данной территории. Так, отдельное внимание уделялось проектированию внутриквартальных пространств. Во дворах предусматривалось озеленение, освещение, размещение площадок для отдыха, а в некоторых случаях – устройство фонтанов. Однако выдвигались и иные предложения организации дворовых территорий: в своей статье «Некоторые замечания о планировке новых кварталов» Л. П. Тверской писал, что во дворах следует предусматривать не только разбивку декоративных партеров и устройство спортивных площадок, но и выделять территории, где население могло бы заниматься растениеводством, огородничеством и даже мелким животноводством. Очевидно, что эти идеи не нашли воплощения.

При формировании Московского шоссе закладывались ансамблевые принципы – как в пределах одной улицы, так и в масштабах города. В районе Дома Советов Московское шоссе пересекалось с дуговой магистралью. Общий композиционный строй ансамбля Международного проспекта и Московского шоссе определялся соответствующей их разбивкой на участки, в пределах которых предусматривалась своя объемно-пространственная и архитектурно-художественная организация сооружений [8]. В проекте были выде-

лены четыре участка со своим композиционным строем и архитектурно-художественным оформлением: первый – от завода «Электросила» до парка Культуры и отдыха; второй – от парка до так называемой «северной» площади; третий – от «северной» площади до Дома Советов; четвертый – от «кульминационного места композиции» до «южной» площади, обозначающей границу магистрали. Парк был заложен в 1939–1941 гг., в соответствии с Генеральным планом развития Ленинграда. В 1945 г. парк был заложен повторно, уже как Парк Победы.

В разработке проектов жилых кварталов принимали участие мастерские Ленпроекта; общественные здания и некоторые жилые объекты проектировались в АПО Ленсовета (группа Московского района). Проекты осуществлялись авторскими коллективами под руководством ведущих архитекторов города А. И. Гегелло, Г. А. Симонова, А. А. Оля, Е. А. Левинсона, Н. А. Троцкого В. В. Попова, О. Р. Мунца, П. М. Гринберга и др.

Обследование построенных зданий и анализ проектного материала позволяют выявить основные композиционные концепции довоенной архитектуры Московского шоссе. Первым кварталом, запроектированным на Московском шоссе, стал квартал между Благодатным переулком и парком Культуры и отдыха. Сложность проектной задачи обуславливалась тем, что в этом квартале были уже построены школа и общежитие Химико-технологического института, «архитектурный образ которого не соответствует современным требованиям». В этом проекте предполагалось закрыть здание общежития центральным корпусом, выходящим на Московское шоссе с организацией проездов в кварталы через высокие (на три этажа) арки, соединявшие крайние здания, примыкающие к Благодатной и Кузнецовской улицам. Интересен «стилевой рельеф» фасадов квартала, решенных в едином ключе. При активной пластике первых трех (а во втором варианте – двух) этажей фасадная плоскость остальной части решалась практически без детализовки [9].

«На Московском шоссе, напротив парка, выстроены четыре одинаковых дома, запроектированных архитектором В. В. Поповым...» – читаем в журнале «Архитектура Ленинграда» (1940, № 4). – «Автору повезло – благодаря четырехкратному повторению, ему удалось оформить большой кусок новой магистрали. Дома, соединенные попарно арками во всю высоту шести этажей, стоят симметрично относительно главного входа в парк и таким образом являются крупнейшим фактором архитектурного пейзажа этого участка магистрали. Фасады домов архитектора Попова имеют сильно

выраженный рельеф, образуемый полуколоннами и пилястрами большого ордера в шубе и лоджиями. Разрыв между двумя парами домов образует небольшую площадь, центрированную по оси парковых ворот и аллеи...»

На противоположной стороне Московского шоссе, напротив парка, расположился квартал протяженностью 725 м, организованный идентичными зданиями. Симметрия объемов жилых зданий относительно сильной композиционной оси усиливалась расположением по центру квартала, с отступом от красной линии, здания театра, обрамленного полукруглыми в плане корпусами. В южной части квартала планировалось строительство здания Областного партийного издательства. В окончательном варианте в разрыве в центральной части была запроектирована гостиница, строительство которой было выполнено уже позже и в иных формах, демонстрирующих борьбу с архитектурными излишествами. Следующий участок застройки имеет достаточно спокойную объемно-пространственную композицию зданий, фланкирующих Московское шоссе, подготавливая нас к раскрытию «Северной» площади – первого значительного композиционного узла.

Завершать композицию Московского шоссе должна была площадь на Средней Рогатке [10]. Восточнее нее было запланировано строительство жилмассива Ленинградского мясокомбината, который должен был разместиться в непосредственной близости к производственному комплексу, возведенному Н. А. Троцким, Р. Я. Зеликманом и Б. П. Светлицким в 1931–1933 гг. Жилмассив проектировался с 1936 по 1941 гг. (архитекторы А. А. Юнгер, Н. Н. Лебедев, А. Н. Сибиряков) и достраивался в 1954 г. Первоначальная планировка жилого комплекса получила полуциркульное решение, крайние же здания были размещены фронтально вдоль магистрали.

Архитектурно-композиционное решение ансамбля магистрали первоначально было задумано «под один карниз», что создавало не слишком выразительный общий силуэт. Поэтому были сделаны попытки насыщения пространства Московского шоссе вертикальными доминантами, закрепляющими ее узловыми точками. Отдельные проекты датированы самым концом 1930-х или даже 1940 годом — но это, скорее, угловые башни, «закрепляющие» пересечения Международного проспекта и небольших улиц. Впоследствии, уже в 1950-е гг., здесь будет спроектирована система активных высотных и силуэтных доминант: два высотных здания у въезда в город со стороны Москвы и Киева; башня, «закрепляющая» пересечение

проспекта имени В. И. Сталина с набережной Обводного канала; башня, предполагающаяся на месте современной гостиницы «Россия»; у Московского парка Победы (на месте, где был впоследствии возведен СКК); на месте Новодевичьего монастыря, а также на площади Мира (Сенной площади), но эта идея так и останется неосуществленной.

По генеральному плану города граница города в части Малой Охты отодвигалась на 5 км от Невы. При этом район получал неправильную форму – его границами в западной части была Нева, с севера – река Большая Охта, с юго-востока – пути Финляндской железной дороги; в северо-восточной части район включил в себя не только реку Оккервиль, но и захватывал участки деревни Яблоновка и заканчивался острым мысом стыковки Уткинского проспекта с железнодорожной веткой.

Во второй пятилетке строительство развернулось на обширных территориях Ленинграда, включая его бывшие пригороды. Одним из районов нового строительства на правом берегу Невы стала Малая Охта. Утвержденный генеральный план планировки Ленинграда 1939 г. сохранил принципы градостроительных и реконструктивных работ, заложенные в генеральном плане 1935 г. [11].

В качестве главных композиционных осей этого района были выбраны направления будущего Заневского проспекта и Невская набережная. В соответствии с этими осями формировалась планировочная структура квартальной застройки. Параллельно набережной проложены улица Стахановцев, современные проспекты Новочеркасский и Шаумяна. Особое внимание было уделено градостроительному решению будущего Заневского проспекта. Данная магистраль, начинающаяся от предмостной площади, являлась центральной осью ансамбля этого района. В местах пересечения с Заневским проспектом перпендикулярных улиц формировались площади различной конфигурации.

Мост, который предполагалось построить через Неву, обеспечивал Малой Охте надежную связь с центром города. Проектирование планировочной структуры и разработка объемно-пространственного решения предмостной площади были выполнены мастерской № 1 Ленсовета под руководством Д. П. Бурышкина. Характер организации пространства площади, стилистика его архитектурного «обрамления», распределение акцентов демонстрирует почерк архитектора, выбравшего в 20–30-х гг. путь конструктивизма. Это повлияло и на общую композицию создававшегося «заневского» ансамбля. Динамика трапециевидной предмостной площади, обращенной на Неву, по

замыслу зодчих должна была разворачиваться по мере движения по мосту, который предполагалось построить в один уровень с площадью, по примеру мостов центральной части города. Однако в районе Малой Охты из-за большой ширины Невы строительство моста без наземных пандусов было осуществить невозможно. Транспортная развязка моста Александра Невского, построенная в 1962 г., наглядно продемонстрировала смещение акцентов восприятия ансамбля площади. Здания на площади запроектированы в монументальных формах с господством вертикального ритма пилонов, которые при повороте корпуса на Неву сменяются на ритм полуколонн. Этот монотонный строй разбивают массивные призматические объемы, смещенные к набережной и увенчанные стилизованными «периптерами».

Вторая ось композиции нового района – Мало-Охтинский проспект (набережная) решалась в совершенно ином архитектурно-градостроительном ключе, чем предмостная площадь. Согласно генеральному плану, набережная должна была должна была протянуться от Большоохтинского до Железнодорожного моста, что обеспечивало создание нового панорамного фасада в этой части города [12]. В профессиональной прессе того времени можно прочесть: «Широкие пространства Невы и ощущение архитектурных традиций Ленинграда обязывали, с одной стороны, дать объемно-выразительную застройку набережной, а с другой – продолжить архитектурное решение, которое, являясь фрагментом нового Ленинграда, связало бы возникающий ансамбль с архитектурой старого города» [13].

Характер и выразительность композиционного решения набережной Г. Симонова, включающего в себя и архитектурно оформленные разрывы между зданиями, является уникальным для невых панорам северной столицы. Здания решены в крупных монументальных формах с глубокой пластикой полуциркульных и прямых объемов жилых домов, соединенные между собой лоджиями. Эта композиция придает выразительность и парадность периметральной линии застройки. Для достижения монументальности этих зданий архитектор увеличивает их высоту до шести этажей и добавляет высокий аттик. Архитектурная тема полукруглых зданий организуется с помощью шести композиционных осей, на которых расположены выдвинутые вперед части зданий. Элементы, расположенные по осям зданий, придают их фасадам активную пластику. Полуциркульный объем формирует не только композицию набережной, его обратная сторона активно «работает» и во внутриквартальных

пространствах, придавая им художественную выразительность.

Городская среда Малой Охты представляет собой единство архитектурно-планировочной структуры, сформированной в качестве единого ансамбля в период с 1935 по 1939 гг. Авторы руководствовались принципом исторической преемственности объемно-планировочной структуры города, что повлияло на визуальные характеристики территории. Здесь можно выделить определенные типы ансамблевых систем:

- работающих на композиции общегородского характера (предмостная площадь – площадь Челюскинцев и нехская набережная – Малоохтинский пр.);

- формирующих визуальное восприятие объемно-пространственной структуры внутри района, где основной осью является Заневский пр.;

- определяющих раскрытие дворовых пространств.

Активное строительство жилых комплексов в левобережной части Ленинграда началось еще с 1925–1929 гг. Здесь, в приневской зоне, возникли жилмассивы, в которых получали квартиры рабочие промышленных предприятий, располагающихся на бывшем Шлиссельбургском тракте (в настоящее время – проспект Обуховской обороны), они расположились от Александрово-Невской мануфактуры до Троицкого Поля [14]. Это Палевский жилмассив (носивший также название «Поселок РЖСКТ Володарский металлист»), жилмассив для рабочих-текстильщиков в Володарском районе на улице Ткачей и улице Бабушкина, Щемилковский жилмассив и жилмассив завода Большевик.

Согласно генеральному плану 1935–1939 гг., особое градостроительное значение получала Ивановская улица, являющаяся отрезком дуговой магистрали, соединяющей ансамбли периферийной части Ленинграда. Территория проектировалась в пределах намеченных границ – второй Параллельной улицы (улицы Седова) и проложенной еще в 1926 г. улицы Бабушкина; с юга район выходил к Неве. Осью района являлась Ивановская улица, идущая в продолжении Володарского моста. Улицу фланкировали два ряда шестизэтажных зданий (архитекторы – Е. А. Левинсон, И. И. Фомин, С. И. Евдокимов). В детализовке фасадов зданий Ивановской улицы можно прочесть приемы ленинградского авангарда и выявить элементы архитектуры европейского ар-деко 1920–1930-х гг. – гладкие стеновые плоскости с характерными декоративными элементами, условность ордерной композиции, введение второго цвета на фасаде.

План развития Ленинграда в юго-западном направлении предполагал активное освоение территории исторической Нарвской заставы. Здесь должны были возникнуть жилые кварталы с домами для рабочих прилегающих предприятий и организован административно-общественный и культурно-бытовой центр Московско-Нарвского (с 1934 г. – Кировского) района. Конкурс 1925 г. дал старт строительству жилых домов для рабочих. В кратчайшие сроки были построены жилмассивы на Тракторной улице, Серафимовском участке, Турбинной улице и улице Касимова. В конце 20 – начале 30-х гг. в районе, прилегающем к улице Стачек, произошел настоящий «строительный бум» – здесь были построены десятки общественных и жилых зданий с интересными объемно-пространственными решениями.

Подготовка к восприятию торжественной темы Кировской площади начинается от Нарвских ворот. В этом месте проспект Стачек фланкируют брутальные объемы Дома культуры им. Горького (проект архитекторов А. И. Гегело и Д. Л. Кричевского) и дома кооперации – здания, совместившего функции универмага и фабрики-кухни (1929–1930, архитекторы А. К. Барутчев, И. А. Гильтер, И. А. Меерзон, Я. О. Рубанчик, инженер А. Г. Джорогов). Социальная значимость этих объектов, новизна их функционального наполнения потребовали придания особой выразительности этим сооружениям. Далее проспект Стачек немного меняет направление и после поворота перед нами раскрывается Кировская площадь с памятником Кирову, установленным в 1938 г. (скульптор Н. В. Томский, архитектор Н. А. Троцкий).

С оформлением площади Стачек около Нарвских ворот и строительством Дома Советов Московско-Нарвского района территория Нарвской заставы получила законченный ансамбль. С самого начала предполагалось установить связь новой площади с Триумфальной аркой – памятником в честь победы в Отечественной войне 1812 г., поэтому основной визуальной осью композиции стало направление от Нарвских ворот до вертикальной доминанты нового Кировского Райсовета. Несмотря на то, что он является композиционным центром всей территории, общее объемно-пространственное решение участка имеет более сложные взаимосвязи, поскольку в его композицию включены и другие сооружения. Так, здание школы имени 10-летия Октября, возведенной в 1925–1927 гг. А. С. Никольским и А. В. Крестинным, является силуэтной доминантой, на которую ориентирована Тракторная улица, а проезд, отходящий от площади, идущий в продолжении улицы Швецова, ориентирован на кубический объем, акцентиру-

ющий вход в профилакторий Московско-Нарвского района (Л. В. Руднев, О. Л. Лялин, И. И. Фомин) на улице Косинова. Можно отметить, что объемно-пространственная композиция рассматриваемой территории строится на основе взаимного пересечения осей, устанавливающих множество визуальных связей [15], делая ее пространство семантически наполненным.

В 1930–1940 гг. в программу освоения окраинных территорий Ленинграда был включен район Автово. Поскольку улице Стачек была определена роль одной из «дуговых» магистралей, осуществляющих транзитное движение к будущему центру города на Московском шоссе, территория Автово стала важным районом застройки Ленинграда [16]. Границы пятна застройки были определены с севера, юга и востока существующими железнодорожными линиями Балтийской железной дороги. В западной и северо-западной частях район ограничивался территорией Путиловского (Кировского) завода и его резервной зоной.

Общая концепция застройки кварталов Автово была определена следующими положениями: в проекте принята средняя плотность населения 440 чел./га, при норме 12 м²/чел., при этом процент застройки составил 24–25 %, этажность 5–6 этажей; периметральная застройка решена спокойным контуром, без значительных отступов от красных линий; расположение школ в жилых кварталах использовано как основной элемент осевых композиций, участки школ выделены в самостоятельные элементы квартала; детские сады и ясли размещаются в специальных зданиях и частично встроены в жилую застройку; зеленые насаждения дополняют общую композицию и пространственную организацию кварталов.

На проекте застройки Автово архитекторов В.А. Витмана, М.П. Лохманова и А.Л. Печатникова видны масштабы работ – общее количество жителей района должно было составить 50 тыс. человек. Его основными магистралями являлись улица Стачек и Детскосельская улица (с 1923 г. – улица Якубениса, в настоящее время – Краснопутиловская), которая лучом отходила от улицы Стачек и пересекалась с Московским шоссе в районе Средней Рогатки.

На всем протяжении проспекта Стачек от Нарвских ворот до юго-западного въезда в город получает развитие ритм композиционных узлов. До 1940 г. сформированы некоторые из них – площадь Стачек, Кировская и Круглая площади.

Заключение

Проведенное исследование позволило сделать следующие выводы:

1. Разработка генерального плана развития города 1930–1940-х гг. основывалась на преемственности ансамблевой системы города. Планировочной структурой новых районов было предусмотрено создание системы веерных, дуговых и диагональных магистралей, с образованием целостной системы ансамблей центров общегородского и районного значения, магистралей, площадей, садов и парков.

2. Объемно-пространственные особенности развития периферийных районов Ленинграда застройки 1930-х гг. определили общий характер и ранжирование системы доминант, созданных в районах жилой застройки бывших рабочих окраин города

3. Анализ исторической преемственности формирования системы доминант, в территориальных и хронологических границах исследования, выявил закономерности развития градостроительных концепций для каждой из частей города: Международного (Московского) проспекта, проспекта Стачек, территории Малой Охты и Щемиловки.

4. При корректировке границ территорий объектов культурного наследия советской архитектуры первой половины XX в. необходимо учитывать выявленные визуальные связи и силуэтные составляющие исследуемой застройки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гранстрем М. А. Палевский жилмассив – элемент целостной среды жилой застройки Ленинграда 1920-х годов // Жилищное строительство. 2016. № 8. С. 3–36..
2. Золотарева М. В. Объемно-планировочная структура жилых кварталов довоенного Ленинграда (на примере Ивановской улицы) // Жилищное строительство. 2016. № 8. С. 40–43.
3. Баранов Н. В. Главный архитектор города: Творческая и организационная деятельность. 2-е изд., доп. М.: Стройиздат, 1979. 170 с.
4. Каменский В.А., Наумов А.И. Ленинград. Градостроительные проблемы развития. Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1973. 360 с.
5. Тверской Л. П. Некоторые замечания о планировке новых кварталов // Архитектура Ленинграда. 1936. № 2. С. 36–39.
6. Фридман М.Е. Проекты Дома Советов в Ленинграде // Архитектура Ленинграда. 1946. № 26. С. 8–26.
7. Granstrem M., Zolotareva M., Slavina T. High-rise construction in historical cities through the example of Saint Petersburg. E3S Web of Conferences 33, 01028 (2018)
8. Vaitens A., Volkov V., Mityagin S. The general plan of St. Petersburg 2005 - 2025: Prerequisites, ideas, implementation, E3S Web of Conferences, 164, статья № 5008, DOI: 1051/e3sconf/202016405008
9. Гундобин Н. П. Дискуссия о планировке Московского шоссе // Архитектура Ленинграда. 1937. № 1. С. 21–22.

10. Ильин Л.А. Планировка и застройка магистрали Международный проспект – Московское шоссе // Архитектура Ленинграда. 1937. № 1. С. 14–21.

11. Об отправных условиях для разработки плана развития города Ленинграда. Резолюция объединенного пленума Ленинградского Городского Комитета ВКП(б) и Ленинградского Совета от 26 августа 1935 г. по докладу т. Жданова А.А. // Архитектура Ленинграда. 1936. № 1. С. 14–18.

12. Исаченко В.Г. Архитектура Санкт-Петербурга: справочник-путеводитель. СПб.: Изд-во «Паритет», 2002. 383 с.

13. Золотарева М.В. Объемно-пространственные особенности застройки Малой Охты в Ленинграде (1920–1940-е гг.) // Жилищное строительство. 1916. № 1–2. С. 67–70.

14. Вайтенс А. Г. Эволюция планировки жилых кварталов в конце 1940– начале 1950-х гг. // Актуальные проблемы архитектуры и строительства: материалы V Международной конференции. СПб.: СПб-ГАСУ, 2013. Ч. I. С. 16–20.

15. Perkova M.V., Baklazhenko E.V., Vaytens A.G. (2020) A Method for Identifying and Resolving Conflicts in Urban Riverside, Development, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 459 (5), 52024, DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052024

16. Былинкин Н. П., Володин П. А., Корнфельд Я. А., Михайлов А. И., Савицкий Ю. Ю. История советской архитектуры. 1917–1958. Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. М., 1962. 348 с.

REFERENCES

1. Granstrem M.A. Palevsky housing estate-an element of the integral environment of the residential development of Leningrad in the 1920s. *ZHilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 2016, no. 8, pp.36-39. (in Russian)
2. Zolotareva M.V. Spatial planning structure of residential quarters of pre-war Leningrad (on the example of Ivanovskaya Street). *ZHilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 2016, no. 8, pp. 40-43. (in Russian)
3. Baranov N. V. *Glavnyj arhitektorskiy goroda: Tvorcheskaya i organizatorskaya deyatel'nost'* [Chief architect of the city: Creative and organizational activities]. Vol.2. M., Strojizdat, 1979. 170 p.
4. Kamenskij V. A., Naumov V. I. *Gradostroitel'nye problemy razvitiya* [Urban development problems]. Leningrad, Strojizdat, 1973. 360 p.
5. Tverskoj L. P. Some notes on the layout of the new quarters. *Arhitektura Leningrada* [Architecture of Leningrad], 1936, no. 2, pp. 36-39. (in Russian)
6. Fridman M.E. Projects of the House of Soviets in Leningrad. *Arhitektura Leningrada* [Architecture of Leningrad], 1946, no. 26, pp. 8-26. (in Russian)
7. Granstrem, M., Zolotareva, M., Slavina, T. High-rise construction in historical cities through the example of Saint Petersburg. E3S Web of Conferences, 2018, 33, 01028.

8. Vaitens, A., Volkov, V., Mityagin, S. The general plan of St. Petersburg 2005 - 2025: Prerequisites, ideas, implementation, E3S Web of Conferences, 2020, 164, 5008. DOI: 1051/e3sconf/202016405008
9. Gundobin N. P. Discussion about the layout of the Moscow highway. *Arhitektura Leningrada* [Architecture of Leningrad], 1937, no. 1, pp. 21-22. (in Russian)
10. Il'in L.A. Planning and construction of the International Avenue-Moskovskoe Shosse highway. *Arhitektura Leningrada* [Architecture of Leningrad], 1937, no. 1, pp. 14-21. (in Russian)
11. On the starting conditions for the development of a development plan for the city of Deningrad. Resolution of the joint Plenum of the Leningrad City Committee of the CPSU (b) and the Leningrad Soviet of August 26, 1935 on the report of T. Zhdanov A. *Arhitektura Leningrada* [Architecture of Leningrad], 1936, no. 1, pp. 14-18. (in Russian)
12. Isachenko V. G. *Arhitektura Sankt-Peterburga: spravochnik-putevoditel'* [Architecture of St. Petersburg. Reference guide]. SPb, Publishing House "Paritet", 2002. 383 p.
13. Zolotareva M.V. Volumetric and spatial features of the Malaya Okhta development in Leningrad (1920-1940-ies). *Zhishishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 2016, no. 1-2, pp. 67-70. (in Russian)
14. Vajtens A. G. Evolution of the layout of residential blocks in the late 1940s-early 1950s. *Aktual'nye problemy arhitektury i stroitel'stva: materialy V Mezhdunarodnoj konferencii* [Actual problems of architecture and construction: materials of the V International conference]. SPb., SPbGASU, 2013, vol. I, pp. 16-20. (in Russian)
15. Perkova, M.V., Baklazhenko, E.V., Vaytens, A.G. A Method for Identifying and Resolving Conflicts in Urban Riverside, Development, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 459 (5), 52024. DOI: 10.1088/1755-1315/459/5/052024
16. Bylinkin N. P., Volodin P. A., Kornfel'd YA. A., Mihajlov A. I., Savickij YU. YU. *Istoriya sovetskoy arhitektury. 1917-1958. Gosudarstvennoe izdatel'stvo literatury po stroitel'stву, arhitekture i stroitel'nyim materialam* [History of Soviet architecture. 1917-1958. State publishing house of literature on construction, architecture and building materials]. 1962. 348 p.

Об авторах:

ГРАНСТРЕМ Мария Александровна

кандидат архитектуры, доцент, доцент кафедры истории и теории архитектуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
190005, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-ая Красноармейская, 4
E-mail: arch_project@bk.ru

ЗОЛОТАРЕВА Милена Владимировна

кандидат архитектуры, доцент, доцент кафедры истории и теории архитектуры
Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
190005, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-ая Красноармейская, 4
E-mail: goldmile@yandex.ru

GRANSTREM Maria A.

PhD in Architecture, Associate Professor of the History and Theory of Architecture Chair
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)
190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4
E-mail: arch_project@bk.ru

ZOLOTAREVA, Milena V.

PhD in Architecture, Associate Professor of the History and Theory of Architecture Chair
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)
190005, Russia, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya str., 4
E-mail: goldmile@yandex.ru

Для цитирования: Гранстрем М.А., Золотарева М.В. Градостроительное развитие Ленинграда 1920–1930-х годов // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 67–75. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.11.
For citation: Granstrem M.A., Zolotareva M.V. Urban Development of Leningrad in the 1920s-1930s. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 67–75. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.11.

Э. В. ДАНИЛОВА
Р. М. ВАЛЬШИН

ГОРОД РЕМА КОЛХАСА: ОТ ТЕОРИИ К МАСТЕР-ПЛАНУ

CITY OF REM KOOLHAAS: FROM THEORY TO MASTERPLAN

Статья посвящена урбанистическим концепциям Рема Колхаса. Анализируется состояние градостроительства и профессиональный контекст, в котором развивалось творчество архитектора. Рассматриваются его ранние работы, выполненные в период обучения, обозначается их ключевая роль в будущей теоретической и проектной работе Колхаса. Описываются важные открытия, которые Колхас сделал, исследуя особый тип урбанизма, развитый в Нью-Йорке. Раскрывается подход Колхаса к разработке мастерпланов как к отражению его теоретических идей, интерпретированных в различных контекстах. Выявляются знаковые элементы урбанистического словаря архитектора, которые он применяет при создании градостроительных проектов. Определяется значение подхода, развитого Колхасом для современного урбанизма.

Ключевые слова: урбанизм, манхэттенизм, сценарный подход, полоса, планировочная сетка, архипелаг островов, иконический проект

В эпоху постмодернизма произошел пересмотр урбанистической парадигмы. Различные концепции города были развиты в конце XX века и сегодня находят свое воплощение в реальности. Среди немногих архитекторов, прошедших путь от теории к практике в градостроительном проектировании, Рем Колхас выделяется своим авторским подходом к мастер-планам, что делает их такими же запоминающимися, как и иконические архитектурные объекты современности. Творчество Колхаса демонстрирует значимость теории, предшествующей практике. Сегодня, когда урбанистический проект развивается по всему миру, опыт Колхаса является востребованным и актуальным [1, 2]. Рем Колхас – единственный архитектор, который получил Притцкеровскую премию не только за построенные объекты, но и за идеи. Большая часть идей архитектора связана с городом. Город был темой его дипломной работы, ключевых текстов теории архитектуры и урбанизма, которые, включая знаменитую книгу «Нью-Йорк вне себя» [3], прославила автора раньше, чем были построены его объекты. Колхас исследовал город вместе со студентами в Гарварде и своим аналитическим центром

The article is devoted to the urbanistic concepts of Rem Koolhaas. The state of urban planning and the professional context in which the architect's creativity developed are analyzed. The article examines his early works, performed during the training period, identifies their key role in the future theoretical and project work of Koolhaas. The important discoveries that Koolhaas made while researching a particular type of urbanism developed in New York are described. The article reveals Koolhaas's approach to the development of masterplans, as to the reflection of his theoretical ideas, interpreted in various contexts. The author identifies the iconic elements of the architect's urban vocabulary, which he uses when creating urban planning projects. The significance of the approach developed by Koolhaas for contemporary urbanism is determined.

Keywords: urbanism, manhattanism, scenario approach, stripe, urban grid, archipelago of islands, iconic project

АМО и, наконец, создал множество мастер-планов в бюро ОМА, которое и задумывалось как Офис архитектуры метрополии.

Колхас пришел в архитектуру в конце 1960-х гг. В это время модернизм был официальной планировочной доктриной и объектом всеобщей критики. Существовало два альтернативных направления в урбанистическом мышлении. Первое из них было связано с верой в технологический прогресс и в этом отношении продолжало линию довоенного авангарда. Отличие заключалось в том, что модернистский образ машины стал более сложным и включал метафоры из кибернетики, космоса и робототехники. Пафос, вызванный покорением Вселенной, подпитывал ожидания архитекторов о том, что технологии позволят создать более совершенные структуры для жилья, которые заменят привычную среду обитания. Архитекторы проектировали мегаструктуры, предназначенные решить проблему нехватки жилища и возрастающей урбанистической плотности, и мобильные единицы, обеспечивающие личную свободу перемещения и проживания. Архигрем был самым ярким воплощением этой концепции. Другое направление происходило

из ретроспективного взгляда на исторический город, который представлял собой потерянный рай. Свою задачу такие архитекторы, как Леон Крие видели в том, чтобы вернуть этот город, и предлагали проекты, основанные на классической традиции. Эти проекты были так же далеки от настоящего, как и футуристические.

Этот разрыв попытались преодолеть Альдо Росси [4], Освальд Матиас Унгерс [5] и Колин Роу [6] в своих теоретических работах и университетских студиях, которые стали исследовательскими лабораториями [7]. И Росси, и Унгерса объединяло отношение к первичности архитектурных типов в городе. Объекты архитектуры могут пережить любую смену функции. Город не может быть производственной площадкой, поскольку он всегда включает множество функций. Унгерс исследовал возможности сохранения архетипов и создания урбанистических островов с высокой плотностью в зеленом пространстве. Колин Роу предлагал примирить исторический и модернистский город посредством коллажа, извлеченного из современного искусства как возможного метода в градостроительстве. Благодаря коллажу два различных типа урбанистической ткани могут быть совмещены в пространстве одного города, не исключая, а дополняя друг друга.

Радикальная архитектура и университетский дискурс, проходящий по обе стороны океана, во многом определяли контекст, в котором происходило становление Колхаса. Застав Питера Кука и Леона Крие в школе АА в Лондоне, Колхас отверг оба этих подхода. Тем не менее поздние диспуты итальянских архитекторов из Архизума и Суперстудии впечатлили его чистотой своей экспрессии и критической позицией. Позже он работал с Унгерсом и во многом испытывал его влияние [8]. В Корнельском университете, куда Колхас попал после АА, он имел возможность познакомиться с оппонентом Унгерса – Колином Роу – и его концепциями урбанистического компромисса.

В Нью-Йорке Колхас присоединился к Институту урбанистических и архитектурных исследований, который возглавлял Питер Эйзенман, и таким образом оказался в центре урбанистического дискурса, объединявшего американских и европейских архитекторов [9]. Существовал и еще один важный фактор влияния на формирование взглядов Колхаса. Так же, как и многие его коллеги, он испытывал очарование русским конструктивизмом, реабилитация которого происходила в это время на Западе. Идея тотального жизнеустройства, присущая русскому авангарду, была близка идее Элиа Зенгелиса, в мастерской которого учился Колхас в АА и с которым позже открыл

свое бюро ОМА. Зенгелис утверждал, что каждый архитектор – диктатор, поскольку реализует свое собственное видение в тотальном масштабе [10].

Так же, как и его великий протагонист Ле Корбюзье, Колхас получил свое архитектурное образование благодаря тому, что прошел через ключевые центры архитектурного и урбанистического развития. Его предыдущий опыт журналиста и сценариста определил его избирательность и критическую позицию по отношению к происходящему, а его несомненный великий талант позволил ему с самого начала своей работы создавать проекты, в которых он исследовал возможности современного города.

Стена, кинолента и/или линейный город

Свой первый урбанистический проект – отчет по студенческой практике – Колхас опубликовал в книге S, M, L, XL как важную часть работы [11]. И действительно, уже на уровне учебного проекта Колхас показал свой особенный взгляд на город. В качестве объекта исследования Колхас выбрал урбанистический артефакт современности – Стену, разделяющую Восточный и Западный Берлин. Он увидел Стену одновременно как киноленту и линейную мегаструктуру, которая варьировалась в различных контекстах города. Каждый участок становился одним из эпизодов непридуманного сценария, разворачивающегося в пространстве города. Сложная по своей конструкции, собранная из различных полос ограждений, проходов с чередующимися вертикальными доминантами вышек, Стена изменялась по мере того, как сталкивалась в разных районах со зданиями, пустотами, памятниками и даже рекой. Спроектированная для того, чтобы контролировать порядок, Стена порождала урбанистические события, которые и представляли для Колхаса архитектуру. Все это было свидетельством того, как архитектура может изменить мир, с одной стороны, и с другой – что именно городские условия порождают уникальную архитектуру.

Дипломная работа Колхаса была продолжением темы Стены, но включала множество различных значений, метафор и прототипов. Колхас проектирует линейный город, который пересекает Риджент Стрит в Лондоне. В таком размещении города заложен символический смысл. Риджент Стрит – улица, спроектированная архитектором Джоном Нэшем. Линейный город Колхаса – это ответ Нэшу, который дает современный архитектор. Таким образом, в хаотической структуре Лондона появляются кардо маскимус и кардо декуманус – урбани-

стический порядок, созданный архитекторами, и проявляется название проекта «Экзодус или добровольные узники архитектуры». Существуют различные коннотации проекта – это и Магнитогорск Ивана Леонидова, Супермонумент Суперстудии, мегаструктура, вновь раскадровка. Город состоит из квадратов, каждый со своей функцией. В городе есть все, что полагается – жилье, парк, музей, термы, госпиталь, кладбище, дворцы рождения. Вся работа сосредоточена на крае полосы, которая продвигается в реальный город и захватывает его части, преобразуя их в соответствии с архитектурными желаниями обитателей. Так город Колхаса совмещает регламентацию и свободу, решая ключевой вопрос урбанизма. Полоса становится узнаваемым знаком урбанизма Колхаса, и в его мастер-планах можно будет неоднократно видеть ее интерпретации.

Приверженность архитектора линейному городу – дань конструктивизму и кинематографу. Эти два феномена объединяет понятие «монтаж». И Колхас монтирует свой город на основе существующих аналогов, выбор которых свободен и не ограничен стилистическими пристрастиями. Это и есть выбор фактов, подобно тому, как Колхас реализовал его в своей работе журналиста. Черный квадрат Малевича и Британский музей, римские термы и парк культуры и отдыха, крестьяне Милле и кубики из игры в Го – все может оказаться в одном урбанистическом проекте. Культурный бэкграунд Колхаса велик, и каждый использованный элемент играет свою смысловую и формальную роль в его урбанистическом сценарии.

Детально разработанный сценарий находится в основе проектной концепции Колхаса. Архитектор продолжает традицию конструктивистов, расписывая каждый аспект жизнеустройства. Колхаса привлекает возможность организовать жизнь, создать взаимосвязи между всеми составляющими города, порождая урбанистическую энергию и смысл пространства. Колхас считает, что архитектор способен создать сам мир, а не только оболочку для него.

Уроки Нью-Йорка

В то время как европейские модернисты мыслили в категориях социальной утопии, в Америке развивался новый тип урбанизма, основанный на реализации желаний и фантазий с помощью технологического прогресса. Нью-Йорк был примером города, который можно построить в условиях капитализма под действием рыночных сил. Результат – культовый образ небоскребов – захватывал воображение, а суперплотность городской среды оказывала

сильное впечатление. Все это противоречило образу Лучезарного города с его свободной расстановкой башен в парке и рациональному разделению функций в модернистском городе.

Колхас выбирает Нью-Йорк в качестве объекта исследования и создает бестселлер, который незамедлительно приносит ему известность. «Нью-Йорк вне себя» представлял собой ретроактивный манифест, цель его заключалась в том, чтобы бросить взгляд назад и постичь анатомию доктрины манхэттенизма, понимаемый Колхасом как особый феномен градостроительства. Особые черты манхэттенизма представлены урбанистической сеткой и небоскребом, получившим в Нью-Йорке особую интерпретацию, отличающую его от канонических небоскребов Чикаго.

Сетка для Колхаса – это каркас, который можно насыщать элементами с помощью монтажа; это подобие киноплёнки, где все кадры одинаковы по размеру, но различны по содержанию и форме; это основание, которое регулирует и уравнивает все элементы, подчиняя исходным ограничениям. Но Сетка также создает возможности для свободы, которая определяется рыночными силами. Это приводит к удивительным контрастам и парадоксам на каждом отдельном участке. Сетка Манхэттена в представлении Колхаса продолжает тему Стены, линейного города, киноплёнки. Архитектор делит книгу на четыре блока, каждый из них состоит из нескольких эпизодов, порожденных сеткой в различных контекстах. Таким образом Колхас не только воссоздает историю Нью-Йорка подобно сценарию, но и конструирует логику манхэттенизма, развиваемую на основе Культуры скопления.

Культура скопления порождает потребность в многофункциональном пространстве, способном включать множество разнообразных функций, микс которых определяется рынком и требованием извлечь максимум пользы из ограниченного участка. Колхас описывает небоскреб Нью-Йорка как социальный конденсатор, помогающий реализовать любые желания пользователей. Изобретение лифта способствует свободе функциональной программы, которая больше не зависит от линейной последовательности этажей. Архитектор называет это явление Вертикальным шизмом, которое вместе с Лоботомией – разделением экстерьера и интерьера создает сюрреалистическое измерение города.

Иллюстрации к книге сделала жена Колхаса Маделон и благодаря этим сюрреалистическим изображениям текст обрел особый визуальный контекст. Колхас показывает, что город не возможен без плотности и разнообразного

микса функций – того, с чем боролись архитекторы-модернисты. Истинный урбанизм возникает, когда появляются многофункциональные общественные пространства, которые и создают возможность городской жизни.

Находкой Колхаса был критически-параноидальный метод, заимствованный архитектором у Сальвадора Дали. Благодаря критически-параноидальному методу можно соединять несоединимое, реализовывать любые союзы и создавать контрасты, определяющие особый дух места. Все становится возможным, поскольку свобода выражения имеет исходные ограничения в виде регулярной сетки с одинаковыми урбанистическими основаниями. Рисунок Маделон иллюстрирует это взаимодействие свободы и контроля в проекте Колхаса «Город схваченного глобуса», который становится удивительно пророческим. Спустя несколько десятилетий Маделон сделает повтор с реализацией этого проекта в книге Чарльза Дженкса [12]. Иконические объекты архитекторов-звезд, включая Колхаса, расположены на одинаковых основаниях глобального города.

Другой важный образ для Колхаса – остров. Сам Манхэттен является островом, что задает ограничения и порождает плотность. Но Манхэттен можно также представить как архипелаг островов, где каждый блок в свою очередь становится островом и вновь поощряет к развитию социальный конденсатор, который становится прямым продолжением исходных ограничений.

Колхас описал природу урбанистических фантазий, проистекающую из архитектуры парков развлечений. Тематические аттракционы имитируют любые исторические эпохи и вымышленные контексты, поставляя визуальные примеры для заказчиков. Последующее развитие архитектуры доказало влияние массовой культуры, что привело к упрощению архитектурной иконографии. Колхас будет последовательно развивать в своем творчестве альтернативу этому подходу, разрабатывая визуальность из области культуры и урбанизма. Все это проявилось не только в создании таких урбанистических икон, как небоскреб CCTV в Пекине или «города в городе» Де Роттердам, но и в его урбанистических проектах.

В конкурсном проекте Парка Ля Виллет в Париже Колхас наконец соединяет урбанистическую сетку и небоскреб особым образом. Небоскреб переворачивается на 90 градусов и становится основой мастер-плана. Лифтовая шахта превращается в кинематографический променада через парк, расчерченный на полосы-этажи. Каждая полоса представлена особым «интерьером-ландшафтом», и посетитель,

проходя по променаду, переживает смену кадров через урбанистическую анфиладу. Все общественные и коммерческие функции распределены по различным в своих размерах сеткам, наложенным друг на друга.

План становится воплощением социально-го конденсатора в пространстве парка, а гипотетический горизонтальный небоскреб в качестве мастер-плана Колхас превращает в патент на свое изобретение. Особое отношение к урбанистической сетке, тема полосы, взаимодействие регулярного и случайного, свободного и контролируемого, универсального и конкретного становятся отличительными характеристиками урбанистического проекта Колхаса. Его постоянная цель – создать плотность и разнообразие на основе очевидного универсального порядка, что выражается в ясной и лаконичной образности мастер-планов.

Урбанистический словарь мастер-плана

В ранних работах Колхас сформировал свой словарь: полоса, сетка, острова были интерпретированы во множестве различных контекстов. К этим основным элементам можно добавить супрематические и конструктивистские образы, которые часто объединяются в его проектах на основе параноидально-критического метода, заимствованного у Сальвадора Дали.

Несколько проектов демонстрируют вариации темы полосы (рис. 1). В раннем проекте города Мелун Сенар (1985 г.) пустоты в урбанистической ткани стали потенциалом для создания общественных пространств и обрели центральный смысл проекта. Полосы различной конфигурации, собранные в дадаистскую композицию, разделяют острова застройки, превращая ее в фон. Все общественные объекты сконцентрированы на прямоугольной полосе, состоящей из квадратов с разными функциями, которые показаны условно – живописные пятна Ханса Арпа соседствуют с супрематическими рисунками Казимира Малевича. Каждый квадрат таким образом может быть развит проектировщиком по своему собственному проекту, в зависимости от места пересечения полосы и застройки.

В проекте города-порта Цяньхай (2010 г.) серия параллельных полос одинаковой ширины получает ритмичное завершение через разницу длины. Как и в предыдущих проектах каждая полоса уникальна по своей композиции и функции: восемь типов программ распределены по всему участку, накладываясь и смешиваясь в отдельных локациях. Жилье, гостиницы, офисы, культурные и торговые объекты распределены по всей территории портовой зоны.

Полосы контрастируют с гигантским кругом диаметром 3,4 км и шириной 250 м, в котором расположен парк и общественные объекты. Супрематический в плане рисунок создает основание для вертикальных различий. Высотная, средняя и низкая застройка выражают специфику каждого фрагмента плана. Множество различных типологий определяют богатство и разнообразие среды, что было достигнуто за счет наложения различных слоев в композиции города-порта.

Прямоугольная полоса в проекте Культурного округа Голд-Коста (2013 г.) является общественной платформой, пересекающей живописные полосы, на которые разделена территория. Открытые пространства чередуются с пространствами культурных объектов – музеев, театров, центров исполнительских искусств – и заканчиваются полосой пляжа. Общественная платформа предоставляет доступ к объектам и создает променады с интенсивным движением по участку. Игра геометрических фигур – круга, квадрата, зигзага, выделяющихся на фоне застройки, создает дополнительные акценты к композиции открытых и закрытых полос.

Вариации сетки представлены в проектах, развиваемых на протяжении всей истории ОМА (рис. 2). Каждый раз сетка получает новый смысл и новое звучание. В мастер-плане Эль-Рай в Кувейте (2006 г.) сетка создается из сочетания качеств модернистского супер-блока и исторической застройки. Таким образом удастся раз-

местить большие общественные объекты и при этом сохранить уникальность исторического города и его важные свойства, определяемые особенностями климата. Интеграция различных типов сетки приводит к появлению уникальной планировочной структуры, в которой старое и новое, традиционное и современное могут сосуществовать в гармонии.

В проекте Прибрежного города в Дубае (2008 г.) планировка вдохновлена Манхэттеном. Остров представляет собой квадрат в плане со стороной 1310 м. Квадрат разбит на 25 традиционных городских кварталов. Здания разной высоты, расположенные нерегулярно, создают живописность по контрасту к простой сетке. В одной из крайних кварталов проектируется 44-этажная сфера, напоминающая о своем прототипе в книге «Нью-Йорк вне себя». Контраст также заложен и в самом размещении острова, связанного двумя мостами с берегами залива. С двух сторон остров окружен полосой одинаковых высоток вдоль набережной. С северной стороны от Прибрежного города находится жилой район с застройкой, основанной на исторических традициях. В результате Прибрежный город становится символом современности, но его структура интерпретирует живописность и плотность исторического города.

Планировочная структура Дубайского фонда знаний (2019 г.) представляет собой шахматную доску из 18 квадратов размером 360 x 360 м. Каждый квадрат разработан индивиду-



Рис. 1. Интерпретация полосы в мастер-планах:
а – Мелун-Сенар; б – город-порта Цяньхай; в – Культурный округ Голд-Коста

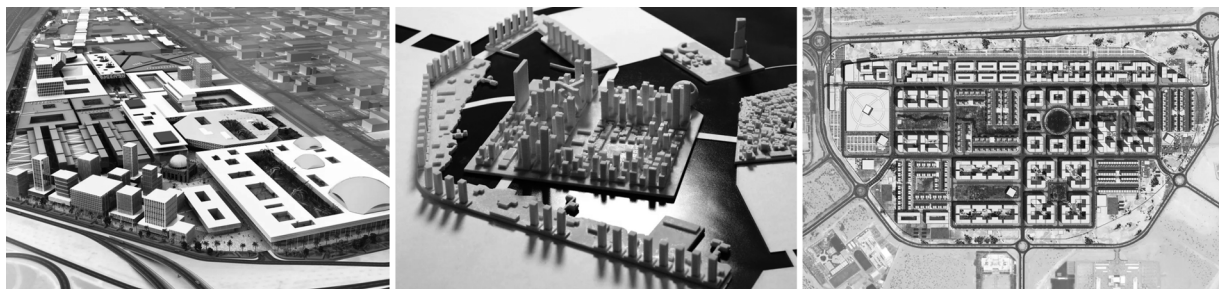


Рис. 2. Интерпретация сетки в мастер-планах:
а – Эль-Рай в Кувейте; б – Прибрежный город в Дубае; в – Дубайский фонд знаний

ально, и, таким образом, мастер-план становится выставкой урбанистических типологий и коллекцией урбанистических сеток. 18 различных композиций объединены непрерывным парком, геометрия которого варьируется в соответствии с планировкой каждого блока. Таким образом, ОМА простыми средствами добиваются, с одной стороны, идентичности нового района, с другой – разнообразия среды.

Тема острова или архипелага островов привлекает Колхаса с момента обучения у Освальда Матиаса Унгера и исследования Манхэттена (рис. 3). Остров создает условия для суперплотности и одновременно сохраняет автономию. В проекте Пенанга в Малайзии (2004 г.) архипелаг островов следует традиции тропического города, который представляет собой фрагменты застройки среди зелени. Несколько кругов различных размеров напоминают также о традиционном азиатском супе, в котором ингредиенты плавают в насыщенном бульоне. Каждый остров-круг имеет уникальную планировку и является средоточием отдельной типологии. Концентрация застройки на островах контрастирует с планировочным хаосом вокруг. Острова создают урбанистический смысл территории, поскольку каждый из них становится центром в своем окружении, при этом взаимодействуя с другими центрами.

В концепции аэропорта Хамад в Катаре (2013 г.) разработан линейный город, подобный своему прототипу, созданному Николаем Милутиным. Каждая полоса представлена особой функцией – здесь есть деловой район, авиационный городок, логистический район и жилой район, примыкающий к гавани. Четыре острова, выстроенные в линию, образуют четыре жилых квартала. Различные интерпретации темы круга и коллекция типологий создают разнообразие в форме островов. Через все острова проходит центральный зеленый променад, внутри которого расположены общественные объекты. Развивая модернистскую тему линейного города, ОМА находит возможность адаптировать архипелаг островов к исторической схеме.

В мастер-плане Мериньяк-Солей в Бордо (2016 г.) острова в виде супрематических фигур

разбросаны в свободном порядке на территории новой коммуны в пригороде Бордо. ОМА достигает равновесия между ландшафтом и застройкой, предлагая альтернативу традиционной пригородной зоне с индивидуальными домами. Здесь острова-кварталы создают точки концентрации, с одной стороны, сохраняя смысл урбанизма, с другой – позволяя развивать зеленое пространство вокруг. Таким образом, распределенная плотность обеспечивает городские качества и одновременно сохраняет живость природного окружения. Застройка включает в себя разнообразие функций. Кроме жилья, здесь есть культурные и торговые объекты, что повышает качество пригородной среды.

Выводы. Применение сценарного подхода к урбанистическому проектированию позволило Рему Колхасу создать альтернативу модернистскому функциональному зонированию. Сложная программа жизнедеятельности, возникающая в результате разработки сценария, включает множество аспектов, выходящих за рамки функциональной редукции. Город, который возникал на основе сложной программы, отвечает не только требованиям производственной функции, но способен к реализации культурных и духовных потребностей человека и создает большое количество возможностей во всех областях для различных социальных групп. Этот тип города востребован современной экономической системой в условиях глобализации. Ранние работы Колхаса демонстрируют предчувствие социальных, экономических и урбанистических изменений.

Колхасу удалось соединить преимущества модернизма с постмодернистской парадигмой. В отличие от многих архитекторов, отказывающихся от модернистского мышления, Рем Колхас развивает лучшие открытия российского и европейского авангарда, объединяя их с особым типом урбанизма, который сложился в Америке. Колхас демонстрирует особый вид синтетического урбанизма, включающий как исторические, так и современные прецеденты, а также основывается на глобальном и локальном контексте. Это приводит к появ-



Рис. 3. Интерпретация островов в мастер-планах:
а – Пенанг в Малайзии; б – аэропорт Хамад в Катаре; в – Мериньяк-Солей в Бордо

лению сложноорганизованных мастер-планов, каждый из которых определяет уникальность и идентичность нового района/города.

Урбанистический словарь Рема Колхаса сложился в первые годы его творчества. Рассматривая мастер-план не как функционалистскую схему, но как многосоставную урбанистическую композицию, архитектор использует традиционные урбанистические структуры вместе с абстрактными паттернами, проистекающими из супрематизма. Полосы, сетки, острова интерпретируются в его проектах в различных вариациях. Несмотря на бесконечное разнообразие мастер-планов, эти элементы определяют авторское видение, развиваемое в его архитектурном бюро ОМА. Таким образом, Колхас развивает иконический урбанизм, являющийся сегодня важной альтернативой механическому урбанистическому планированию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lacerda Neto F. Aesthetic Delirious Urbanism – Rem Koolhaas. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. Vol.603. № 3. DOI:10.1088/1757-899x/603/3/032057
2. Chang Y. A Study on the Characteristic of Architecture and Urbanism of Koolhaas in 'city in the city' // Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 2018. Vol. 34. № 7. Pp.89-98. DOI: org/10.5659/JAIK_PD.2018.34.7.89
3. Koolhaas R. Delirious New York. New York: Monacelli Press, 1997. 320 p.
4. Данилова Э.В. Теория городских фактов Альдо Росси: истоки и идеи // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, № 3 (40). С. 52-58. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.8
5. Walker J. Islands-in-the-City: Berlin's urban fragments // The Journal of Architecture. 2015. V. 20. № 8. Pp. 699-717. DOI: 10.1080/13602365.2015.1075226
6. Данилова Э.В. Концепция коллажного города Колина Роу и Фреда Кеттера в контексте современной теории архитектуры // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11. № 1 (42). С. 103-109. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.14
7. Schrijver L. Transatlantic crossings: new forms of meaning in the city of the 1970s // Planning Perspectives. 2016. V. 31. № 1. Pp. 103-113. DOI: 10.1080/02665433.2015.1096821
8. Schrijver L. OMA as tribute to OMA: exploring resonances in the work of Koolhaas and Ungers // The Journal of Architecture. 2008. Vol. 13. №3. Pp. 235-261. DOI:10.1080/13602360802214927
9. Freeman B. The moment for something to happen. On the heyday, the demise, and the legacy of the Institute for Architecture and Urban Studies, 1967–84. [Электронный ресурс]. URL: http://www.library.ru/1/kb/articles/article.php?a_uid=225 (дата обращения: 24.12.2007).
10. De Cauter L, Heynen H. The Exodus Machine. In: Macel O, Schaik MV (Eds.), Exit Utopia: Architectural Provocations 1956-1976. Berlin: Prestel, 2005. pp. 263-276.
11. Koolhaas R. S, M, L, XL. New York: Monacelli Press, 1995. 1250 p.
12. Jencks C. The Story of Post-Modernism: Five Decades of the Ironic, Iconic and Critical in Architecture. Hoboken: Wiley, 2011. 272 p.

REFERENCES

1. Lacerda Neto F. Aesthetic Delirious Urbanism – Rem Koolhaas. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, vol. 603, no. 3. DOI:10.1088/1757-899x/603/3/032057
2. Chang Y. A Study on the Characteristic of Architecture and Urbanism of Koolhaas in "city in the city". Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 2018, vol. 34, no. 7, pp. 89-98. DOI: 10.5659/JAIK_PD.2018.34.7.89
3. Koolhaas R. Delirious New York. New York, Monacelli Press, 1997. 320 p.
4. Danilova E.V. Aldo Rossi theory of urban facts: origins and ideas. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 3, pp. 52-58 (in Russian). DOI: 10.17673/Vestnik.2020.03.8.
5. Walker J. Islands-in-the-City: Berlin's urban fragments. The Journal of Architecture, 2015, vol. 20, no 8, pp. 699-717. DOI: 10.1080/13602365.2015.1075226
6. Danilova E.V. Concept of the collage city of Colin Rowe and Fred Ketter in the context of contemporary architecture theory. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 1, pp. 103-109 (in Russian). DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.14
7. Schrijver L. Transatlantic crossings: new forms of meaning in the city of the 1970s. Planning Perspectives, 2016, vol. 31, no.1, pp. 103-113. DOI: 10.1080/02665433.2015.1096821
8. Schrijver L. OMA as tribute to OMA: exploring resonances in the work of Koolhaas and Ungers. The Journal of Architecture, 2008, vol.13, no. 3, pp. 235-261. DOI:10.1080/13602360802214927
9. Freeman B. "The moment for something to happen". On the heyday, the demise, and the legacy of the Institute for Architecture and Urban Studies, 1967–84. Available at: http://www.library.ru/1/kb/articles/article.php?a_uid=225.
10. De Cauter L., Heynen H. The Exodus Machine. In: Macel O, Schaik MV, editors. Exit Utopia: Architectural Provocations 1956-1976. Berlin, Prestel, 2005, pp. 263-276.
11. Koolhaas R. S, M, L, XL. New York, Monacelli Press, 1995. 1250 p.
12. Jencks C. The Story of Post-Modernism: Five Decades of the Ironic, Iconic and Critical in Architecture. Hoboken, Wiley, 2011. 272 p.

Об авторах:

ДАНИЛОВА Элина Викторовна

кандидат архитектуры, доцент, профессор кафедры градостроительства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: red_avangard@mail.ru

DANILOVA Elina V.

PhD in Architecture, Professor of the Town Planning Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: red_avangard@mail.ru

ВАЛЬШИН Расим Мунирович

доцент, доцент кафедры градостроительства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: r.m.wall@mail.ru

VALSHIN Rasim M.

Associate Professor of the Town Planning Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: r.m.wall@mail.ru

Для цитирования: Данилова Э.В., Вальшин Р.М. Город Рема Колхаса: от теории к мастер-плану // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 76–83. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.12.

For citation: Danilova E.V., Valshin R.M. City of Rem Koolhaas: from Theory to Masterplan. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 76–83. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.12.

ПОДПИСКА – 2022

**НА ЯНВАРЬ–ИЮНЬ ПО ИНТЕРНЕТ-ВЕРСИИ «ОБЪЕДИНЕННОГО КАТАЛОГА
«ПРЕССА РОССИИ» НА САЙТАХ WWW.PRESSA- RF.RU И WWW.AKC.RU**

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

**ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ, ЧТО С 1 СЕНТЯБРЯ 2021 Г. ПРОВОДИТСЯ ПОДПИСНАЯ КАМПАНИЯ
НА ЖУРНАЛЫ САМАРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА (ПЕРВОЕ ПОЛУГОДИЕ 2022 ГОДА)**

18106 Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки»

18107 Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Психолого-педагогические науки»

18108 Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Физико-математические науки»

41340 Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Философия»

70570 Градостроительство и архитектура

Условия оформления подписки Вы найдете на сайтах www.pressa-rf.ru и www.akc.ru

В. А. САМОГОРОВ

ЖИЛЫЕ КВАРТАЛЫ АВИАЗАВОДОВ В ИНДУСТРИАЛЬНОМ РАЙОНЕ БЕЗЫМЯНКА В Г. КУЙБЫШЕВЕ (1940–1950-е)

RESIDENTIAL QUARTERS OF AIRCRAFT FACTORIES IN THE INDUSTRIAL AREA BEZYMANKA IN KUIBYSHEV (1940-1950S)

Рассматриваются кварталы жилой застройки авиационных заводов в индустриальном районе г. Куйбышева – Безымянка, запроектированные Куйбышевским филиалом института «Гипроавиапром» и построенные в конце 1940-х – середине 1950-х гг. Анализируются особенности их строительства и архитектурно-планировочной организации, определяется периодизация строительства, показаны параметры застройки, архитектурно-стилистические характеристики, исследуется опыт градостроительного развития жилой застройки на принципах создания «укрупненного квартала», оцениваются результаты взаимодействия двух проектных организаций – Архитектурно-планировочной мастерской г. Куйбышева и института проектирования промышленных предприятий и ведомственной застройки авиационного профиля – Гипроавиапрома.

Ключевые слова: генеральный план г. Куйбышева, соцгород, индустриальный район Безымянка, архитектурно-планировочная структура жилого квартала, укрупненный квартал, Государственный институт проектирования заводов авиационной промышленности – Гипроавиапром

Индустриальный район Безымянка. Широкомасштабное промышленное строительство в 1940-е гг. в новом индустриальном районе г. Куйбышева – Безымянке повлекло за собой огромное по масштабам строительство жилья для рабочих и инженерно-технических работников, а также для эвакуированных граждан [1]. Только за первые полгода войны население Куйбышева увеличилось с 390 до 529 тыс. человек. Рядом с новыми заводскими корпусами появились кварталы жилой застройки. За годы войны небольшой рабочий поселок при железнодорожной станции превратился в крупный промышленно-селитебный район города с собственной бытовой и культурной инфраструктурой. Его планировочная структура была сформирована прямоугольной сеткой улиц с укрупненными жилыми кварталами размером 300 x 350 м и площадью около 10 га (рис. 1). Застройка велась комплексно, с объектами культурно-бытового обслуживания – шко-

The paper considers the residential quarters of aircraft factories in the industrial area of Kuibyshev - Bezymyanka, designed by the Kuibyshev branch of the Giproaviaprom Institute and built in the late 1940s - mid 1950s. The features of their construction and architectural and planning organization are analyzed, the periodization of construction is determined, the building parameters, architectural and stylistic characteristics are shown, the experience of urban planning development of residential buildings is investigated on the principles of creating an “enlarged quarter”, the results of interaction between two design organizations - the Architectural and Planning Workshop of St. Kuibyshev and the Institute for the Design of Industrial Enterprises and Departmental Development of the Aviation Profile - Giproaviaprom.

Keywords: the general plan of Kuibyshev, social city, the industrial area of Bezymyanka, architectural and planning structure of the residential quarter, an enlarged quarter, the State Institute of Design of Aviation Industry Plants – Giproaviaprom

лами, детскими садами и яслями, столовыми, магазинами, банями и другими объектами. Жилые дома обеспечивались водопроводом, канализацией, теплофикацией и электроосвещением [2].

Основу планировки центральной части района образовали две главные магистрали – 2-я Безымянная улица (ул. Победы) и 1-й проезд (пр. Кирова) (рис. 2). Кировское шоссе было сформировано двухэтажной застройкой на основе типовых проектов 1940-х гг., оно имело широкий поперечный профиль с бульварами по обеим сторонам от проезжей части. Улица Победы, соединившая Безымянку с историческим центром Куйбышева, застроена четырех-пятиэтажными капитальными домами и получила ансамблевую трактовку. Архитектурное качество возведенных зданий было достаточно высоким. Некоторые из построенных жилых домов на Кировском шоссе получили премии на республиканских архитектурных

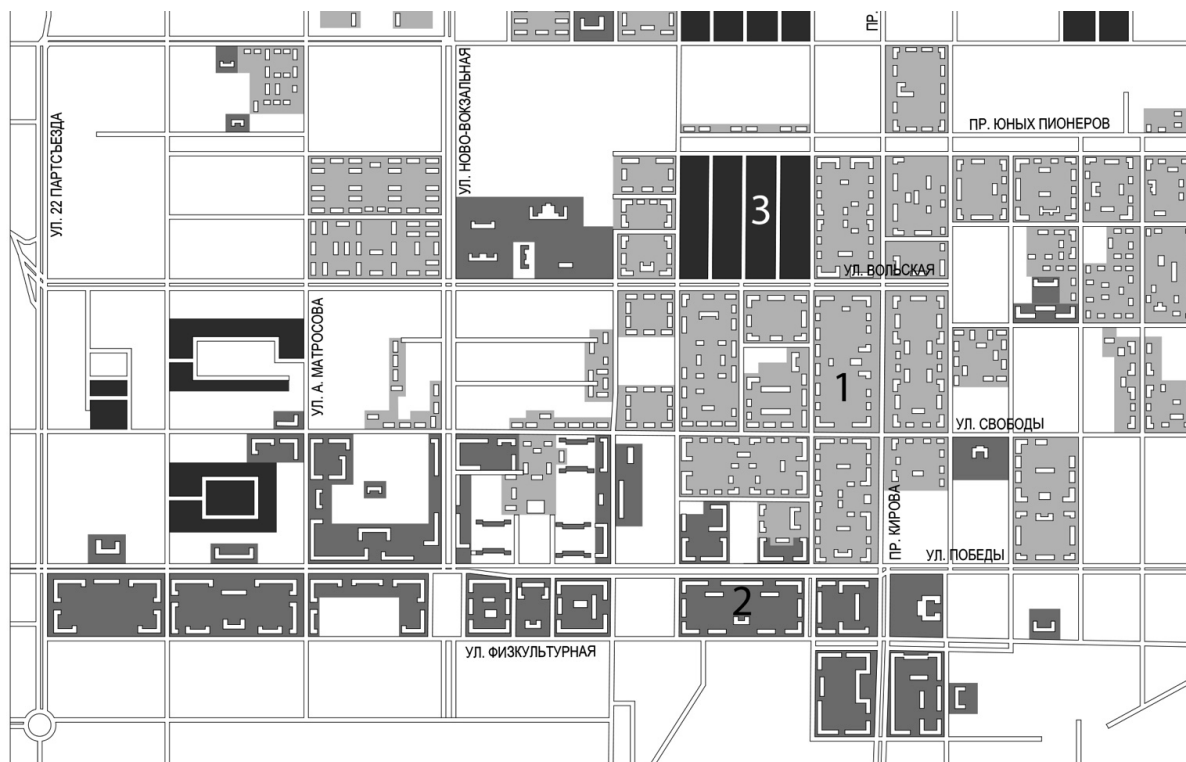


Рис. 2. Застройка жилых кварталов Центрального района Безымянки:

1 – застройка 1940-х гг.; 2 – застройка 1950-х гг.; 3 – индивидуальная усадебная застройка 1940–1950-х гг.

Основу центра Безымянки сформировали кварталы комплексной жилой застройки с объектами культурно-бытового обслуживания заводов Министерства авиационной промышленности СССР. Кварталы № 712 и № 713 были первыми послевоенными кварталами на Безымянке, застроенными капитальными многоэтажными зданиями (рис. 3). Позже были построены жилые кварталы № 718–719 и № 721. С 1945 по 1950 гг. Куйбышевским филиалом института «Гипроавиапром» (Специальным проектным бюро-1) были выполнены проекты жилых кварталов для трех авиационных заводов – № 1, № 18 и № 24, построенных на Безымянке во время войны.

Квартал № 712 располагается в границах улиц Победы, Кирова, Физкультурной и Краснодонской. На основании решения Куйбышевского горисполкома от 22 сентября 1945 г. № 39/23 Заводу имени Ворошилова (завод № 18) был отведен земельный участок площадью 154×74 м в квартале № 712 Молотовского района г. Куйбышева под застройку трехэтажными жилыми домами. Генеральный план квартала № 712 был разработан АПМ г. Куйбышева под руководством А.Л. Каневского в соответствии с проектным заданием, утвержденным Архитектурной комиссией Горисполкома 26 февраля 1947 г., и был согласован Отделом

по делам архитектуры г. Куйбышева 21 января 1948 г. (протокол № 3). Квартал имеет размеры сторон в плане 154×150 м. Общая площадь застройки квартала составляла 2,32 га. Общее количество запланированных квартир в квартале равнялось 225.

Проект застройки квартала № 712 по Кировскому шоссе трехэтажными жилыми домами, предназначавшимися для Завода имени Сталина (завод № 1, п/я № 208) и Завода имени Ворошилова (завод № 18, п/я № 143), был рассмотрен на заседании Архитектурной комиссии Отдела по делам архитектуры при Куйбышевском горисполкоме 3 августа 1945 г. (протокол № 33) (рис. 4). На этом же заседании был согласован проект жилого дома в квартале № 712 по Кировскому шоссе (пр. Кирова, 46), разработанный Куйбышевским филиалом Гипроавиапрома – Специальным проектным бюро. Автором проекта был архитектор Н.Б. Кузнецов. Согласно проекту здание отодвинуто вглубь квартала от красной линии, образуя курдонер с зелеными насаждениями, отделенный от улицы оградой. По стилю здание повторяет архитектуру жилого дома в квартале № 713 (пр. Кирова, 42). Здание трехэтажное, каменное, с подвалом, состоит из 5 секций. Количество квартир – 74. Сооружение здания было начато в сентябре 1945 г. и завершено в декабре 1948 г.

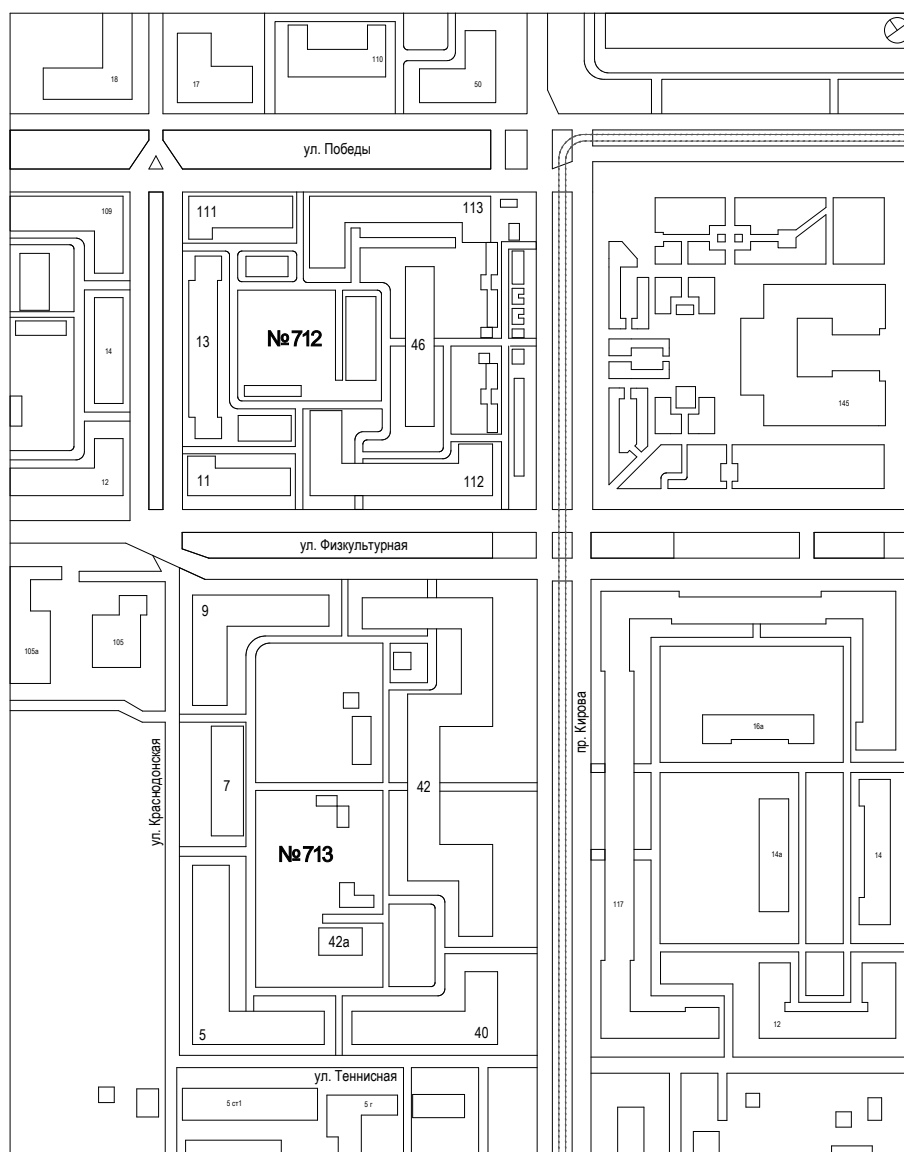


Рис. 3. Жилые кварталы № 712 и № 713 авиационных заводов,
Куйбышевский филиал Гипроавиапрома, арх. Н.Б. Кузнецов, 1945–1951

Проект жилого дома по пр. Кирова, 44 / ул. Физкультурной, 112, разработанный Гипроавиапромом в 1947 г., 14 апреля 1948 г. был утвержден 10-м Главным управлением Министерства авиационной промышленности СССР (протокол № 28) и 10 марта 1948 г. согласован с Отделом по делам архитектуры г. Куйбышева (протокол № 7). Автором проекта был архитектор Н.Б. Кузнецов. трехэтажное капитальное здание, без подвала, с железной кровлей, состоит из четырех секций. Сооружение здания

было начато в ноябре 1950 г. и завершено в сентябре 1951 г.

Проект дома на 26 квартир по ул. Физкультурной, 110 / ул. Краснодонской, 11, разработанный Куйбышевским филиалом Гипроавиапрома – Специальным проектным бюро, был утвержден Главным управлением Министерства авиационной промышленности СССР 23 марта 1948 г. (протокол № 16). Автор проекта – архитектор В.А. Ларионов. Здание трехэтажное, кирпичное, с подвалом,

состоит из трех секций. Имеет все виды инженерно-коммуникационных сетей. Сооружение здания было начато в июле 1948 г. и завершилось в мае 1950 г. [ЦГАСО. Ф. р. - 56. Оп. 2. Д. 156. Л. 292. Оп. 51. Д. 193. Лл. 361-364 об. Ф. р. - 4250. Оп. 1. Д. 14, 18].

Квартал № 713 находится в границах улиц Физкультурной, Кирова, Теннисной и Краснодонской. Земельный участок площадью 224×155 м был отведен Заводу имени Фрунзе (завод № 24) Министерства авиационной промышленности СССР на основании решения Куйбышевского горисполкома от 17 мая 1945 г. № 20/14 под строительство кирпичных трех-четырехэтажных жилых домов. Генеральный план квартала был разработан Куйбышевским филиалом Гипроавиапрома – Специальным проектным бюро, в соответствии с проектным заданием, утвержденным Архитектурной комиссией Горисполкома 20 ноября 1946 г., и был согласован Отделом по делам архитектуры г. Куйбышева 12 марта 1947 г. (протокол № 11). Автором проекта детальной планировки квартала был куйбышевский архитектор В.А. Ларионов. Застройка квартала № 713 началась

в 1945 г. со стороны Кировского шоссе. Согласно проекту жилые дома запроектированы из красного кирпича с частичной штукатуркой деталей, за исключением дома № 2 (пр. Кирова, 40), решенного полностью в штукатурке, для лучшей увязки с ранее построенным домом № 1 (пр. Кирова, 42). Все здания в квартале были трехэтажными, за исключением четырехэтажного дома № 2 (пр. Кирова, 40). Сторона квартала по 8-й линии (ул. Краснодонской) выходила к проектировавшемуся спорт-парку. Внутри квартала планировалось построить детский сад на 125 детей и временную котельную. В подвальных этажах домов располагались сараи для дров и газоубежище. В квартале запроектировано водоснабжение (в том числе горячее – от тепловых сетей), канализация, теплофикация и электроосвещение от квартальной трансформаторной подстанции. Общая площадь квартала составляла 3,65 га.

В числе первых капитальных многоэтажных зданий был построен жилой дом по адресу пр. Кирова, 42 / ул. Физкультурная, 115 (1945–1948) (рис. 5). Проект застройки квартала № 713 по Кировскому шоссе трехэтажными



Рис. 4. Квартал № 712, жилой дом, угол ул. Победы, 113 и пр. Кирова, 48, Куйбышевский филиал Гипроавиапрома, арх. Н.Б. Кузнецов, начало 1950-х (фото В.А. Самогорова, 2020)

жилыми домами, предназначавшимися для Завода имени Фрунзе (завод № 24, п/я № 32), был рассмотрен на заседании Архитектурной комиссии Отдела по делам архитектуры при Куйбышевском горисполкоме 3 августа 1945 г. (протокол № 33). На этом же заседании был согласован проект жилого дома в квартале № 713 по Кировскому шоссе. Проект был разработан Куйбышевским филиалом Гипроавиапрома – Специальным проектным бюро. Автором проекта жилого дома был архитектор Н.Б. Кузнецов. Трехэтажное кирпичное здание состоит из 11 типовых секций, утвержденных техническим советом Наркомата авиационной промышленности для строительства в 1945 г. Первый этаж запроектирован из кирпича, второй и третий – из шлакозольных камней. В доме насчитывалось 162 квартиры. Здание имело все виды инженерно-коммуникационных сетей. В квартирах потолки были оштукатурены по подшивке из теса вместо применявшегося ранее гипсореечного наката. На кухнях установлены сущевские плиты вместо кухонных очагов. Для каждой квартиры во дворе дома устроен сарай с погребом.

Архитектура здания решена в классическом стиле. Жилой дом имеет сложную конфигурацию в плане, с цилиндрическим угловым объемом. Фасад по ул. Физкультурной выходит на красную линию. По проспекту Кирова центральная часть здания смещена внутрь квартала, образуя курдонер, который отгорожен от улицы металлическим ограждением. По центру здания запроектирована проезжая арка во двор. Здание завершается фронтоном с лепным декором и антаблементом, в котором триглифы чередуются с барельефами на тему советской символики. Строительство здания было начато в 1945 г. и завершено в июле 1948 г.

Городским отделом по делам архитектуры был организован отбор на Всероссийский конкурс лучших зданий города, построенных в 1948 г. Жюри в составе архитекторов И.Л. Шафрана (председатель), П.А. Парамонова, А.М. Иванцова, В.А. Ларионова, П.А. Щербачева, М.В. Дегтярева, инженеров П.С. Коновалова (отв. секретарь), П.Н. Ашитко и начальника Городской инспекции государственного архитектурного строительства Панина для участия в конкурсе выбрало жилой дом Завода имени Фрунзе на



Рис. 5. Квартал № 713, жилой дом «Зеленый Шанхай», пр. Кирова, 42 / ул. Физкультурная, 115, Куйбышевский филиал Гипроавиапрома, арх. Н.Б. Кузнецов, 1945–1948 (фото В.А. Самогорова, 2020)

Кировском шоссе в квартале № 713. По итогам Всесоюзного конкурса, приказом Управления по делам архитектуры при Совете Министров РСФСР от 23 апреля 1949 г. № 143 за строительство 162-квартирного жилого дома по Кировскому шоссе в г. Куйбышеве, за хорошее композиционное решение здания и архитектуру фасада, за высокое качество строительных и отделочных работ, за применение передовых методов строительства коллектив строителей, в том числе автор проекта архитектор Н.Б. Кузнецов, был награжден второй премией.

Жилой дом по ул. Краснодонской, 5 запроектирован в 1948 г. Куйбышевским филиалом Гипроавиапрома – Специальным проектным бюро, архитектор И.Г. Шульман. Проект дома был согласован Архитектурной комиссией г. Куйбышева от 16 апреля 1947 г. (протокол № 16) и техническим совещанием при начальнике Отдела капитального строительства 3-го Главного управления Министерства авиационной промышленности от 19 июля 1947 г. (протокол № 49). Архитектурное решение фасадов строилось на контрасте архитектурных деталей, окрашенных в белый цвет, и стен из красного кирпича. Здание трехэтажное, кирпичное, состоит из восьми секций. Строительство было начато в октябре 1948 г. и завершилось в июле 1951 г. Решением исполнительного комитета Куйбышевского городского Совета депутатов трудящихся от 16 августа 1951 г. № 40/827 был утвержден акт Государственной приемочной комиссии от 10 августа 1951 г. о сдаче в эксплуатацию жилого дома № 3 (ул. Краснодонская, 5) на 59 квартир в квартале № 713 Кировского района г. Куйбышева [ЦГАСО. Ф. р.-56. Оп. 2. Д.148. Л. 244. Оп. 51. Д. 279. Лл. 45-50. Ф. р.-4250. Оп. 1. Д.д.10, 14].

Жилой дом Завода имени Фрунзе (завод № 24, п/я № 32) по ул. Краснодонской, 7, также был запроектирован Куйбышевским филиалом Гипроавиапрома (Специальным проектным бюро), арх. И.Г. Шульман, в 1947 г. Проект дома был утвержден протоколом Архитектурной комиссии от 19 февраля 1947 г. № 8. Согласно проекту дом располагался на расстоянии 5 м от красной линии. Входы в жилые секции были организованы со стороны двора. Со стороны улицы запроектирована металлическая ограда, проходившая по красной линии от корпуса № 3 (ул. Краснодонская, 5) до корпуса № 5 (ул. Краснодонская, 9) с воротами напротив въездов в квартал и калитками в них. Здание трехэтажное, кирпичное, без подвала, состоит из трех секций. Строительство начато в январе 1948 г. и завершено в мае 1949 г. [ЦГАСО. Ф. р.-56. Оп. 2. Д.148. Л. 244. Оп. 51. Д.137. Лл. 94 – 101. Ф. р.-4250. Оп. 1. Д.д.10, 14].

В 1949 г. институтом «Гипроавиапром» был разработан проект застройки **квартала № 718–719** (рис. 6), согласованный с архитектурной комиссией при начальнике городского отдела по делам архитектуры (протокол № 23 от 27 июля 1949 г.). Земельный участок в границах улиц Воронежской, Победы, Краснодонской и Физкультурной был выделен авиационному заводу под жилую застройку (решение № 23/432 от 6 мая 1950 г.). Размер квартала 346х150 м. На участке площадью 5,14 га предполагалось построить 11 жилых домов, школу на 880 учащихся, детские ясли на 88 мест и детский сад на 110 мест. Квартал № 718-719 проектировался и застраивался как единый архитектурный комплекс. Все здания были решены в стиле советской классики.

В соответствии с постановлением Совета Министров СССР (№ 3772 от 4 ноября 1948 г.), которое запретило местным органам Комитета по делам архитектуры при Совете Министров СССР утверждать индивидуальные проекты для строительства жилых и гражданских зданий и выдавать разрешения на производство работ по индивидуальным проектам, московский Гипроавиапром в 1949 г. разработал типовые жилые секции серии № 10. Приказом № 569 от 30 мая 1949 г. Комитета по делам архитектуры при Совете Министров СССР они были утверждены и рекомендованы для строительства в Центральных и Восточных районах СССР. В архитектуре Куйбышева дома серии № 10 встречаются в разных районах города. Особой популярностью пользовались здания, скомпонованные из трех секций. Их структура позволяла создавать ясные композиционные решения с классическими симметричными фасадами. В квартале № 718 насчитывается шесть трехсекционных зданий этой серии.

В квартале № 718-719 располагалась школа № 120. Четырех-этажное здание было построено в 1951 г. по проекту, разработанному в 1947 г. Московской архитектурной мастерской Минпроса архитектором А. Крыловым. В августе 1951 г. школа была построена и сдана в эксплуатацию (Решение № 891 от 6.09.1951) [ЦГАСО: Ф.Р-56. Оп. 51. Д.д.189,282. Ф.Р-4250. Оп.1. Д.д.22,27. Ф.Р-4371. Оп.1. Д.15]. Школа в квартале занимала центрально-осевое положение. Относительно нее симметрично по улице Физкультурной располагались жилые дома.

Жилые дома завода п/я 208 (завод «Прогресс») по ул. Физкультурной, 102 и 106 были также запроектированы Гипроавиапромом (архитекторы Н.Б. Кузнецов, С.С. Андросов) в 1953 и 1952 гг. соответственно. Здания были построены по одному проекту как многоквартирные жилые дома секционного типа. Оба

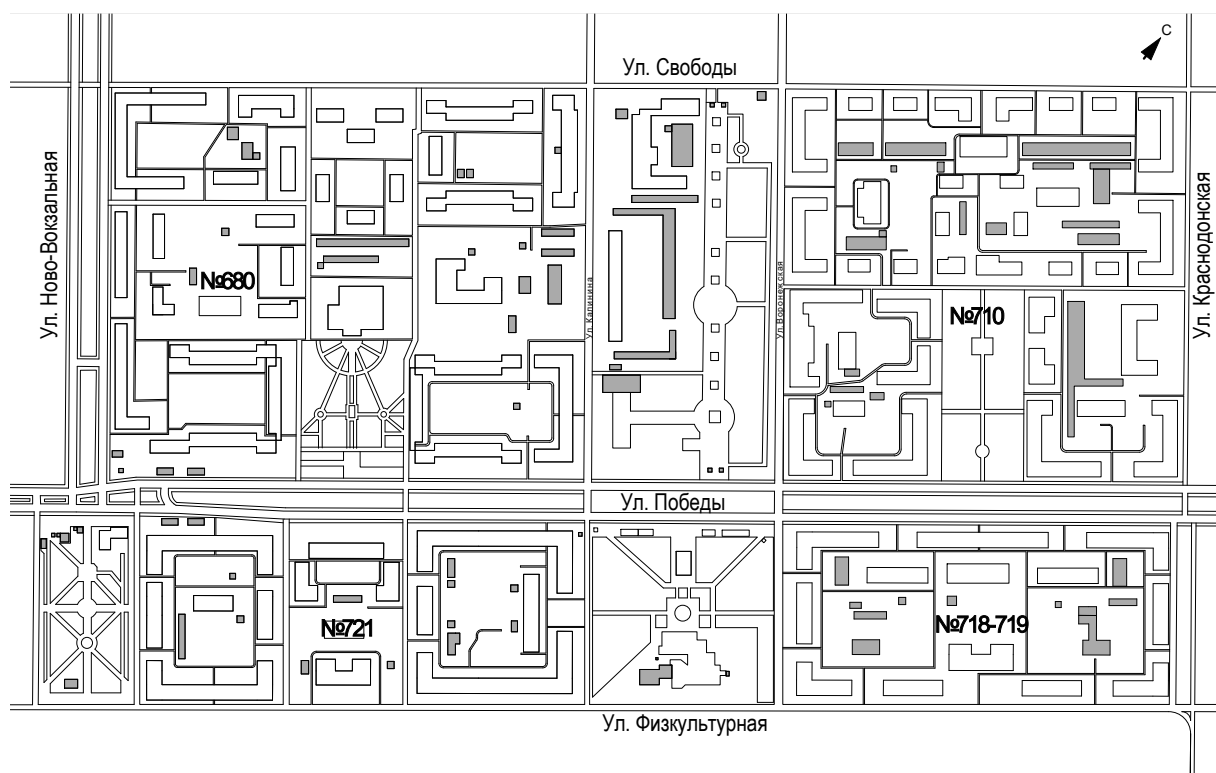


Рис. 6. Жилые кварталы авиационных заводов № 718, 719 и 721, Куйбышевский филиал Гипроавиапрома, арх. Н.Б. Кузнецов, 1949–1955

кирпичные, четырех–пятиэтажные, прямоугольные в плане, расположены по красной линии улицы Физкультурной. Центральная секция – пятиэтажная, боковые – четырехэтажные. Ось симметрии акцентирована порталом входа в нежилые помещения на первом этаже [ЦГАСО. Ф.Р-56. Оп.51. Д.д.189, 435, Ф.Р-4250. Оп.1. Д.д.22, 27, Ф.Р-4371. Оп.1. Д.15].

Гипроавиапромом были запроектированы жилые дома завода п/я 208 (завода «Прогресс») по адресам: ул. Физкультурная, 100 / ул. Воронежская, 1 (1954) и ул. Физкультурная, 108 / ул. Краснодонская, 12 (1952) (архитектор Н.Б. Кузнецов). Жилые четырехсекционные здания, Г-образные в плане, симметрично фиксируют углы квартала. Это четырехэтажные, 33-квартирные дома, с общественными функциями на первом этаже. Проекты разработаны на основе типовых жилых секций серии № 10. Фасады по улице Физкультурной имеют симметричную композицию. Два неглубоких ризалита с фронтонами смещены к флангам здания. На первом этаже запроектированы большие арочные окна-витрины, обрамленные рельефными архивольтами. Три входа в магазины акцентированы пилястрами, переходящими в кронштейны и бетонные ограждения балконов. Фасады зданий, включая дворовые, имеют смешанную от-

делку – первые этажи отштукатурены и окрашены, углы домов и ризалитов отштукатурены под руст. Карнизы зданий и тимпаны украшены зубцами, под окна 4-го этажа помещены декоративные барельефы [ЦГАСО. Ф.р.-56. Оп.51. Д.д.189, 484. Ф.р.-4250. Оп.1. Д.д.21,22,27. Ф.р.-4371. Оп.1. Д.15].

Со стороны улицы Победы, 105 (рис. 7), на одной оси со зданием школы № 120, в 1952 г. построен жилой дом переменной этажности – центральная часть четырехэтажная, угловые секции – пятиэтажные, с проездной аркой во двор. Фасады выполнены из красного кирпича с декоративными бетонными вставками, углы фиксируются рустом. Ризалиты завершаются треугольными фронтонами с круглыми чердачными окнами.

Жилой дом по улице Победы, 109 построен в 1952 г. (рис. 8). Здание имеет Г-образное очертание в плане и переменную этажность – южное крыло пятиэтажное, северное четырехэтажное. Главные фасады оформляют угол ул. Победы и ул. Краснодонской. Протяженный фасад организован вертикальным ритмом балконов с металлическими ограждениями и эркерами. Под оконными проемами эркером по третьему и четвертому этажам запроектированы ниши с декоративными барельефами. Пятиэтажная

часть здания завершается треугольным фронтоном.

Жилой дом по ул. Воронежской, 1-А (архитектор Н.Б. Кузнецов, 1951–1953), расположенный в квартале № 718, состоял на балансе завода «Прогресс» (п/я 208) (решение № 23/432 от 6 мая 1950 г.). Это пятиэтажный, трехсекционный, 40-квартирный жилой дом. Проект здания разработан на основе секций серии № 10. Фундамент дома заложили в мае 1951 г. Здание было сдано в эксплуатацию в 1953 г. (решение № 741 от 28 июля 1953 года) [ЦГАСО. Ф.р.-56. Оп.51. Д.д.189, 435, Ф.р.-4250. Оп.1. Д.д.22, 27, Ф.р.-4371. Оп.1. Д.15].

Жилой дом по адресу ул. Победы, 101 / ул. Воронежская, 3 (архитектор Н.Б. Кузнецов, 1951–1953) состоял на балансе завода «Прогресс» (п/я 208). По сведениям БТИ дом построен в 1953 г. Проект разработан на основе типовой секции серии № 10. Технический проект дома (строительный № 10) был представлен на рассмотрение в феврале 1950 г. (протокол № 9 от 22 февраля 1950 г.). При обсуждении проекта эксперты высказали немало замечаний, касающихся объемно-пространственной композиции здания и характера декоративной отделки. Так, зная качество местных строительных материалов и квалификацию рабочих треста № 11, члены архитектурной комиссии считали неприемлемым «оставить кирпичную

кладку на уличных фасадах». В конечном варианте фасады зданий были оштукатурены. Слуховые окна (над эркерами), «дополнительно использованные для архитектурных акцентов поверх основных карнизов», посчитали уместными. Множество споров и предложений вызвало башенное завершение в угловой части дома. Члены архитектурной комиссии рекомендовали дополнительно проработать объем башни во фрагментах. При обсуждении проекта на собрании членов Куйбышевского отделения Союза архитекторов также касались вопроса о башне. Архитекторами было озвучено предложение: «В жилом доме № 10 необходимо убрать карниз здания, пересекающий угловую башню, и тем самым сильнее выделить ее». В окончательном варианте вместо башни над угловой частью дома появился дополнительный этаж. Внешне дом на углу улиц Победы и Воронежской, 101/3 повторяет решение дома на углу улиц Победы и Красnodонской, 109/16. Он имеет такую же планировку и состоит из пяти секций – двух торцовых, двух рядовых и одной угловой. Однако рядовые (центральные) секции зданий разные. В доме по улиц Победы и Воронежской они – двухквартирные, в отличие от трехквартирных в доме на противоположном углу квартала. Первоначально помещения первого этажа предназначались под размещение большого



Рис. 7. Жилые кварталы авиационных заводов №№ 718–719, жилой дом, пр. Победы, 105, Куйбышевский филиал Гипроавиапрома, арх. Н.Б. Кузнецов, 1949–1955 (фото В.А. Самогорова, 2020)

продовольственного магазина. В августе 1953 г. здесь открыли Гастроном № 15.

Жилой дом по ул. Победы, 103, имеет пять этажей и расположен с отступом от красной линии застройки улицы. Фасады выполнены из красного кирпича, оштукатурены и окрашены. Декоративное оформление фасадов решено в стиле советской классики. Углы здания облицованы бетонными плитами под руст в уровне первого–третьего этажей. Главный фасад здания имеет вертикальное членение в виде чередующихся рядов эркеров, рустованных в уровне первого и второго этажей и завершающихся балконами в уровне пятого этажа. Оконные проемы в эркерах на уровне четвертого этажа имеют арочное завершение, украшены подоконными бетонными вставками с растительным декором. Прямоугольные оконные проемы первого этажа, между эркерами, обрамлены бетонными наличниками с фигурными кронштейнами и украшены прямоугольными подоконными нишами. Оконные проемы пятого этажа завершаются арками. Балконами акцентирована центральная часть фасада в уровне третьего–пятого этажей. Балконные плиты опираются на фигурные кронштейны с растительным орнаментом. Завершает центральную часть фасада высокая фигурная аттиковая стенка.

Отметим, что архитектурно и планировочно кварталы авиационных заводов (№ 718–719

и № 721) были увязаны с застройкой жилых кварталов, расположенных через улицу Победы, один из которых – квартал КЗЗЧ, был построен еще в 1935 г. и впоследствии, после войны, его периметр достраивался. Это свидетельствует о том, что генеральный план района был действующим инструментом, который регулировал строительство на Безымянке [5].

В 1952 г. Гипроавиапромом был разработан и согласован с архитектурной комиссией при начальнике городского отдела по делам архитектуры проект застройки **квартала № 721** (протокол № 5 от 6 августа 1952 г.). Он располагается в границах улиц Победы, Калинина, Физкультурной, Ново-Вокзальной. Размеры квартала – 393х156 м, площадь – 6,13 га.

В границах квартала располагается комплекс жилых домов по ул. Победы, 97, 97-А, 97-Б, запроектированных архитекторами Н.Б. Кузнецовым и С.С. Андросовым. Территория под застройку площадью 0,47 га была выделена заводу п/я 81 (п/я 281, завод «Экран») под строительство четырех–пятиэтажных жилых домов решением № 985 от 11 сентября 1952 г. 18 декабря 1952 г. технический проект зданий был утвержден в Москве заместителем министра Авиационной промышленности СССР В.А. Зориным. Проекты разработаны на основе типовых секций серии № 10. Жилые дома, соединенные друг с другом на уровне третье-



Рис. 8. Жилые кварталы авиационных заводов № 718–719, жилой дом, пр. Победы, 109, Куйбышевский филиал Гипроавиапрома, арх. Н.Б. Кузнецов, 1952 (фото В.А. Самогорова, 2020)

го-пятого этажей, образуют единый архитектурный комплекс. На первом этаже размещаются общественные функции. По документам ЦГАСО здания построены в 1955 г.

Из документов, относящихся к строительству данного комплекса, известно решение от 10 июля 1952 г. технического совещания Управления капитального строительства Министерства авиационной промышленности СССР о распределении жилья между Куйбышевскими авиационными заводами, согласно которому за заводом п/я 81, «где директор Хвостюк», были закреплены «Жилой дом № 1 (ул. Победы, 97) площадью 1 549 м² и жилой дом № 2 (ул. Победы, 97-А) площадью 996 м² из числа нераспределенных на участке «Б» квартала 721». Композиция главного фасада дома (ул. Победы, 97) симметрична. Ось симметрии подчеркнута треугольным фронтоном. Фасад – плоский, лишен выступающих эркеров. Первый этаж выделен арочными окнами – витринами. Основной акцент в архитектурном оформлении фасада сделан на фактуре и цвете облицовки из натурального камня. В подоконные плоскости помещены декоративные барельефы.

Квартиры в доме № 97 имели следующие площади: четырехкомнатные квартиры (в угловых секциях) имели размер 64,3 м², а двухкомнатные – 30,2 м². Квартиры были рассчитаны на

покомнатное заселение и впоследствии использовались заводом как молодежное общежитие. Дом по ул. Победы, 97 был построен и сдан в эксплуатацию весной 1955 г. (распоряжение № 167-р от 4 апреля 1955 г.). Дом по ул. Победы, 97-А в ходе строительства также претерпел изменения. Согласно проекту он планировался четырехэтажным, площадью 996 м². При сдаче в эксплуатацию фактическая площадь составляла 1 245 м², так как у здания появился пятый этаж. В отличие от дома по ул. Победы, 97-Б он был полностью занят жилыми квартирами, число которых равнялось 30. Дом ввели в эксплуатацию в конце 1955 г. (распоряжение № 664-р от 15 декабря 1955 г.) [ЦГАСО. Ф.р.-56. Оп. 51. Д.д.365, 449, 587, 593. Ф.р.-1118. Оп.1. Д.д.19, 26, 47, 72. Ф.р.-4250. Оп.1. Д.д. 40, 41].

Жилой дом по ул. Победы, 99 запроектирован Гипроавиапромом, архитектор Н.Б. Кузнецов (рис. 9). Здание кирпичное, пятиэтажное, «П-образное» в плане, с проездной аркой во двор, входит в комплекс застройки улицы Победы. Фасады выполнены из красного кирпича с декоративными бетонными вставками с советской символикой. Протяженный фасад дома по улице Победы делится эркерами, боковые ризалиты завершаются треугольными фронтонами. Оконные проемы пятого этажа имеют арочные перемычки.



Рис. 9. Жилой квартал № 721 авиационных заводов, жилой дом, пр. Победы, 99, Куйбышевский филиал Гипроавиапрома, архитектор Н.Б. Кузнецов, 1949–1955 (фото В.А. Самогорова, 2020)

Часть окон объединены по вертикали со второго по пятый этажи бетонными декоративными вставками, часть имеет балконы с металлическими ограждениями. Декоративное оформление главных фасадов по улице Калинина и переулку Штамповщиков аналогично декоративному решению главного фасада. Здание построено в 1955 г. [ЦГАСО. Ф.р.-56. Оп. 51. Д.д.189, 435, Ф.р.-4250. Оп.1. Д.д. 22, 27, Ф.р.-4371. Оп.1. Д.15].

Жилой дом по ул. Победы, 95 представляет собой пятиэтажное кирпичное, П-образное в плане, с проездной аркой во двор, 1955 года постройки. Фасады выполнены из красного кирпича с декоративными бетонными вставками, имитирующими каменные блоки, и бетонными вставками с советской символикой. Декоративное оформление фасадов решено в стиле советской классики. Поле стены в уровне первого этажа, а также углы здания облицованы бетонными плитами под каменный руст. Протяженный фасад здания по ул. Победы делится эркерами, боковые ризалиты завершаются треугольными фронтонами. Оконные проемы пятого этажа имеют арочные перемычки. Декоративное оформление боковых фасадов аналогично декоративному решению главного фасада.

Выводы. Новый индустриальный район Безымянка, возникший в г. Куйбышеве в 1940–1950-е гг., стал реализацией градостроительной концепции «социалистического города» [6], которая оформилась к этому времени в отечественной теории градостроительства [7]. Застройка жилых кварталов вдоль улицы Победы, от улицы XXII Партсъезда до проспекта Кирова, велась на основе комплексного архитектурно-планировочного решения, разрабатываемого на протяжении 1940–1950-х гг. Архитектурно-планировочной мастерской г. Куйбышева, с 1951 г. – Куйбышевской проектной конторой «Горпроект», и Московским институтом «Гипроавиапром». Состав проектировщиков в это время был постоянным, что обеспечивало преемственность принятия проектных решений на протяжении всего рассматриваемого периода. Общим для построенных жилых кварталов было следующее:

1) жилые здания предприятий авиационной промышленности проектировались на основе проектов детальной планировки, разрабатываемых Архитектурно-планировочной мастерской городского отдела по делам архитектуры г. Куйбышева и утверждаемых Архитектурной комиссией Отдела по делам архитектуры при Куйбышевском горисполкоме, что позволяло вести застройку Безымянки в русле

общей градостроительной концепции, определенной генеральными планами 1937 и 1949 гг. и генеральным планом района [8];

2) на стадии проектов застройки Гипроавиапром разрабатывал комплексные проектные решения жилых кварталов с единой системой культурно-бытового обслуживания, на основе специально разработанных типовых секций жилых домов серии № 10, и общей архитектурной стилистикой, автором проектов большинства жилых зданий был архитектор Н.Б. Кузнецов;

3) построенные жилые дома имели секционную структуру, сразу после войны они строились трехэтажными, к 1950-м гг. возводились в четыре-пять этажей, они были обеспечены всеми видами инженерно-коммуникационного обеспечения: центральным отоплением, водопроводом, канализацией, электроосвещением, газоснабжением, вентиляцией;

4) строительство велось отделами капитального строительства предприятий, на чьем балансе числились эти здания, генподрядной организацией во всех случаях выступало строительномонтажное управление № 3 строительного треста № 11 Министерства авиационной промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самогоров В.А. Архитектурно-планировочное формирование индустриального района города Куйбышева – Безымянка в 1930–1950-е годы // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8. № 2 (31). С. 89–94. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.15.
2. Самогоров В.А. От рабочих поселков к социалистическому городу: развитие архитектурно-планировочной структуры Самары-Куйбышева в 1930–1950-е годы // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году: сборник научных трудов РААСН. Российская академия архитектуры и строительных наук. М., 2019. С. 397–414.
3. Архитектура города Куйбышева и области / под ред. Э.И. Дрейзина, И.Л. Шафрана, А.И. Матвеева, С.В. Ананченко, А.Л. Каневский, П.А. Парамонова. Куйбышев: ОПИЗ, 1947. 46 с.
4. Синельник А.К., Самогоров В.А. Архитектура и градостроительство Самары 1920-х – начала 1940-х годов. Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. 480 с.
5. Самогоров А.В., Самогоров В.А. Образ города Куйбышева в проектах архитекторов второй половины 1930-х годов // Вестник Волжского регионального отделения: сб. науч. тр. Вып. 18 / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т; отв. ред. В.Н. Бобылев. Н. Новгород: ННГАСУ, 2015. С. 83–88.

6. Самогоров В.А. От рабочих поселков к социалистическому городу: развитие архитектурно-планировочной структуры Самары-Куйбышева в 1930–1950-е годы // Сб. научных трудов РААСН. М., 2019. С. 397–414.

7. Меерович М.Г. От городов-садов к соцгородам: основные архитектурно-градостроительные концепции в СССР (1917– первая половина 1930-х гг.) : дис. ... д. арх. М., 2015. 926 с.

8. Темникова Е.А., Самогоров В.А. Особенности пространственно-планировочного развития города Куйбышева согласно генеральному плану 1949 года // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2017. № 20. С. 103–110.

REFERENCES

1. Samogorov V.A. Architectural and planning formation of the industrial district of the city of Kuibyshev - Bezmyanka in the 1930-1950s. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, vol. 8, no. 2, pp. 89-94. (in Russian)

2. Samogorov V.A. From working villages to a socialist city: the development of the architectural and planning structure of Samara-Kuibyshev in the 1930-1950s. *Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nyh nauk po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2018 godu: sbornik nauchnyh trudov RAASN. Rossijskaya akademiya arhitektury i stroitel'nyh nauk* [Fundamental, search and applied studies of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences on scientific support for the development of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2018. Collection of scientific works of RAASN. Russian Academy of Architecture and Building Sciences]. Moscow, 2019, pp. 397-414. (in Russian)

Об авторе:

САМОГОРОВ Виталий Александрович

кандидат архитектуры, профессор,
заведующий кафедрой архитектуры
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,
тел. (846) 339-14-91
E-mail: samogorov@mail.ru

3. *Arhitektura goroda Kuibysheva i oblasti / pod red. E.I. Drejzina, I.L. Shafrana, A.I. Matveeva, S.V. Ananchenko, A.L. Kanevskij, P.A. Paramonova* [Architecture of the city of Kuibyshev and the region (edited by E.I. Dreizin, I.L. Saffron, A.I. Matveeva, S.V. Ananchenko, A.L. Kanevsky, P.A. Paramonova)]. Kuibyshev, OGIZ, 1947. 46 p.

4. Sinelnik A.K., Samogorov V.A. *Arhitektura i gradostroitel'stvo Samary 1920-h – nachala 1940-h godov* [Architecture and urban planning of Samara in the 1920s - early 1940s]. Samara, Samara State University of Architecture and Construction, 2010. 480 p.

5. Samogorov A.V., Samogorov V.A. The image of the city of Kuibyshev in the projects of architects of the second half of the 1930s. *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya: sb. nauch. tr. Vyp. 18 / Nizhegorod. gos. arhitekt.-stroit. un-t; otv. red. V.N. Bobylev* [Bulletin of the Volga regional branch: sb. scientific. tr. Out. 18 / Nizhegorod. state. architecture. - builds. un-t; ed. V.N. Bobylev]. N. Novgorod, NNGASU, 2015, p. 83. (in Russian)

6. Samogorov V.A. From working villages to the socialist city: the development of the architectural and planning structure of Samara-Kuibyshev in the 1930-1950s (scientific article). *Sb. nauchnyh trudov RAASN* [In: Scientific works of RAASN]. Moscow, 2019, pp. 397-414. (in Russian)

7. Meerovich M.G. *Ot gorodov-sadov k socgorodam: osnovnye arhitekturno-gradostroitel'nye koncepcii v SSSR (1917– pervaya polovina 1930-h gg.). Dokt. Diss.* [From garden cities to social cities: the main architectural and urban planning concepts in the USSR (1917- the first half of the 1930s). Doct. Diss]. M., 2015. 926 p.

8. Temnikova E.A., Samogorov V.A. Features of the spatial and planning development of the city of Kuibyshev according to the general plan of 1949. *Vestnik Volzhskogo regional'nogo otdeleniya Rossijskoj akademii arhitektury i stroitel'nyh nauk* [Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences], 2017, no. 20, pp. 103-110. (in Russian)

SAMOGOROV Vitaly A.

PhD in Architecture, Professor,
Head of the Architecture Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244,
tel. (846) 339-14-91
E-mail: samogorov@mail.ru

Для цитирования: Самогоров В.А. Жилые кварталы авиазаводов в индустриальном районе Безымянка в г. Куйбышеве (1940–1950-е) // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 84–96. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.13.

For citation: Samogorov V.A. Residential Quarters of Aircraft Factories in the Industrial Area Bezmyanka in Kuibyshev (1940-1950s). *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 84–96. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.13.

В. А. САМОГОРОВ
Е. Д. КОНКИНА

ТЕОРИЯ ЦВЕТОВЫХ КОНТРАСТОВ ЙОХАННЕСА ИТТЕНА

JOHANNES ITTEN: THE SEVEN COLOR CONTRASTS

Рассматриваются семь цветовых контрастов Йоханнеса Иттена, которые он описал в книге «Искусство цвета». В первой части явление цветовых контрастов рассматривается с точки зрения теории Иттена. Здесь они представлены как самостоятельное явление, изучается взаимодействие самих цветов. Во второй части проводится анализ архитектурных объектов на основе теории цветовых контрастов Иттена. При разборе были рассмотрены архитектурные объекты второй половины XX – начала XXI в., расположенные в разных странах. С помощью изучения работы цветовых контрастов выявляется их взаимодействие между собой и влияние на формирование образа и формы архитектурного объекта на практике. Также можно проследить отношение к цвету: ранее оно было в большей степени художественным, сейчас оно стало утилитарным, унифицированным.

Ключевые слова: двенадцатичастный цветовой круг, цветовые контрасты, контраст по цвету, контраст светлого и теплого, контраст светлого и темного, контраст дополнительных цветов, симультанный контраст, контраст по насыщенности, контраст по размеру цветовых пятен

Введение. Цвет использовался людьми с древних времен и вызывал у них различные эмоциональные состояния, поэтому они и начали его изучать [1–3]. Один из теоретиков, сделавший большой вклад в цветовое учение, – Йоханнес Иттен, стоявший у истоков Баухауса. Он систематизировал накопленные знания о цвете, его восприятии и добавил новые разделы. Один из новых разделов его книги «Искусство цвета» [4] был посвящен семи цветовым контрастам, которые можно удачно использовать не только в живописи и скульптуре, но и в более масштабных сферах, например в архитектуре. Они взаимодействуют с окружением и друг другом, создавая цветовое впечатление, заставляют пространство оживать [1, 5]. Цель исследования: выявление процесса работы теории Иттена о цветовых контрастах на примере архитектурных объектов.

Цветовая теория, цветовой круг. Для введения в систему цветового конструирования, которое помогает составить цветовую ком-

Seven color contrasts are considered in the article; they were described in the book «The Elements of Colour» by Johannes Itten. In the first part the theory of color contrasts is perceived to be a specific phenomenon, which shows how the colors interact with each other. In the second part of article there is the analysis of the architectural elements based on the Itten's theory of color contrasts. So, the interaction of color contrasts and their influence on building and its perception and forms are identified by the color contrasts.

Keywords: twelve-part color circle, color contrasts, contrast of hue, light-dark contrast, cold-warm contrast, complementary contrast, simultaneous contrast, contrast of saturation, contrast of extension

позицию, Иттен создал двенадцатичастный цветовой круг, опираясь на основные цвета: жёлтый, красный и синий [4]. Он назвал их цветами первого порядка и разместил в равностороннем треугольнике. Затем он дополнил его до шестиугольника и в свободных треугольниках расположил цвета второго порядка: оранжевый, зелёный, фиолетовый. Потом вокруг описал кольцо, которое разделил на двенадцать частей, заполнил его уже имеющимися цветами и в свободные места поместил цвета третьего порядка, смешанные из двух соседних: жёлто-оранжевый, красно-оранжевый, красно-фиолетовый, сине-фиолетовый, сине-зелёный, жёлто-зелёный.

Эта система даёт возможность мгновенно и точно представить себе все двенадцать цветов и легко расположить между ними все их вариации.

Типы цветовых контрастов. Когда между несколькими сравниваемыми цветами выявляются очевидные различия, заходит речь

о контрастах. При исследовании характеристик цветовых эффектов Иттенем было обнаружено семь различных видов контраста:

- 1) контраст по цвету
- 2) контраст светлого и темного
- 3) контраст холодного и теплого
- 4) контраст дополнительных цветов
- 5) симультанный контраст
- 6) контраст по насыщенности
- 7) контраст по размеру цветовых пятен

Каждый из них уникален по своему характеру и художественной ценности, по визуальному, выразительному и символическому эффекту, и все они являются основным ресурсом организации визуальных эффектов в области дизайна и архитектуры [1, 6].

1. Контраст по цвету. В нашей жизни высшую степень контраста представляют свет и тень, в цветовой палитре это сочетание черного и белого, а крайнюю степень цветового контраста представляют желтый, синий и красный цвета. Чтобы контраст был заметен, нужны три ярких и различных цвета, его интенсивность будет уменьшаться по мере удаления выбранных второстепенных цветов от изначальных трех.

2. Контраст светлого и темного. Светлое и темное – это, прежде всего, свет и тень. Мы видим объект, его форму и детали исключительно благодаря световому потоку. Добавляя и улучшая контурное освещение, мы можем выделить рассматриваемый объект, полностью проявив его очертания и форму. Резкий контраст между светлым и темным акцентирует внимание на форме, подчеркивает направления линий и контуров объекта, а также создает достаточно яркое впечатление.

3. Контраст теплого и холодного. Он может быть четко выражен и заметен на открытых пространствах, например с активным ландшафтом, где более отдаленные объекты всегда кажутся более холодными по цвету из-за промежуточной глубины воздуха. Холодно-теплый контраст также имеет важное свойство, заключающееся в способности отображения близости и расстояния в работе с пластическими и перспективными элементами.

4. Контраст дополнительных цветов. Два цвета называются дополнительными, если их оттенки при смешивании рожают любой оттенок серого цвета. Когда они находятся рядом, то подчеркивают друг друга до высокого уровня яркости и насыщенности, но при смешивании убивают до серой массы. В цветовом круге дополнительные цвета размещаются напротив друг друга. Дополнительные цвета, применяемые в нужных пропорциях, дают эффект статически неподвижной композиции. При этом

цвета по своей интенсивности не претерпевают изменений. Здесь эффекты, которые образуются дополнительными цветами, совпадают с сущностью самого цвета.

5. Симультанный контраст. Симультанный контраст является результатом того, что для любого восприятия каких-либо цветовых сочетаний глаз одновременно требует появления дополнительного цвета, но если его нет, то генерирует его спонтанно, самостоятельно его порождая. Данный контраст нельзя запечатлеть на фото. Он порождает в наблюдающем человеке чувство волнения и живой вибрации от постоянной переменчивой интенсивности этих цветовых ощущений.

6. Контраст по насыщенности. Насыщенность, или качество, характеризуется степенью чистоты цвета. Контраст насыщения – это контраст между чистыми, интенсивными и тусклыми, разбавленными цветами. Цвета могут быть разбавлены четырьмя различными способами: белым, черным, серым и дополнительным цветом.

7. Контраст по размеру цветовых пятен. Контраст заключается в сравнении размерных параметров цветовых пятен. Любая цветовая композиция должна складываться из соотношений цветовых пятен между собой. Цветовые области, их форма и очертания должны определяться в зависимости от интенсивности цвета и его характера, а не быть predetermined очертаниями. Пропорции всех цветовых масс должны быть аналогично выведены из их относительных потенциалов на силу визуального воздействия и эффекта цвета (например, его яркость и размер цветовой поверхности).

Анализ архитектурных объектов

При анализе архитектурных объектов на основе теории цветовых контрастов Иттена были рассмотрены архитектурные объекты второй половины XX – начала XXI в., расположенные в разных странах [7–9].

Дворец Ассамблеи, Чандигарх, Ле Корбюзье, 1951–1962. Здание построено из ахроматичного серого бетона, с цветовыми акцентами, которые расположены на определенных сравнительно небольших формах. Из-за этого возникает контраст цветовых пятен, поскольку взгляд наблюдателя фиксируется на небольших цветовых акцентах, расположенных на фоне серой массы. Пятна в архитектурном объекте имеют вертикальное и горизонтальное расположение. Вертикальное позволяет подчеркнуть монументальность объекта, в то время как горизонтальное синее пятно, расположенное у воды, создает связь объекта с водой. Серый является отличным фоном для цветового

контраста между чистыми простыми цветами: красным, желтым, синим и зеленым. Эти контрасты позволяют выделить входную группу. Особенно активно они взаимодействуют и вызывают вибрацию пространства, когда на них падает закатный естественный свет, в основном этот эффект происходит за счет рефлексов от окрашенных пилонов. В результате монохромный серый цвет получает дополнительные оттенки и окрашивается отраженным и падающим светом. Выразительность цветов также подчеркивает контекст – водная гладь, которая отражает их, создавая дополнительные цветочные пятна в пространстве, а также едва заметный эффект контраста цветочных пятен.

Конюшни Сан-Кристобаль, Барраган, 1968. Барраган создает с помощью ярких цветов и фактур особое пространство, которое не может существовать в другом месте из-за своих культурных цветовых особенностей прочтения [10]. Архитектор считал, что цвет – это дополнение к геометрии, которое заставляет её ожить. Среди контрастов, присутствующих в данном объекте, самый выразительный – по цвету, возникающий из-за взаимодействия красных и ярко-розовых стен с интенсивным голубым небом. Особенно остро этот эффект подчёркивается водой, которая отражает насыщенные цвета и как бы усиливает контраст, добавляя больше цвета в пространство, создавая контраст по размеру цветочных пятен. Также цвета контрастируют друг с другом, здесь сразу присутствует несколько типов контраста: по цвету, контраст светлого и темного, холодного и тёплого. Они действуют нюансно, их нельзя разделить, потому что у каждого цвета есть своя теплота и светлота от природы. Именно совокупность такого большого количества контрастов заполняет атмосферу архитектурного объекта, позволяет передать национальную и территориальную особенности объекта и специфического отношения к яркому цвету (рис. 1).

Культурный центр Оскара Нимейера, 2011. Первое цветовое впечатление наблюдатель получает, когда только вступает на территорию центра, от контрастирования неба и цветов самой архитектуры: белый сильнее всех контрастирует с синим небом, красный треугольник и желтая полукруглая вставка дополняют синее небо и вызывают контраст по цвету. Контраст цветочных пятен работает как в экстерьере, так и в интерьере: здание современного музея смотрится особенно акцентно и выразительно, так как активный чистый красный цвет подчеркивается с помощью не менее активной формы треугольника и его диагоналей. Именно это сочетание делает пятно доминантой. Следующим по активности пятном служит



Рис. 1. Конюшни Сан-Кристобаль, взаимодействие стен с окружением

желтый полукруг, которому не принадлежит форма целиком, но он является ее частью и при определенном освещении окрашивает все прилегающие белые объемы в тот же цвет, создавая непередаваемую волшебную атмосферу радости и вдохновения и усиливая работу пятен. В ахроматичном бело-сером интерьере также создаются акценты, основанные на цветовом контрасте из красных объемов, подчеркивающие важные функциональные элементы: сцену, лестницу. Еще один контраст, светлого и темного, возникает из-за того, что цветные вставки темнее белого фона остальных объемов. В данном объекте все контрасты работают в тесной связи между собой, их невозможно разделить из-за физических свойств примененных цветов.

Walden 7, Бофилл, 1975. Самый заметный контраст данного объекта – контраст дополнительных цветов: оранжево-красного и синего-зеленого. Каждый цвет используется для определения конкретного типа пространств. Оранжево-красный используется для улицы, внешней оболочки; синего-зеленый для внутренних дворов. Таким образом, с улицы синего-зеленого можно наблюдать только в порталах, которые заинтересовывают наблюдателя и, контрастируя с внешним цветом, приглашают войти внутрь. Для того чтобы разбить монотонное внутреннее пространство, Бофилл использует контраст цветочных пятен. В зеленых

стенах появляются оранжево-красные балконы, при этом расположение пятен очень ритмично и предсказуемо, такой архитектурный ход не только делает пространство неоднородным, но и не тревожит своим присутствием жильцов дома, так как действие контраста дополнительных цветов все же достаточно значимо. Жильцы дома смогут наблюдать симультанный контраст при закатном солнце, так как форма архитектурного объекта организует довольно геометричные прямоугольные пятна во внутреннем пространстве здания. Их форма взаимодействует с ярким закатным солнцем, лучи которого имеют красные, желтые и оранжевые оттенки. Попадая на зелено-синий, они заставляют наблюдателя видеть его либо синим, либо зеленым, в зависимости от цвета освещения. При сумеречном холодном освещении во внутреннем пространстве появляется контраст холодного и теплого, который создается только за счет холодного естественного освещения и теплого искусственного (рис. 2).

Детский сад Els Colours, RCR Architectes, 2004. Детский сад – это одно из первых мест, где формируется подрастающий человек, поэтому правильное использование цвета особенно важно. Яркие цвета положительно влияют на детей, так как впечатлительность, игривость, интерес к пространству – это все что нужно им



Рис. 2. Walden 7, пятна во внутреннем пространстве здания

в таком возрасте, усилить эффект от цвета помогают конечно же контрасты [11]. Сам объект уже выделяется из общей окружающей среды, так как он выполнен из цветных материалов, а городской контекст сам по себе имеет разбеленные и слабые оттенки – тут работает контраст по насыщенности. Также активно работает контраст цветовых пятен как в экстерьере, так и в интерьере. На фасадах контрастирующие пятна большие, каждому принадлежит свой объем, что помогает придать статичность объекту, придать материальность. В интерьере цветковые пятна, незначительные по размеру, сделаны на уровне взгляда ребенка для более эффективного эмоционального воздействия на него.

Fallow Land, PLAYstudio + YES studio, 2016.

Целью данного проекта было разработать социальное жилье на периферии Вены [12]. Участок окружен инфраструктурой и обозревается из многих точек города, поэтому надо было создать узнаваемость объекта. Для этого был выбран цвет Венских Лимонов. Желтый цвет сам по себе является самым светлым среди всех двенадцати из цветового круга Иттена, вдобавок к этому архитекторы сделали данный оттенок более белым и холодным. Благодаря использованию этого тона присутствует контраст по цвету с синим небом. Интерьеры выполнены в неконтрастных белесых цветах. Когда внутрь попадает дневной солнечный свет, то жильё наполняется теплым светом, окрашенным в лимонный цвет от фасадов. Отраженные пятна цветного света создают довольно приятный контраст по насыщенности, что способствует положительной атмосфере. Такой активный цвет в сочетании с объемом создает впечатление в воспоминании наблюдателя, контрастируя с типичной монохромной серой европейской застройкой, организует приятную атмосферу внутри самого объекта и предотвращает появление депрессивных территорий, так как сам объект находится на периферии города.

Вилла Монтаньола, Attilio Panzeri & Partners, 2017. Жилой дом выполнен в ахроматических оттенках, которые контрастируют только по соотношению темного и светлого; единственный хроматический цвет – оранжевый, который можно наблюдать только на одном типе объектов – окнах. С помощью цветковых пятен окон архитекторы помогают акцентировать взгляд из объекта на кадре природы (внутри все черно-белое, в то время как цветная рама является своеобразным проводником в цветной мир природы). Также в интерьере, благодаря его монохромности, хорошо видно, как проявляются контрасты светлого и темного, теплого и холодного: естественное освещение изменя-

ется в течение всего дня. В результате меняется не только форма падающих лучей сквозь проемы, но и их цвет. Архитектурный объект благодаря своим серым цветам и акцентному оранжевому активно взаимодействует с контекстом, так как зеленая растительность имеет одинаковую светлоту с экстерьером объекта, контрастирует по цвету с оранжевым и серым из-за ахроматичности самого объекта в целом (рис. 3).

Павильон Российской недели творчества 2020, SKNYPL. В проекте использованы только яркие цвета, разительно выделяющиеся из общего контекста города и парка. Они привлекают и приглашают присоединиться к экспозиции, облегчают навигацию по местности. Такие экспрессивные цвета подчеркивают динамичность объемов, скошенные углы выделяют их в контексте города за счет контраста цветовых пятен с достаточно монохромной городской средой. Между цветами павильонов возникает контраст по цвету и по светлоте, так как изначально сами по себе цвета имеют разную светлоту от природы. Также цвета особенно активно проявляются ночью, при взаимодействии с искусственным светом, который усиливает их интенсивность и подчеркивает работу контраста по дополнительным цветам.

Школа Рене Бовери, Dominique Coulon & associés, 2019. Интенсивный цвет данного объекта в первую очередь заявляет о его общественном назначении [13]. В экстерьере объекта присутствует два цвета – белый и синий, они контрастны по насыщенности, но этот контраст меняется в течение дня из-за различного угла падения света. Белый при некотором освещении окрашивается в синий, он никогда не бывает чистым, белые плоскости всегда наполнены рефлексам, которые придают помещению ощущение движения архитектуры. В экстерьере присутствует контраст по насыщенности между отдельными оттенками синего, дробя

монотонное синее пространство. В интерьерах единственным хроматичным цветом является желтый, который находится в окружении серого и белого, усиливающих симультанный контраст. Между синим экстерьером и желтым интерьером возникает контраст по цвету, он делает пространство более живым и неоднородным, особенно при наблюдении изнутри.

Школа Раджастана, Sanjay Puri Architects, 2020. Так как здание находится в Индии, то цвет имеет еще и традиционное значение [12, 13]. Красный цвет, в который выкрашен яркий фасад, символизирует чистоту и энергию, синий символизирует мужественность, а желтый – знание и силу разума. Здание выглядит оживленно и жизнерадостно за счёт контрастов. Самый сильный из всех – контраст по цвету, он возник вследствие использования трёх основных цветов первого порядка в их чистом виде: красного, синего и желтого. Он самый простой из всех семи по Иттену и не предъявляет больших требований к цветовому зрению наблюдателя, что отлично подходит для детского быстро цепляющего детали взгляда и подходит для динамичного проведения времени, игр. Ещё один контраст возникает во внутреннем дворе – теплого и холодного. В течение всего дня можно наблюдать, как красный приобретает холодные голубовато-фиолетовые оттенки в тени и желто-оранжевые снаружи, делая этот цвет не таким однородным и скучным, эффект усиливает «полосатость» теней от пергола. В интерьере происходит завораживающее явление, а именно работа контраста светлого и темного, когда белый дневной свет попадает внутрь через прорези: свет окрашивается в цвет одной стены и попадает на стену другого цвета, создавая светлые пятна, иногда он окрашивается и смешивается прямо на цветной плоскости. Например проходя через перфорации красной стены, попадая на желтую, свет даёт оранже-

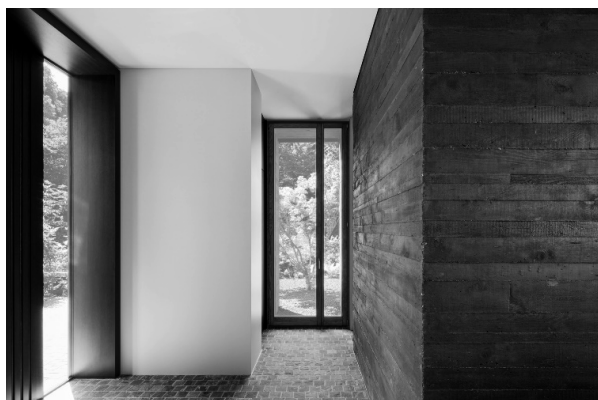


Рис. 3. Вилла Монтаньола, акцент на природе в интерьере



Рис. 4. Школа Раджастана, светотень в патио

вый оттенок. Таким образом, он делает помещение менее однородным. Пол в здании выложен серой плиткой и брусчаткой снаружи, что способствует проявлению симультанного контраста, который особенно сильно работает на серых оттенках. Экстерьер школы смотрится выигрышно, так как красный цвет контрастирует со своим дополнительным – зеленым, который представлен в клумбах внутреннего двора и других элементах благоустройства. Дополнительную сочность фасада создает чистое синее-голубое небо, в очередной раз усиливающее контраст по цвету (рис. 4).

Выводы. На основе анализа архитектурных объектов, проведенного согласно теории Иттена о семи цветовых контрастах, можно сделать следующие выводы:

1. Взаимодействие цветов закономерно, имеет объективную обоснованность и может применяться в качестве инструментов для формирования определенных впечатлений, эмоциональных состояний наблюдателя и образов и форм архитектурных объектов.

2. Цветовые контрасты действуют совместно, их нельзя разделить, можно выделить только более активные. Это связано с тем, что каждый цвет и его оттенки от природы имеют свои свойства светлоты, насыщенности, теплоты и холодности.

3. Цветовые контрасты могут возникать не только при взаимодействии частей архитектурного объекта, но и при рассмотрении объекта с его контекстом (небо, зелень, вода и т. д.).

4. С развитием общества цвет и его контрасты стали чаще использоваться утилитарно и унифицированно, традиционная роль цвета уступила место функциональной, так как применение цвета и его контрастов в архитектуре также подвержено глобализации подобно любой сфере общественной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Самогоров В.А., Фадеев А.В., Аверина П.О. Формирование цветового пространства архитектурного объекта. Самара: СамГТУ, 2020. 109 с.
2. Перейра М. Роль цвета в архитектуре: визуальные эффекты и психологические стимулы // О papel da cor na arquitetura]. 2018 г. ArchDaily (Транс. Гослин, Марина) [Электронный ресурс] Режим доступа <https://www.archdaily.com/895498/the-role-of-color-in-architecture-visual-effects-and-psychological-stimuli> ISSN 0719-8884
3. Стребкова К.А. колористическое решение городского пространства в различные исторические периоды // Градостроительство и архитектура. 2011. Т.1, № 3. С. 62–65. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.03.14.
4. Иттен Й. Искусство цвета. Равенсбург, Германия, 1970. 98 с.

5. Сальник Т.С., Жукова Л.Г. Цвет в архитектуре. М.: РУДН, 2018 [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://doi.org/10.18454/mca.2018.10.5>

6. Рац А.П. Основы цветоведения и колористики. Цвет в живописи, архитектуре и дизайне. М.: МГСУ, 2014. 128 с.

7. Кузьмин В.Г. Цветовая реальность: свойства и относительность // Философская мысль. 2018. № 10. С. 16–31. DOI: 10.25136/2409-8728.2018.10.26723. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=26723

8. Archdaily [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.archdaily.com/>

9. Archtime [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.archtime.ru/>

10. Панова Н.Г. Архитектура тишины. Цветовые пространства Луиса Баррагана и Рикардо Легоррета // Architecture and Modern Information Technologies. 2018. № 3(44). С. 346–361 [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://marhi.ru/AMIT/2018/3kvart18/21-panova/index.php>

11. Алашеев С.Ю. Восприятие цвета в массовом сознании // Политика и общество. 2017. № 8 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vospriyatie-tsveta-v-massovom-soznanii>

12. Лапина Е.А. Особенности современного этапа формирования цветности архитектурной среды // Вестник ИШ ДВФУ. 2015. № 2(23) [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sovremennogo-etapa-formirovaniya-tsvetnosti-arhitekturnoy-sredy>

13. Потокина Т.М. Понятие цвета и его роль в архитектуре // Logos et Praxis. 2009. № 1 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-tsveta-i-ego-rol-v-arhitekture>

REFERENCES

1. Samogorov V.A., Fadeev A.V., Averina P.O. *Formirovaniye cvetovogo prostranstva arhitekturnogo ob"ekta* [Organization of the color space of an architectural object: tutorial]. Samara, Samara State Technical University, 2020. 109 p.
2. Pereira M. The Role of Color in Architecture: Visual Effects and Psychological Stimuli. O papel da cor na arquitetura, 2018. Available at: <https://www.archdaily.com/895498/the-role-of-color-in-architecture-visual-effects-and-psychological-stimuli> ISSN 0719-8884
3. Strebkova K.A. Coloristic design of urban space in different historic periods. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2011, vol.1, no. 3, pp. 62–65. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.03.14 (in Russian)
4. Itten Johannes. The Elements of Color. Ravensburg, 1970. 98 p.
5. Salnik T.S., Zhukova L.G. *Cvet v arhitekture* [Colour in architecture]. Moscow, RUDN, 2018. Available at: doi.org/10.18454/mca.2018.10.5
6. Rats A.P. *Osnovy cvetovedeniya i koloristiki. Cvet v zhivopisi, arhitekture i dizajne* [Fundamentals of color theory and coloristics. Color in painting, architecture and design: a course of lectures]. Moscow, MGSU, 2014. 128 p.

7. Kuzmin V.G. Color reality: features and relativity. *Filosofskaya mysl'* [Philosophical thought], 2018, no. 10, pp. 16-31. DOI: 10.25136/2409-8728.2018.10.26723. Available at: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=26723

8. Archdaily. Available at: <https://www.archdaily.com/>

9. Archtime. Available at: <https://www.archtime.ru/>

10. Panova N.G. Architecture of the silence. Color space of Louis Barragan and Ricardo Legorreta. *Architecture and Modern Information Technologies*, 2018, no. 3(44), pp. 346-361. Available: marhi.ru/AMIT/2018/3k-vart18/21_panova/index.php

11. Alasheev S.U. Perception of color in the mass consciousness. *Politika i obshchestvo* [Politics and society], 2017, no. 8. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vospriyatie-tsveta-v-massovom-soznanii>

12. Lapshina E.A. Features of the current stage of chromaticity formation in architectural environment. *Vestnik ISH DVFU* [FEFU: School of Engineering Bulletin], 2015, no. 2 (23). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-sovremennogo-etapa-formirovaniya-tsvetnosti-arhitekturnoy-sredy>

13. Potokina T.M. Concept Of Color And Its Role In Architecture. *Logos et Praxis*, 2009, no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-tsveta-i-ego-rol-v-arhitekture>

Об авторах:

САМОГОРОВ Виталий Александрович

кандидат архитектуры, профессор, заведующий кафедрой архитектуры

Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,
тел. (846) 339-14-91

E-mail: samogorov@mail.ru

SAMOGOROV Vitaly A.

PhD in Architecture, Professor, Head of the Architecture Chair

Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 244,
tel. (846) 339-14-91

E-mail: samogorov@mail.ru

КОНКИНА Екатерина Дмитриевна

студентка кафедры архитектуры

Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: konkinaed@mail.ru

KONKINA Ekaterina D.

Student of the Architecture Chair

Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 244

E-mail: konkinaed@mail.ru

Для цитирования: Самогоров В.А., Конкина Е.Д. Теория цветовых контрастов Йоханнеса Иттена // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 97–103. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.14.

For citation: Samogorov V.A., Konkina E. D. Johannes Itten: the Seven Color Contrasts. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 97–103. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.14.

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



УДК 712.03

DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.15

Н. Н. ВОЛОГДИНА
М. А. ВОЛОДИН

САДОВО-ПАРКОВЫЕ АНСАМБЛИ В ИСТОРИИ ГОРОДОВ

GARDEN AND PARK ENSEMBLES IN THE TOWNS' HISTORY

Нарративным мотивом исследования является факт влияния строительства садово-парковых ансамблей на развитие городов. Для работы выбраны исторические периоды наивысшего расцвета философии, культуры, эстетических представлений, развития строительного мастерства. Авторы статьи обращают внимание на теоретические труды XX столетия в западной цивилизации, рассматривающие город как природную систему. Утверждается их связь с концепциями XVI–XIX вв. Англии, Франции, Италии. Идея города как природной системы раскрывается через образы и метафоры, которые помогают понять место общественных ландшафтов в истории цивилизации. Представлены садово-парковые комплексы, создание которых изменило градостроительную парадигму, положило начало строительству новых городов, способствовало замене устаревших или утраченных элементов городской структуры. Предложена классификация ландшафтных комплексов по их роли в развитии градостроительства, влиянию на художественную культуру, архитектуру, морфологию города.

Ключевые слова: древние цивилизации, садово-парковое искусство, градостроительство, ландшафт, планировочная структура, топография, форма, контраст масс, парадиз, принцип, классификация, метафора, образ

Изучение истории городской среды в XX столетии привело к появлению исследований по различным направлениям функционирования города. Эти исследования носили более эмпирический, нежели теоретический характер. В частности исследования, посвящённые паркам, зелёным насаждениям, общественным ландшафтам.

The narrative motive of the study is the fact of the influence of the garden and park ensembles' construction on the development of cities. The historical periods of the highest flowering of culture, philosophy, aesthetic ideas, and the development of construction skills have been selected for the work. The authors of the article draw attention to the theoretical works of the 20th century in Western civilization, considering the city as a natural system. Their connection with the concepts of the 16th–19th centuries in England, France, Italy, and France is affirmed. The idea of the city as a natural system is revealed through images and metaphors, which help to understand the place of public landscapes in the history of civilization. The article presents the garden-park complexes, the creation of which changed the urban planning paradigm, initiated the construction of new cities, promoted the replacement of obsolete or lost elements of urban structure. The author suggests the classification of landscape complexes according to their role in the development of urban planning and their influence on the artistic culture, architecture and morphology of the city.

Keywords: ancient civilizations, garden art, urban planning, landscape, planning structure, topography, form, contrast of masses, paradiso, principle, classification, metaphor, image

Австралийский историк Г. Дэвисон писал о городе как о природной системе. Органическая или биологическая концепция города имела много последователей, и в настоящее время у неё немало сторонников. Д. Тарр в дискуссии о природе городов предостерегал учёных от попыток свести проблему к биологической. Он говорил: «...города не деревья» [1].

Однако понятие городов как природной среды, даже если оно слишком преувеличено, может помочь создать полезные «конструкты» для понимания и исследования городского ландшафта, развития парка. Поэтому, с точки зрения нашего повествования, города – это деревья. Этот образ или метафора возвращает нас к теоретическим концепциям XVI–XIX вв. Англии, Франции, Италии.

Английский философ-гуманист Ф. Бэкон воспринимал архитектуру как часть природной среды, особым образом упорядоченную. В одном из разделов своего труда «О садах» он говорит о ландшафтной архитектуре, о разведении садов как более тонком понятии, требующем большего совершенства. Далее «когда разовьётся цивилизация и вкус к изящному, люди научатся скорее строить красиво, чем насаждать прекрасные сады» [2].

У. Хогарт опубликовал в 1753 г. трактат «Анализ красоты» (рис. 1), в котором изложил свою эстетическую концепцию и сформулировал принципы градостроительного искусства Англии. Рассуждая о преимуществах живописных ландшафтных парков над регулярными, У. Хогарт устанавливал связь с планировкой английских исторически сложившихся городов. Волнообразные линии в планировке

ландшафтных парков, живописная планировка улиц средневекового города – это «организованное многообразие», которое отождествлялось с наивысшим проявлением красоты. Об этом свидетельствует и титульный лист трактата, где изображена пирамида, внутри которой находится изгибающаяся «линия красоты».

Противопоставление геометрической фигуры и свободной линии мы видим у Э. Бёрка, который высказывается таким образом: «Если дома удобнее строить правильно и симметрично, то и сады следует строить таким образом». Последователь У. Хогарта, архитектор и строитель ландшафтных парков Л. Браун ввёл в планировочную структуру волнистую линию дорожек и аллею, которая окружала территорию парка. Развивая идеи и принципы У. Хогарта, теоретик и практик Х. Рептон объединил живописное и регулярное направление в градостроительном искусстве Англии (рис. 2).

Особое место среди известных трактатов занимают труды Д. Рёскина, историка, теоретика искусства, поэта и критика, который изучал «содержательную» сторону ландшафтов или исторических пейзажей в неразрывной связи с историческими памятниками и городами, являющимися их естественным и органичным продолжением. Идея взаимосвязи ландшафта и города в английской традиции градостроительства поддерживалась теоретическими исследованиями и практическими решениями. В частности, в трактате «Семь светочей архитектуры», изданном в Лондоне в 1849 г., раскрыты принципы градостроительства, среди которых находим принцип или четвертый «светоч архитектуры» – светоч красоты [3]. У Д. Рёскина величие архитектуры определяется передачей образов Прекрасного, «которая происходит преимущественно из видимых форм органической природы». Большое влияние на развитие градостроительного искусства и архитектуры Англии оказали «Утопии» поэта, писателя, художника, мыслителя У. Морриса. Несмотря на разногласия в подходах Д. Рёскина и У. Морриса, в своей утопической мечте они оба приближали новое время.

На процесс формирования не только архитектуры и градостроительства, но и садово-паркового искусства оказали влияние произведения поэтов и прозаиков. Художественное мировоззрение теоретиков и практиков Англии формировалось под влиянием произведений художников прерафаэлитов, пейзажной живописи Констебла и Тёрнера [2].

На развитие градостроительства и садово-паркового искусства Франции XVII столетия значительное влияние оказали философские и математические построения Р. Декарта. Ма-

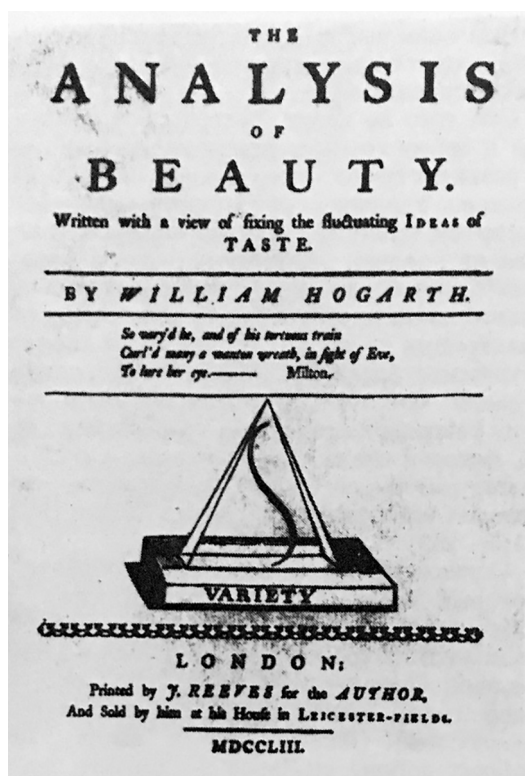


Рис. 1. Титульный лист трактата «Анализ красоты» У. Хогарта



Рис. 2. Лэнсдаун – Кресент, город Бат (Англия). Арх. Дж. Пальмер, 1794 г.

тематика как универсальная наука позволила утвердить рационалистический и, в частности, планиметрический подход к проектированию города, паркового ландшафта.

Ряд теоретических позиций, разработанных Ф. Блонделем как продолжение картезианского направления, стали основополагающими в архитектурной деятельности. Его главная идея сформулирована следующим образом: «...Всему, что есть в ней прекрасного, архитектура обязана математике». Приверженность рационалистической позиции даже в вопросах «чистого» искусства, того, что ускользает от точного понимания и не поддаётся формализации, надолго сохранилась в градостроительстве Франции и воплощалась в регулярных структурах городов и парковых ансамблей.

Одним из продолжателей идей Р. Декарта, его математической парадигмы и планиметрического урбанизма был А. Ленотр. Его главное произведение – Версальский парк – прекрасная «геометрическая пустыня», абстрактная идеализированная схема природы, противопоставленная самой природе [2].

В трактате «Опыт об архитектуре» (1753 г.) М.А. Ложье предлагал в качестве метода реконструкции города использовать опыт А. Ленотра, который переносил принципы планировки парков на город. М.А. Ложье писал:

«Нужно смотреть на город, как на лес. Его улицы – те же дороги в лесу, которые так же должны быть проложены. Красоту парка делает множество дорог, их ширина и прямизна».

Однако М.А. Ложье предостерегал градостроителей от следования чрезмерной геометрической упрощённости без «воображения», холодному однообразию. Он писал о том, что приходится сожалеть о потере «живописного беспорядка» старых городов.

Градостроительное искусство Франции развивалось, в частности, и под влиянием идей философа и просветителя Д. Дидро. В своих трудах он часто обращался к критике абстрактности и геометризма. Критикуя парковый ансамбль Сен-Клу, созданный по проекту Ленотра и Мансара, Д. Дидро утверждает, что градостроительное искусство обязано природе, регулярные же планировки – «следствие незнания природы». По его мнению, прямая линия – «символ инерции и неподвижности, тогда как изгибающаяся линия является проявлением жизни и разнообразия».

Тем не менее картезианский подход сохранился в градостроительной практике, несмотря на открытие пространственных представлений об архитектуре и городе. Теоретические позиции в архитектуре и градостроительстве были более продуктивны, чем строительная практика

рассматриваемого периода. Теория создавалась учёными и мыслителями Франции, Д. Аламбером, Ж. Ж. Руссо, Ш. Монтескьё, Ф.А. Вольтером. Теоретик французского классицизма первой половины XIX в. Катрмер-де-Кенси обобщил опыт и написал труд по истории градостроительства, где показал тенденцию развития города и его окружения [2, 4].

Градостроительное мышление в Италии формировалось под влиянием научных открытий Коперника, Бруно, Г. Галилея, которые изменили представление о Вселенной. Формировалось новое пространственное отношение к городу и его архитектуре. Картезианский подход уступил место «объёмному», пространственному принципу: планировочная структура города рассматривается теперь вместе с застройкой.

Внимание к городским пространствам прослеживается в рисунках Леонардо да Винчи, Рафаэля, в известных перспективах Б. Перуцци, С. Серлио. В трактате С. Серлио были изложены правила построения перспективы. Пространственная парадигма формировалась в практических работах. В частности, реконструкция Рима архитектора Д. Фонтана, объединившего территорию города с помощью дорог и трёх лучевых улиц, демонстрирует принцип пространственной трансформации.

Эпоха Итальянского Возрождения отмечена особым вниманием к человеку как личности, «которая абсолютна не в своём надмировом существовании, но в своей чисто человеческой осуществлённости». В этом контексте можно рассматривать антропоморфизм теоретиков Ренессанса Франческо ди Джорджо Мартини, Пьетро Катанео. В основе антропоморфизма лежало уподобление архитектурных сооружений человеческому телу как носителю совершенных пропорций. Альберти, Палладио, Микеланджело использовали в своём творчестве пропорции двух порядков – «сверхреальный» или гипертрофированный и соразмерный реальному человеку.

Научные рассуждения Г. Галилея показали реальное положение человека в окружающем мире. Это имело отношение к масштабу архитектурных сооружений и городских пространств. Достижения в градостроительстве, несомненно, отражались и на создании садово-парковых ансамблей, которые «во все века были идеальным образом природы, вселенной». Д.С. Лихачёв в статье «Слово и сад» писал: «...Упорядоченная же природа – это, прежде всего, природа, которая может быть прочитана как Библия, книга, библиотека». Глубинный метафорический пласт заложен в рассказе Х.Л.

Борхеса «Сад расходящихся тропок» – сад-книга, сад-библиотека, сад-лабиринт [5, 6].

Создание парков и садов, развитие ландшафтного искусства неразрывно связаны с историей развития городов. С древних времён известны факты столь тесного проникновения, соединения рукотворных ландшафтных и градостроительных структур. Археологические исследования дают бесценный материал (барельефы на надгробных памятниках, фрески, мозаика, иконы, живопись), который свидетельствует о высокой культуре и эстетических предпочтениях в различные периоды расцвета строительного дела [4, 7, 8].

Первые сады появились в Древнем Египте. Это были террасные комплексы, строительство которых связано с технологическими возможностями древних земледельцев и строителей. До нас дошли сведения о садах и парках рядом с храмами Ментухотепов, парк царицы Хатшепсут (XVI-XV вв. до н.э.) (рис. 3). Однако сады в современном понимании с определённой планировочной структурой, культурой высадки растений – более позднее завоевание.

Огромную роль в развитии садово-паркового искусства и строительства городов играли природные факторы. Разливы Нила не позволяли пустыням захватывать плодородные земли. В этих условиях развивалась инженерная подготовка территорий: устройство террас для строительства на них дворцов и храмов, а также использовалось обвалование городов [4].

Свидетельства, дошедшие до нас, показывают планировку городов с просторными дворами, широкими улицами, аллеями, рощами и фруктовыми садами. В частности, египтологи описывают город Ахетатон (Тель-Амарна), основанный на рубеже XV и XIV вв. до н.э., как город живописной планировки, включающий прямоугольные в плане кварталы рабов, плотно застроенные хижинами. Жилые кварталы горожан, открытые раскопками, также имели высокую плотность застройки. В структуре города создавалась главная улица как тенистая пальмовая аллея, для которой были оборудованы ямы с плодородной землёй. Аллея пронизывала весь город как относительно независимый от застройки планировочный элемент. Разнообразие городского ландшафта создавалось обширными территориями вади, которые представляли собой сухие долины, периодически заполнявшиеся водой (рис. 4).

Для исследования интерес представляет культура городов Двуречья. В IX в. до н.э. здесь используется техника устройства садов на террасах. Примером могут служить «Висячие сады» Семирамиды в Вавилоне на берегу Евфрата. Дата основания самого города теряет-

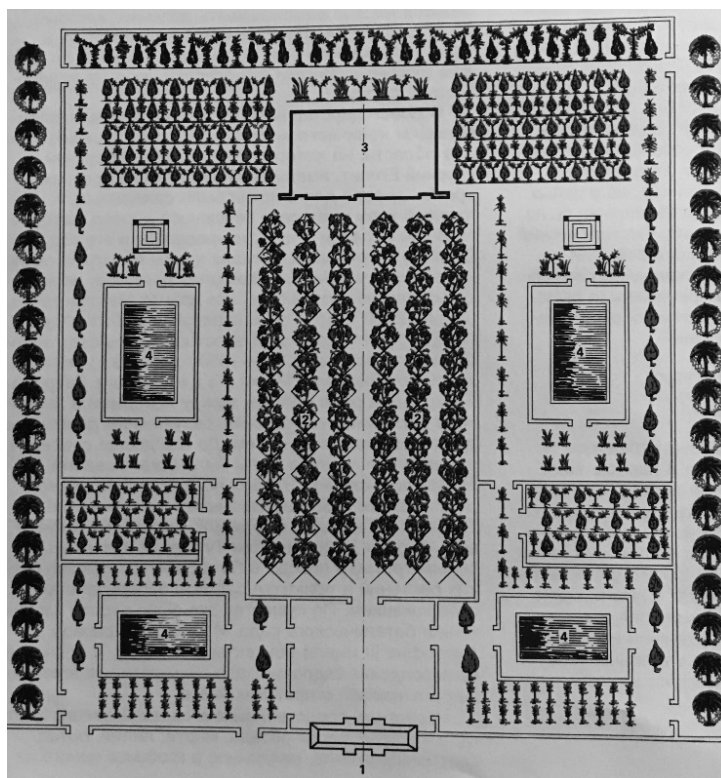


Рис. 3. Сад, изображённый в фиванской гробнице

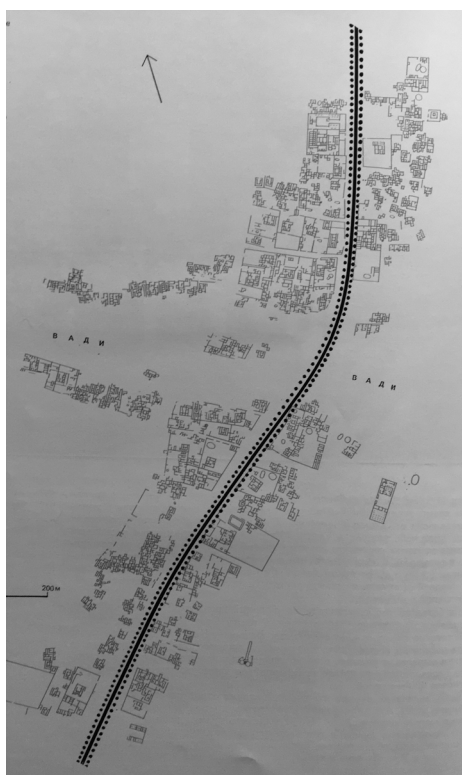


Рис. 4. Город Ахетатон (XV – XIV вв. до н.э).
Аллея Великого жреца

ся в веках. Описывая планировочную структуру, морфологию города исследователи и путешественники обращают внимание на огромную освоенную территорию. Однако позднее был установлен факт значительного преувеличения масштабов поселения. Этот факт несоответствия интересен как доказательство того, что впечатление грандиозности создавалось контрастом масс и объёмов застройки, её плотности в сочетании с огромными размерами открытых площадей.

Ещё один период расцвета садово-паркового искусства и градостроительства связан с завоеванием Двуречья и в том числе Вавилона персами в VI в. до н.э. Новая культура наслаивалась на уже сложившуюся, создавались огромные сады, которые использовались для охоты, они получили название «парадиз» или «рай». Дворцы и резиденция царя не были столь значительными как сами сады. Описания парадиза свидетельствуют об использовании геометрических форм, прямых аллей, симметричных посадок растений, что связано с использованием ирригационной системы. Планировочная структура древнего города использовалась в решении садово-парковых ансамблей.

Исследования археологов показали, что у ассирийцев и вавилонян создавались генеральные планы городов и существовали опи-

сания строительных работ. Примером может служить генеральный план Ниппура, выполненный на глиняной дощечке. Поражает удивительная точность, с которой выполнен чертёж и разбивка территории. Геодезическая съёмка нашего времени, проводимая во время раскопок, подтверждает этот факт и свидетельствует о строительной культуре в XII в. до н.э. [4].

Строительство садово-парковых ансамблей в Греции было связано с бурным ростом городов. Этот процесс был естественным освоением и переосмыслением природы человеком. От священных оливковых рощ, общественных пространств («гимнасий») за пределами поселений до организации структуры города. Греческая архитектура также известна своей связью с природой – храмы не господствуют над ландшафтом, не стремятся его превзойти, они «всего лишь продлевают заложенные в земле природные силы». После падения городов-государств (III–II вв. до н.э.) культурная и экономическая жизнь уходит на Восток. Греческий Восток дал образцы строительства городов по разработанным планам. Используется прямоугольная планировочная структура. Сады и парки, общественные здания и площади, приобретая особое значение, встраиваются в городскую ткань как естественный и органичный элемент [7].

Как отмечалось выше, в истории градостроительства есть немало примеров использования предварительных планов, правил строительства. С древних времён известны трактаты и своды правил разбивки городов, в частности столичных. С середины XV в. Пекин существовал как город с регулярной планировкой, правильным расположением храмов, дворцов и площадей (рис. 5). Нет никаких сомнений, что город проектировался как единое целое. В эпоху династии Мин (1368–1644 гг.) внутри городской территории находились Императорский и Пурпурный города. Отсутствие ярко выраженного рельефа восполнялось искусственными ландшафтными структурами. Строительство гряды холмов «Прекрасного вида» на главной планировочной оси (XVI в.) дополняло систему акцентов Внутреннего города.

Сады и парки Средневековья известны в основном по литературным источникам. Площадь садов определялась высокой плотностью застройки средневекового города и отсутствием свободных пространств. В период гонений на христиан в Римской империи верующие бежали в «пустыни», «дабы не быть прибитыми к кресту или крыльям ветряной мельницы...». Объединяясь в братства, они, согласно греческому «*koïnos bios*» (греч. «общая жизнь»), поддерживали общинную жизнь и строили монастыри, которые становились убежищем,

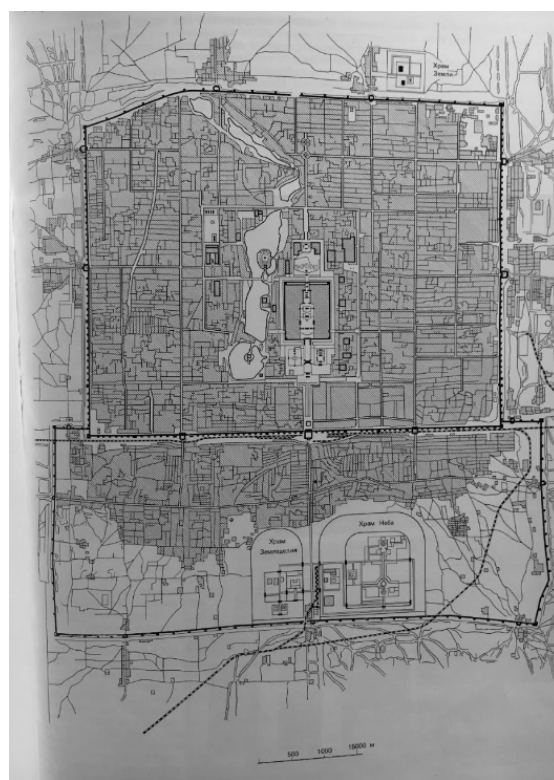


Рис. 5. Генеральный план Пекина (XX век)

средоточием и хранителем науки и искусства, специфической деятельности, связанной с выращиванием сельскохозяйственных культур, лекарственных трав [9]. Первые сады выполняли утилитарную роль. Позже эстетическая функция ландшафта получила главенствующее положение. Для «райского сада» высаживались «райские» растения: яблоня, виноград, роза, лилия и др.

Монахи придерживались греко-римских принципов организации садов, а именно: соблюдение симметрии и прямоугольной планировки участка. Нам известно три типа монастырских садов: в пределах монастырских построек, в пределах монастырских стен, за пределами монастырских стен [10].

Исключение составляют сады за стенами монастырей вдали от городской застройки. Примером может служить сад у стен монастыря Святой Екатерины на Синае (рис. 6). Символично, что монастырь имеет сходство с моделью Константинополя, которую императоры Константин и Юстиниан преподносят Богородице, о чём свидетельствует мозаика в Святой Софии. Важным является тот факт, что город и храм в представлении верующих тождественны (Иерусалим, Вифлеем, Константинополь) [11].

Изображение монастыря Святой Екатерины есть на иконе с видом трёх синайских гор,



Рис. 6. Монастырь Святой Екатерины на Синае

которая относится к середине XVI в. (в собрании У. Бланта, Англия). Сюжет иконы больше нигде в иконописи не встречается, хотя на эту же тему написана известная картина Эль Греко, которая хранится в музее Будапешта. Ещё одна картина мастера (створка триптиха, 60-е гг. XVI в.) находится в галерее Эстензе в Модене (Италия). На иконе изображен реально существующий памятник архитектуры и поэтому является «уникальным явлением в истории византийского искусства». Судя по фотографии монастыря, сделанной с той же исходной точки, что на иконе и картинах, настоящий пейзаж отличается от изображенного, поскольку в византийском искусстве ландшафт был лишь условным фоном для библейских сюжетов. Сад за стенами монастыря, раскинувшийся на склоне холма, имеет более позднее происхождение (на иконе и картинах Эль Греко нет изображений сада).

В период XIII – первой трети XIV вв. строительство садов и парков отмечается в Италии. В основном, это были загородные виллы. Однако с развитием промышленности в городах и увеличением территории застройки сады оказывались встроенными в городской контекст. Сады и парки Флоренции в период раннего Возрождения отличаются рациональным устройством и относительной простотой решений. По словам историка и искусствоведа

Муратова П.П.: «Для того, чтобы флорентиец-кватроченто мог окинуть взглядом свои владения, они не должны были быть безразмерны» [12]. Сады на склонах, даже самые совершенные, ещё не обладали единством композиции. Так, например, террасы в садах Боболи не были объединены в пространственное целое. Отдельные планировочные элементы так и оставались отдельными структурными единицами (рис. 7) [4, 7, 13, 14].

Садово-парковое искусство XVI в. приобретает новые композиционные и технические решения. В частности, значительно меняется топография местности для создания единого комплекса, что в дальнейшем найдёт своё развитие в садово-парковых ансамблях Франции. В рассматриваемый период времени большое распространение получило строительство садов и парков в Риме. Сады Ватикана, сады и вилла на Палатине, виллы и сады на отрогах Чиминских гор и др. демонстрируют новые принципы градостроительства.

Новый город, основанный кардиналом Ришелье в 1634 г., был построен рядом с парком регулярной планировки. Прямолинейная улица, которая представляла собой планировочную ось города, получила своё развитие при строительстве резиденции Людовика XIV в ситуации укрепления абсолютной власти.

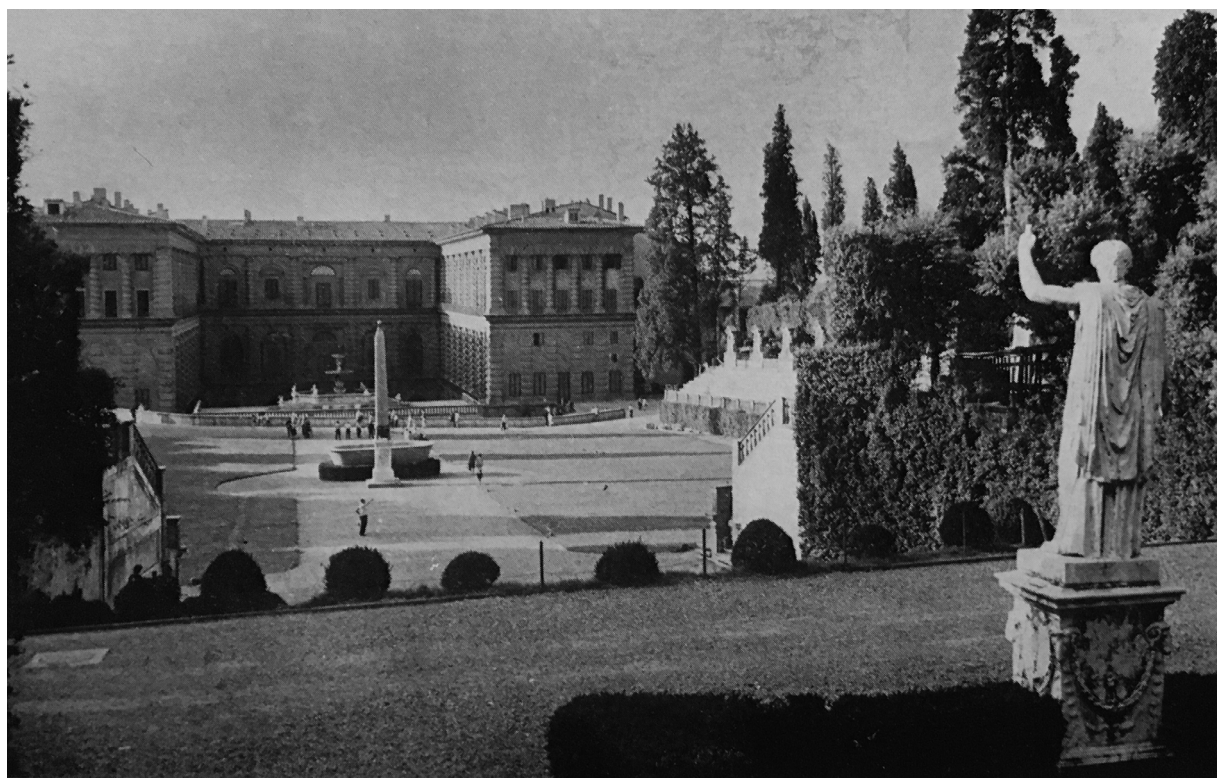


Рис. 7. Терраса перед дворцом Питти в садах Боболи (Италия)

Планировочная ось стала главным и значимым элементом композиционного решения садово-паркового ансамбля Версаля. Однако французское градостроительство в своей основе опиралось на достижения итальянского Возрождения. В частности, для резиденции и паркового комплекса был выбран принцип трёх лучевых улиц Рима, которые сходились к площади дель Пополо. Новые принципы и приёмы получили своё развитие в 60-х гг. XVII в. при создании Парижского диаметра – проспекта Елисейских полей (рис. 8).

Архитектор, первый садовник короля, Андре Ленотр (1613–1700 гг.) проектировал во Франции и создавал такие ландшафтные и градостроительные объекты, как Во-ле-Виконт, Тюильри, Елисейские поля, Сен-Клу, Шантильи, Шуази, Со, Медон и др. Версаль был самым значительным его произведением. Несмотря на лучшие итальянские образцы, Версаль остаётся французским завоеванием в градостроительстве, основанном на научных исследованиях и искусстве Франции. Масштаб ансамбля, организованное динамичное садово-парковое пространство, которое тем не менее «привязано» к главному объекту – дворцу, планировочная структура, основанная на архитектурных пропорциях, – это, несомненно, новое градостроительство (рис. 9, 10).

Историк архитектуры Н.И. Брунов, изучая Рим, его узкие и тесные улицы, его замкнутые пространства Капитолия, собора Петра и его руины, даёт такое заключение: «Только когда на смену этого пришла обобщившая природу горизонталь Версаля, только тогда настало Новое время». В мемуарах известного историка искусства М.В. Алпатова находим: «Осенью этот парк незабываем. Жёлтые деревья своими яркими красками перебивают правильность его расположения, вносят что-то от «baroque» в его строгую закономерность. Всё же этот парк разбит с таким удивительным мудрым расчётом, так богат различными точками зрения и различной перспективой, что даже теперь достоин удивления». И далее: «Версаль также захватил меня своим величием: вода, превращённая в искусство, и его просторы тоже вызвали удивление. Закрывая глаза, я вижу перед собой всё раскинувшееся богатство» [15].

После завершения Версальского парка и проспекта Елисейских полей сложившиеся планировочные приёмы распространяются за пределами Франции. В частности, в проектах планировок Берлина, Лондона, Карлсруэ, Вашингтона. Одним из наиболее интересных примеров радикального преобразования градостроительной структуры, сравнимым по грандиозности замысла с планом Парижа ба-



Рис. 8. Перспектива улицы Риволи. Ансамбль Елисейских полей, Париж



Рис. 9. Версаль. Перспектива Большого дворца и парка с восточной стороны

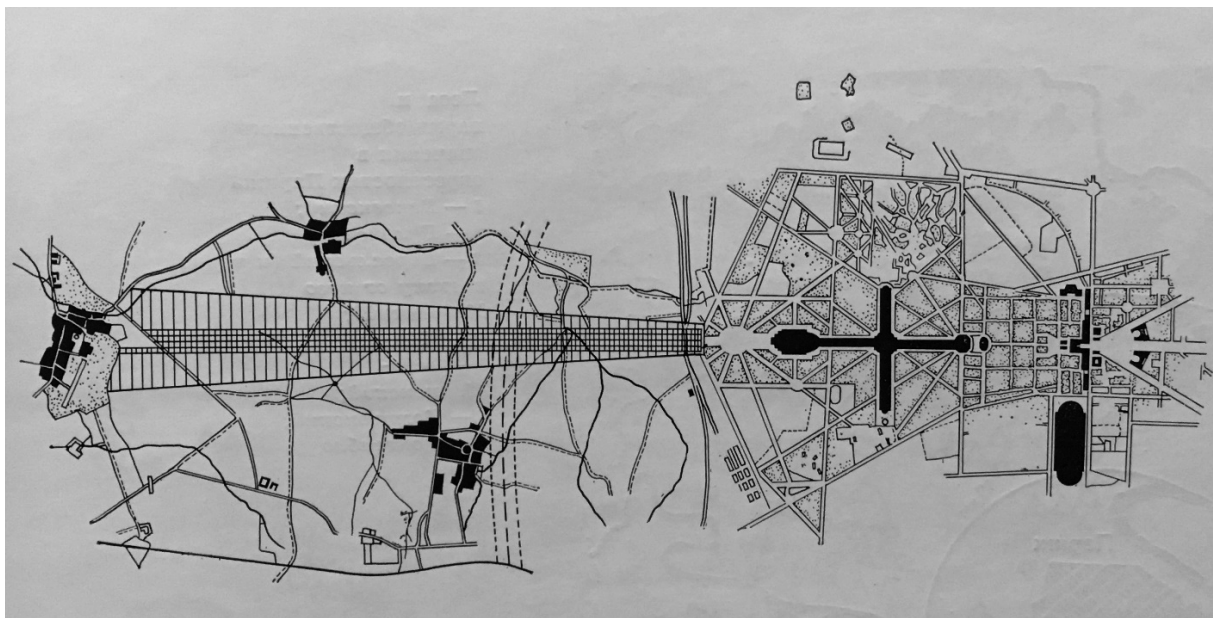


Рис. 10. Версальский парк и его оптическая заповедная зона

рона Османа, был план И. Серда для Барселоны. Происхождение регулярного плана новой столицы Каталонии имело французские корни. Версаль и Елисейские поля явились прототипом квартальной структуры нового города. Абсолютно абстрактный план Эйшампле разрезан пересекающимися тремя улицами, которые сходятся на площади Каталонской славы, подобно парижской площади Звезды. Однако, если сравнивать два проекта, можно увидеть различный подход и отношение к старому городу. Создавая новые планировочные оси, Осман «как бы вспорол городу живот, изменил структуру». На протяжении одного поколения ни одна европейская столица не проводила столь грандиозных мероприятий по реконструкции города, как Париж в 1848-1870 гг.

План И. Серда для Барселоны совершенно игнорировал старый город, да и место, предназначенное для застройки, представляло собой мозаичное сочетание земель различного назначения и использования: от небольших поселений с жалкими лачугами до совершенно пустующих пространств (рис. 11). По выражению Р. Хьюза: «Эта территория была чистой страницей, мечтой инженера-утописта» [16]. Лапидарная решётка должна была поглотить старый город с его запутанной средневековой планировкой. Кроме того, она ассоциировалась с равными условиями для всех. И. Серда разделял социалистические идеи, и лозунг равенства был основополагающим в его творчестве.

В конце 1850-х гг. после политических потрясений и развития промышленного произ-

водства в Вене начались мероприятия по реконструкции транспортной и функциональной структуры города, которая перестала соответствовать статусу столицы империи. В 1857 г. крепостные стены, окружающие старый город, были разобраны, в результате освободилась территория в 2000 га для новой кольцевой магистралей, бульваров и площадей. Ансамбль Рингштрассе проектировали известные архитекторы Вены со своими теоретическими и эстетическими принципами и устремлениями. Таким образом, кольцевая магистраль превратилась в «музей архитектурных стилей». Это практически была градостроительная программа организации и решения центральной части столицы, которая включала в единый комплекс античный город Виндобона и площади с историческими и новыми общественными зданиями. Формирование ансамбля связано с именем известного теоретика и градостроителя Австрии К. Зитте, который предлагал разделить Рингштрассе на отдельные пространственные единицы со своим специфическим архитектурно-художественным решением. Эта идея воплотилась в жизнь лишь частично, когда места, предназначенные для застройки, были заняты разросшейся древесной растительностью. Таким образом, городская магистраль сформировалась как ландшафтный ансамбль.

Крупные преобразования произошли не только на территории Европейских государств. В российской истории можно выделить период с 80–90-х гг. XVII в. до середины XVIII в., который явился переходным этапом к новым архи-

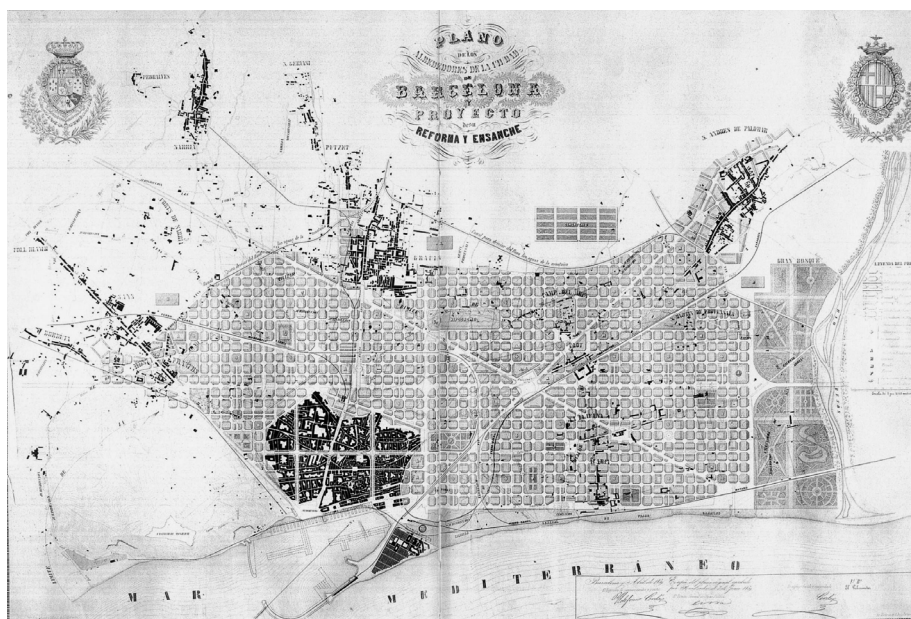


Рис. 11. План Серда для Барселоны

тектурно-планировочным и художественным принципам. Однако в данное исследование не включён опыт градостроительства Российской империи, имеющий уникальное значение и требующий более глубокого анализа.

Изучая историю от Древних цивилизаций до конца XIX столетия в периоды наивысшего расцвета культуры, философии, эстетических представлений, подъёма строительного мастерства, развития строительных технологий, в данном исследовании можно выделить два основополагающих признака, по которым проводится классификация – роль объекта в развитии градостроительства и влияние на художественную культуру, архитектуру, морфологию города:

- садово-парковые ансамбли, изменившие градостроительную парадигму;
- садово-парковые ансамбли, положившие начало строительству и развитию города;
- садово-парковые ансамбли, заменившие исторически устаревшие элементы градостроительной структуры в результате реконструкции города;
- садово-парковые ансамбли, воплотившие идею «исторического ландшафта».

Вывод. Анализ теоретических исследований места города в окружающей среде XX столетия в Западной цивилизации, рассматривающих город как природную систему, позволил установить взаимосвязь с концепциями градостроительства XVI–XIX вв. Англии, Франции, Италии.

Идея города как природной системы раскрыта через образы и метафоры, которые по-

могают понять место садово-парковых ландшафтов в истории цивилизации, а также создать полезные «конструкты» для исследования и понимания городского ландшафта, развития парка.

В результате исследования разработана классификация ландшафтных комплексов, изменивших градостроительную парадигму. В условиях тотальной урбанизации и универсализации профессиональной деятельности важно не утратить опыт, в частности теоретический; те принципы градостроительства, которые на протяжении столетий формировались и транслировались от системы к системе, питали живую мысль созидателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Martin V. Melosi. The Place of the Environmental History. *Environmental History Review*, 1993, v.17, No.1, pp. 1–23.
2. Саваренская Т.Ф. Западноевропейское градостроительство XVII–XIX вв.: Эстетические и теоретические предпосылки. М.: Стройиздат, 1987. 191 с., ил.
3. Рёскин Дж. Семь светочей архитектуры [вступ. С. А. Раппапорта; пер. с англ. М. Куренковой, Н. Лебедевой, С. Сухарева]. СПб.: ООО «Издательство «Пальмира»; М.: ООО «Книга по Требованию», 2017. 315 с., ил.
4. История градостроительного искусства: в 2 т. 2-е изд. М.: Стройиздат, 1979. Т. 1. Бунин А.В. Градостроительство рабовладельческого строя и феодализма. 495 с., ил.
5. Борхес Х.Л. Проза разных лет: сборник / пер. с исп.; сост. и предисловие И. Тертерян; комм.

Б. Дубнина. М.: Радуга, 1989. 320 с.

6. Лихачев Д.С. Слово и сад // *Finitis duodecimi lustris*. Таллин, 1982. 64 с.

7. Горохов В. А., Луниц Л. Б. Парки мира. М.: Стройиздат, 1985. 328 с., ил.

8. Вейс Г. История цивилизации: архитектура, вооружение, одежда, утварь: иллюстрированная энциклопедия: в 3 т. Классическая древность (до IV в.). Т. 1. М.: ЗАО Изд-во ЭКСМО-Пресс, 1998. 752 с.

9. Вологодина Н.Н., Александрова О.Ю. Структура храмовых комплексов в условиях сложного рельефа и принципы проектирования // *Градостроительство и архитектура*. 2020. Т. 10, № 1, С. 128–139. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.17.

10. Хазиахмедова М. Р. Сады христианских монастырей // Россия: межвузовский тематический сборник трудов. СПб.: СПбГАСУ, 1993. С. 88–96.

11. Талбот Райс Д. Три синайских горы. Великобритания, Эдинбург. Византия. Южные славяне и Древняя Русь. Западная Европа. Искусство и культура: сб. статей в честь В. Н. Лазарева / пер. Р. М. Солодовник. М.: Наука, 1973. С. 172–179.

12. Муратов П.П. Образы Италии. М.: Республика, 1994. 592 с., ил.

13. Rolf C. Wirtz. Kunst & Architektur. Florenz. Mit Beiträgen von Clemente Manenti. - Könemann, 2005.

14. Pogány Frigyes. Firenze - Második, Módosított Kiadás, 1971.

15. Алпатов М.В. Воспоминания. М.: Искусство, 1994. 296 с.

16. Роберт Хьюз. Барселона: история города. В серии: Биографии великих городов: [пер. В. Капустиной]. М.: Эксмо; СПб.: Мидгард, 2008. 374 с.

8. Weiss G. *Istoriya civilizacii: arhitektura, voorugenie, odejda, utvar. Klassicheskaya drevnost' (do 4 veka)* [History of civilization: architecture, armament, clothing, utensils. Classical Antiquity (up to the 4th century)]. Moscow, EKSMO-Press Publ., 1998. 752 p.

9. Vologdina N.N., Alexandrova O.Yu. Structure of temple complexes under conditions of complex relief and design principles. *Gradostroitel'stvo I arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 1, pp. 128-139. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.01.17.

10. Khaziakhmedova M.R. Gardens of Christian monasteries. SPbGASU "Mezhvuzovskiy tematicheskii sbornik trudov. Arhitektura" [SPSUACE "Interuniversity Thematic Collection of Works. Architecture"], 1993, pp. 88-96.

11. Talbot Rice D. The Three Sinai Mountains. Great Britain, Edinburgh, 1973, pp. 172-179 (Russ. ed.: Talbot Rice D., Solodovnik R.M. *Tri sinayskih gori*. Moscow, Nauka Publ., 1973. 592 p.).

12. Muratov P.P. *Obrazi Italii* [Images of Italy]. Moscow, Respublika Publ., 1994. 592 p.

13. Rolf C. Wirtz. Kunst & Architektur. Florenz. Mit Beiträgen von Clemente Manenti. - Könemann, 2005.

14. Pogány Frigyes. Firenze - Második, Módosított Kiadás, 1971

15. Alpatov M.V. *Vospominaniya* [Memories]. Moscow, Iscustvo Publ., 1994. 296 p.

16. Robert Hughes. Barcelona (Russ. ed.: Robert Hughes, Kapustina V. *Biographiya velikih gorodov. Barcelona*. Moscow, EKSMO Publ., 2008. pp. 359-374).

REFERENCES

1. Martin V. Melosi. The Place of the Environmental History. *Environmental History Review*, 1993, vol.17, no.1, pp. 1-23.

2. Savarenskaya T.F. *Zapadnoevropeyskoe gradostroitelstvo 17-19 vekov: esteticheskie e teoriticheskie predposilki* [Western European urban planning in the 17th-19th centuries: Aesthetic and theoretical prerequisites]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1987. 191 p.

3. Ruskin J. Seven Lamps of Architecture. London, 1849.

4. Borges J.L. Prose from Various Years (Russ. ed.: Borges J.L., Terteryan I. *Proza ranih let*. Moscow, Raduga Publ., 1989. 320 p.)

5. Likhachev D.S. *Finitis duodecimi lustra*. Word and garden. Talen, 1982, 64 p.

6. Bunin A.V. *Istoriya gradostroitel'nogo iskustva: gradostroitelstvo rabovladelcheskogo stroya e pheodalisma* [History of urban planning: urban planning of the slave system and feudalism]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1979. 495 p.

7. Gorokhov V.A., Lunts L.B. *Parki mira* [Parks of the world]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985. 328 p.

Об авторах:

ВОЛОГДИНА Наталия Николаевна
доцент кафедры архитектуры
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: vologdinanatalya@yandex.ru

ВОЛОДИН Михаил Алексеевич
магистрант кафедры архитектуры
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: mihail.volodin.1996@mail.ru

VOLOGDINA Nataliya N.
Associate Professor of the Architecture Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: vologdinanatalya@yandex.ru

VOLODIN Mikhail A.
Master's Degree Student
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
E-mail: mihail.volodin.1996@mail.ru

Для цитирования: Вологодина Н.Н., Володин М.А. Садово-парковые ансамбли в истории городов // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 104–116. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.15.
For citation: Vologdina N.N., Volodin M.A. Garden and Park Ensembles in the Towns' History. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 104–116. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.15.

**НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ**



Э. А. ГРОМИЛИНА**АСПЕКТЫ ПРЕЕМСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ
АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ГОРОДА****ASPECTS OF SUCCESSION URBAN DEVELOPMENT**

На современное развитие городов оказывает влияние большое количество факторов: политическая ситуация, глобальные изменения климата, эпидемиологическая обстановка и др. В статье исследуются связи подсистем архитектурно-планировочной структуры города, обеспечивающих его преемственное развитие, с аспектами устойчивого развития. Дается обзор существующих исследований по данной теме, и на основе этих данных формулируется подход, обеспечивающий преемственное и устойчивое городское планирование. Аспекты преемственного развития в контексте устойчивого развития разделены на три группы: экологические, экономические и социальные. Процесс планирования городской среды рассматривается как сочетание краткосрочных и долгосрочных программ. С учетом выявленных аспектов сформулированы принципы городского планирования, которые направлены на сохранение и развитие преемственных элементов архитектурно-планировочной структуры города.

Ключевые слова: архитектурно-планировочная структура города, преемственность, устойчивое развитие, теория городского планирования

The modern development of cities is influenced by a large number of factors, for example, the political environment, global climate change, and the epidemiological situation. The article examines the relationship between the subsystems of urban structure, ensuring its successive development, with the aspects of sustainable development. Aspects of succession urban development in the context of sustainable development are divided into three groups: environmental, economic and social. The urban planning process consists of short-term and long-term programs. Taking into account the identified aspects, the principles of urban planning are formulated, which are aimed at preserving and developing the successive elements of the architectural and planning structure of the city.

Keywords: city planning structure, succession, sustainable development, theory of urban planning

Достижение преемственности развития архитектурно-планировочной структуры города обеспечивается планированием, включающим расширенную организацию и реализацию стратегий для передачи характерных элементов, знаний, решений, отражающихся в архитектурно-планировочной структуре города и передаче этой информации следующим поколениям. Несмотря на высокую изученность вопросов сохранения городской среды существует проблема приспособления архитектурно-планировочной структуры города к современным изменениям, без утраты ее ценности и целостности [1 – 4].

Городское планирование в контексте устойчивого развития – это процесс формирования городской среды с учетом экономических, экологических и социальных аспектов, направленный на повышение ее качества.

Улучшение городского планирования является одной из задач устойчивого развития, что включает в себя не только процесс проек-

тирования застройки с учетом расположения существующей застройки и озеленения, улично-дорожной сети, инженерной инфраструктуры, но и социальные взаимодействия, а также систему управления этими процессами [5]. Для определения направлений преемственного развития необходим анализ устойчивых изменений в структуре города.

Город представляет собой целостную систему, в которой под воздействием социальных, экономических и экологических аспектов формирования взаимодействуют и трансформируются компоненты архитектурно-планировочной структуры. Опираясь на определение ООН, что «устойчивость – это удовлетворение потребностей современности без ущерба для будущих поколений удовлетворять свои потребности» [6], можно сказать, что понимание устойчивости имеет очень широкие границы.

Преемственность на уровне архитектурно-планировочной структуры в контексте устойчивого развития включает в себя сохра-

нение, развитие и повышение эффективности использования территории с учетом сложившейся застройки, улично-дорожной сети и природного каркаса. К принципам планирования относится подход по созданию такой среды, которая гибко реагирует на требования общества, защищает окружающую среду, не снижая качество жизни населения при изменении экономической ситуации (рис. 1).



Рис. 1. Влияние аспектов устойчивого развития на уровне преемственности

К *экологическим аспектам* преемственного развития архитектурно-планировочной структуры города относятся природно-климатические условия, рельеф, водные объекты.

Исторически природно-климатические особенности оказывали влияние на архитектурно-планировочную структуру города, определяя естественные границы, профиль улиц, характер застройки. Наличие водных объектов как источника питьевой воды определяло стратегическое расположение населенных мест. Среднегодовая температура изменилась в течение XX в. незначительно, вместе с тем в глобальном отношении произошло сокращение снежного покрова планеты, поднялся средний уровень моря, увеличилось количество осадков. Изменения климата оказывают влияние на качество воды, воздуха, что в свою очередь отражается на инженерном обеспечении городских территорий [6].

Асфальт, бетон и другие твердые поверхности в городе поглощают солнечное излучение, вызывая эффект острова тепла, который усугубляет волну жары и оказывает давление на систему энергоснабжения.

Естественные и искусственные природные компоненты городской структуры нуждаются также в восстановлении и модернизации. Данное деление достаточно условно, так как каждый природный элемент взаимодействует с архитектурно-планировочной структурой города и подвергается воздействию со стороны жителей [7]. К естественным природным компонентам можно отнести – городские леса, озера, болота; к искусственным – парки, скверы, бульвары, ботанические сады, набережные (рис. 2). Часть городских парков представляют собой гибридные системы, в которых сочетаются исторические экосистемы, сохранены естественные ландшафты и, вместе с тем, искусственные элементы – пешеходные, велосипедные дорожки, социальные объекты и объекты сервиса.

Направленное на устойчивое развитие в будущем переосмысление форм зеленых насаждений направлено также на смягчение последствий изменений климата. Существующие исследования показывают, что озеленение способствует очищению воздуха, обеспечивает достаточную влажность и температурный режим, а ряд высокоствольных зеленых насаждений вдоль дорог снижает уровень шума, как, впрочем, и водные объекты создают благоприятный микроклимат [8 – 11].

Преемственность в экологическом аспекте направлена на сохранение биоразнообразия и адаптацию к изменениям климата, повышение качества городской зеленой инфраструктуры. Даже небольшие по своим размерам природные компоненты, например газоны вдоль дорог, живые изгороди, клумбы, являются связующим элементом между искусственной и природной средой обитания [10].

Городское планирование, в свою очередь, с целью устойчивого развития включает зеленые зоны в план мероприятий для создания более разнообразной среды и мест отдыха. Привлечение населения в процесс восстановления и изменения природных элементов способствует повышению культурного уровня и делает озеленение общедоступным.

Таким образом, в экологическом аспекте преемственность архитектурно-планировочной структуры города возможно обеспечить путем интеграции различных природных компонентов, сформировать доступные и инклюзивные открытые пространства, поддерживать естественное озеленение, реализации мероприятий по снижению уровня шума.

Экономический аспект. Города в современном мире являются связующим звеном при взаимодействии людей, инвестиций и технологий. Это связано с процессом миграции тру-



Рис. 2. Примеры преемственных природных элементов

довых потоков, разрастания городов, высокой плотностью, транспортными проблемами, загрязнением окружающей среды [12].

Преемственное развитие архитектурно-планировочной структуры города – это снижение затрат на инфраструктуру и транспорт. Кроме того, реконструкция и реновация отдельных городских объектов устойчиво и с экологической точки зрения, так как это сокращает количество мусора и соответственно загрязнение атмосферы.

Смешанное землепользование улучшает доступность и делает архитектурно-планировочную структуру города более компактной. Проекты по освоению ранее застроенных территорий, увеличивающие плотность застройки, являются критически важными с учетом оценки стоимости строительства, так как интенсивная застройка не только позволяет решить проблему расселения, но и должна приносить прибыль. При планировании составляется финансовый план, в который включаются продолжительность реализации проекта, стоимость строительства, рентабельность. При этом по материальным затратам более дорогой проект может приносить больше выгоды [13].

Также к экономическим аспектам развития относится региональная политика по отношению к объектам историко-архитектурного наследия. Исторические центры городов сильно подвержены влиянию экономических кризисов [14]. Это связано не только с увеличением свободных арендных площадей и зданий, что

приводит к ухудшению их состояния, но и с развитием полицентризма и смещения центра деловой активности к срединной зоне города.

Один из методов, используемых для повышения инвестиционной привлекательности, ориентирован на развитие туризма и создание «бренда» места [14]. Историко-архитектурное наследие является элементом маркетинга для привлечения внешнего капитала. Кроме того, развитие этой сферы экономики способствует появлению новых рабочих мест и снижению уровня безработицы и бедности.

Городское планирование, направленное на сохранение и преемственное развитие, заключается в создании прочной связи между архитектурным наследием и его экономическим потенциалом в качестве ключевого аргумента в пользу природоохранных мер, позиционируя историческую среду как потенциальный туристический и рекреационный актив [14].

Следовательно, в экономическом аспекте преемственность развития архитектурно-планировочной структуры города зависит от методов строительства, технологий, энергоэффективности, и, вместе с тем, её качество оказывает влияние на формирование инвестиционной привлекательности (рис. 3).

Социальный аспект преемственного развития архитектурно-планировочной структуры города отражается на культурном и политическом уровнях. Социальная преемственность относится к личным и социальным активам, правилам и процессам, которые дают возможность



Рис. 3. Экономические аспекты преемственности

отдельным лицам и сообществам участвовать в долгосрочных экономически достижимых стандартах жизни. На практическом уровне социальная преемственность происходит из улучшения отдельных областей социальной сферы, развития потенциала (разнообразие мест приложения труда), безопасности, социального равенства, жилищных условий, а также создании идентифицируемого образа города [15].

Устойчивые сообщества – это места, где люди хотят жить и работать и есть условия для будущих поколений. В исследованиях при изучении рецензируемых статей, опубликованных в международных журналах [8, 9, 16], встречается несколько направлений по определению комфортности жизни на урбанизированных территориях. Одно направление включает в себя создание открытых, естественных и зелё-

ных зон, а также городскую структуру, способствующую социальному взаимодействию и безопасности. Другое направление сосредоточено непосредственно на застройке и её влиянии на субъективное благополучие через социальные отношения, досуг, здоровье и эмоциональный опыт.

Преимственность архитектурно-планировочной структуры направлена на создание условий, в которых развита сфера услуг, окружающая среда высокого качества и высокий уровень жизни. При этом городская среда безопасна и инклюзивна, хорошо спланирована, доступна и для населения предлагаются равные социальные возможности [17].

С социологической точки зрения плотность населения влияет на взаимодействие жителей и создает условия для реализации меро-

приятий, направленных на создание условий для комфортного существования.

Одним из факторов комфортной городской среды является безопасность. Проводилось исследование по воздействию озеленения на уровень преступности [18]. Хотя на уровень преступности оказывает влияние много явлений, исследование показало, что наличие рекреационных и озелененных мест является одним из важных факторов. При этом значительное влияние оказывает не просто наличие зеленых зон, а интенсивность их использования. Результаты подтверждают наличие множественных связей между озеленением и интенсивностью перемещения населения с преступностью. В социальном аспекте это подтверждает, что поведенческие адаптации определяются, в том числе, факторами окружающей среды, а не только индивидуальным выбором.

Обеспечение равноправного доступа к городскому озеленению и активное благоустройство улиц и открытых пространств способствуют увеличению интенсивности использования территорий и являются одними из инструментов городского планирования по снижению уровня преступности. Развитие природного каркаса архитектурно-планировочной структуры ведет к созданию более устойчивых и инклюзивных городов с экологической и социальной точек зрения [18].

Городское планирование с целью обеспечения социального благополучия направлено на разработку программ по развитию природного каркаса, сферы обслуживания, жилищного строительства (рис. 4). Для повышения качества жизни в планы входит создание разнообразных мест приложения труда, досуга, рекреации. Открытые и благоустроенные пространства способствуют снижению уровня преступности, а гибкая система расселения направлена на социальное равенство [19–21].

Сохранение архитектурно-планировочной структуры города, как и сохранение исторической среды, направлено на субъективное благополучие и повышение культуры населения.

Преимущество архитектурно-планировочной структуры города в социальном аспекте состоит из создания комфортной и компактной среды с разнообразной инфраструктурой, развитой системой транспорта, хорошей пешеходной доступностью, открытой и доступной.

Выводы. Проведенное исследование показало, что социальные, экономические и экологические аспекты формирования архитектурно-планировочной структуры города находятся во взаимосвязи. Невозможно формирование комфортной городской среды без привлечения населения и инвестиций. Преимущество развития архитектурно-планировочной структуры города обеспечивается при балансе и учете всех аспектов устойчивого развития.

Городское планирование, направленное на устойчивое развитие, способствует развитию компактных форм строительства, ориентированных на обеспечение доступности услуг и общественного транспорта.

Принципы преимущества развития архитектурно-планировочной структуры посредством городского планирования заключаются в следующем:

- 1) улучшение транспортной инфраструктуры, развитие общественного транспорта и сокращение количества автомобилей;
- 2) обеспечение доступа к социальным объектам и услугам;
- 3) обеспечение хорошей пешеходной доступности;
- 4) максимальная интеграция в архитектурно-планировочную структуру различных форм городских ландшафтов;
- 5) предоставление доступных и инклюзивных общественных пространств, а также мест общего пользования;
- 6) поддержание порядка в городской среде и озеленение;
- 7) реализация мероприятий по снижению шума;
- 8) сохранение исторической застройки, улучшение ее состояния, проведение реставрационных мероприятий и снижение ее аварийности;

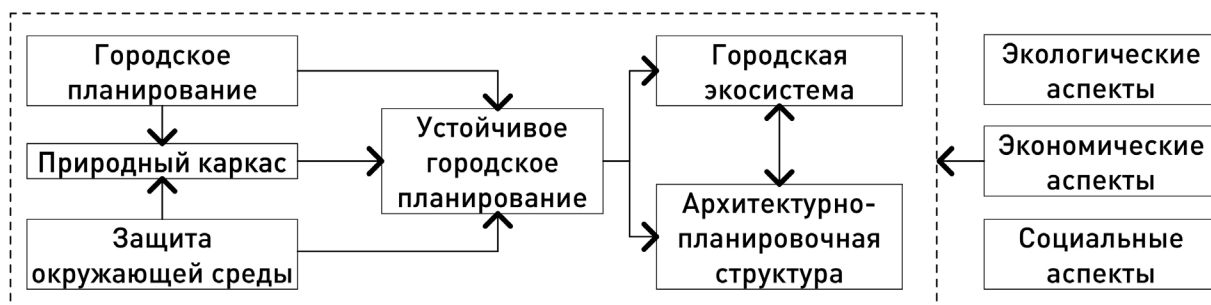


Рис. 4. Схема взаимодействия компонентов

9) формирование общественных пространств исходя из потребностей и предпочтений жителей;

10) уменьшение социально-пространственного неравенства;

11) поощрение участия общественности в процессе городского планирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Смоляр И.М. Градостроительное планирование как система: Прогнозирование. Программирование, проектирование: тр. Рос. акад. архитектуры и строит. наук. М.: УРСС, 2001. 164 с.

2. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. М.: Стройиздат, 1984. 256 с.

3. Росси А. Архитектура города: пер. с англ. М.: Стрелка Пресс, 2015. 290 с.

4. Веретенников Д.Б. Преобразование планировочной структуры города на основе его генезиса. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 288 с.: ил.

5. Основы теории градостроительства/ Яргина З. Н., Косицкий Я.В., Владимиров В.В., Гутнов А.Э., Микулина Е.М., Сосновский В.А.; под ред. З.Н. Яргиной. Екатеринбург: АТП, 2014. 316 с.

6. Sustainable Development in the 21st century (SD21) / [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://sustainabledevelopment.un.org/resources/sd21>

7. Байкова А. А. Экологический подход к программе реновации жилой среды // Наука, образование и экспериментальное проектирование. 2020. № 1. С. 381–383. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskij-podhod-k-programme-renovatsii-zhiloy-sredy> (дата обращения: 20.06.2021). DOI: 10.24411/9999-034A-2020-10095.

8. Kostas Mouratidis. Urban planning and quality of life: A review of pathways linking the built environment to subjective well-being. Cities, Volume 115, 2021. 103229. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103229>.

9. Helen Pineo (2020) Towards healthy urbanism: inclusive, equitable and sustainable (THRIVES) – an urban design and planning framework from theory to praxis, Cities & Health, DOI: 10.1080/23748834.2020.1769527

10. Valentin H. Klaus, Kathrin Kiehl. A conceptual framework for urban ecological restoration and rehabilitation, Basic and Applied Ecology, Volume 52, 2021. Pages 82-94. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.02.010>.

11. Орлов О.Г. Определение приоритетного варианта скоростной магистрали на основании оценки шумозащитной эффективности ограждений // Градостроительство и архитектура. 2011. Т.1, № 2. С. 120–122. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.02.26

12. Коллас Р. Нью-Йорк вне себя. Ретроактивный манифест Манхэттена / пер. с англ. М.: Strelka Press, 2013. 336 с., ил.

13. Василий Аузан. Стимулы, парадоксы, провалы: город глазами экономистов. М.: Strelka Press, 2016. 336 с.

14. Mark Scott, Arthur Parkinson, Richard Waldron, Declan Redmond, Planning for historic urban environments under austerity conditions: Insights from post-crash Ireland, Cities, Volume 103, 2020, 102788, <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102788>.

15. Гейл Я. Города для людей: пер. с англ. М.: Альпина Паблишер, 2012. 276 с.

16. Deirdre Pfeiffer & Scott Cloutier (2016) Planning for Happy Neighborhoods, Journal of the American Planning Association, 82:3, 267-279, DOI: 10.1080/01944363.2016.1166347

17. Burton E. Measuring Urban Compactness in UK Towns and Cities. Environment and Planning. B: Planning and Design. 2002; 29(2):219-250. DOI:10.1068/b2713.

18. Schertz K.E., Saxon J., Cardenas-Iniguez C. et al. Neighborhood street activity and greenspace usage uniquely contribute to predicting crime. npj Urban Sustain 1, 19 (2021). <https://doi.org/10.1038/s42949-020-00005-7>

19. Вавилова Т.Я. Обзор современных зарубежных концепций экологизации среды жизнедеятельности // Градостроительство и архитектура. 2019. № 3. С. 113–125. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.15.

20. Ахмедова Е.А., Вавиловская Т.В. Принципы поэтапной реорганизации архитектурно-пространственной структуры городской среды на основе инновационных технологий // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 2. С. 68–79. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.02.10.

21. Орлова Н.А., Орлов Д.Н., Молчанова В.В. Средовой туризм. Фрагменты целостной исторической застройки как объект туристической привлекательности // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, № 3. С. 99-105. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.19.

REFERENCES

1. Smolyar I.M. *Gradostroitel'stvo kak sistema: Prognozirovaniye. Programmirovaniye, proektirovaniye: trudy Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk* [Urban planning as a system: Forecasting. Programming, Engineering: works of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences]. Moscow, 2001. 164 p.

2. Gutnov A.E. *Evolutsiya gradostroitel'stva* [The Evolution of Urban Planning]. Moscow, Stroyizdat, 1984. 256 p.

3. Rossi A. *Arkhitectura goroda* [City architecture]. Moscow, Strelka Press, 2015. 290 p.

4. Veretennikov D.B. *Preobrazovanie planirovochnoy struktury goroda na osnove ego genezisa* [Transformation of the planning structure of the city based on its genesis]. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 288 p.

5. Yargina Z. N., Kositskiy Ya.V., Vladimirov V.V., Gutnov A.E., Mikulina E.M., Sosnovskiy V.A. *Osnovy teorii gradostroitel'stva* [Foundations of the theory of urban planning]. Yekaterinburg, ATP, 2014. 316 p.

6. Sustainable Development in the 21st century (SD21) Available at: <https://sustainabledevelopment.un.org/resources/sd21>.

7. Baykova A.A. Environmental approach to the residential renovation program. *Nauka, obrazovanie i eksperimental'noe proektirovanie* [Science, education and experimental design], 2020, no. 1, pp. 381–383. (in Russian) DOI: 10.24411/9999-034A-2020-10095.
8. Kostas Mouratidis. Urban planning and quality of life: A review of pathways linking the built environment to subjective well-being. *Cities*, 2021, V. 115, pp. 103–229. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103229>.
9. Helen Pineo. Towards healthy urbanism: inclusive, equitable and sustainable (THRIVES) – an urban design and planning framework from theory to praxis, *Cities & Health*, 2020. DOI: 10.1080/23748834.2020.1769527.
10. Valentin H. Klaus, Kathrin Kiehl. A conceptual framework for urban ecological restoration and rehabilitation, *Basic and Applied Ecology*, 2021, V. 52, pp. 82–94. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.02.010>.
11. Orlov O.G. Determining the priority version of the high-speed highway based on the assessment of noise protection efficiency of fences. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban planning and architecture], 2011, V.1, no. 2, pp. 120–122. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.02.26.
12. Kolkhas R. *N'yu-York vne sebya. Retroaktivnyy manifest Mankhettena* [New York is out of it. Manhattan Retroactive Manifesto]. Moscow, Strelka Press, 2013. 336 p.
13. Vasily Auzan. *Stimuly, paradoksy, provaly: gorod glazami ekonomistov* [Incentives, paradoxes, failures: the city through the eyes of economists] Moscow, Strelka Press, 2016. 336 p.
14. Mark Scott, Arthur Parkinson, Richard Waldron, Declan Redmond, Planning for historic urban environments under austerity conditions: Insights from post-crash Ireland, *Cities*, 2020, V. 103, pp. 102–788. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102788>.
15. Geyl Ya. *Goroda dlya lyudey* [Cities for people]. Moscow, Alpina Pablysher, 2012. 276 p.
16. Deirdre Pfeiffer & Scott Cloutier. Planning for Happy Neighborhoods, *Journal of the American Planning Association*, 2016, pp. 267–279. DOI: 10.1080/01944363.2016.1166347.
17. Burton E. Measuring Urban Compactness in UK Towns and Cities. *Environment and Planning. B: Planning and Design*, 2002, V. 2, no. 2, pp. 219–250. DOI: 10.1068/b2713.
18. Schertz K.E., Saxon J., Cardenas-Iniguez C. et al. Neighborhood street activity and greenspace usage uniquely contribute to predicting crime. *npj Urban Sustain* 1, 2021, no. 19. Available at: <https://doi.org/10.1038/s42949-020-00005-7>.
19. Vavilova T.Ya. Review of Modern Foreign Concepts of Environmentalization of the Living Environment. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, V.9, no. 3, pp. 113–125. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.15.
20. Akhmedova E.A., Vavilonskaya T.V. Principles of step-by-step reorganization of the architectural and spatial structure of the urban environment based on innovative technologies. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, V.9, no. 2, pp. 68–79. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.02.10.
21. Orlova N.A., Orlov D.N., Molchanova V.V. Wednesday tourism. Fragments of holistic historical development as an object of tourist attractiveness. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, V. 8, no. 3, pp. 99–105. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.19.

Об авторе:

ГРОМИЛИНА Эльвира Алексеевна

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

GROMILINA Elvira A.

Postgraduate student of the Architecture Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443100, Russia, Samara, Molodogvardeiskaya str., 244
E-mail: grom-elvira@yandex.ru.

Для цитирования: Громила Э.А. Аспекты преемственного развития архитектурно-планировочной структуры города // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 117–123. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.16.
For citation: Gromilina E.A. Aspects of succession urban development. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 117–123. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.16.

T. A. PLOTNIKOVA
Т. А. ПЛОТНИКОВА

THE POWER OF NETWORKS AND THE DIGITAL WORLD OF CO-CREATION: DESIGN TOOLS AND STRATEGIES

СИЛА СЕТЕЙ ЦИФРОВОГО МИРА И ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ
КОЛЛЕКТИВНОГО ДИЗАЙНА: ИНСТРУМЕНТЫ И СТРАТЕГИИ

Цель представленного исследования – понять, как глобализация меняет структуру индустрии архитектурного дизайна и какие стратегии и технологии мы, как профессионалы, можем использовать в своей практике для удовлетворения текущих потребностей отрасли. В данной статье обсуждаются возможности цифровой сети и то, как она может расширить наши возможности совместного дизайна и проектирования. Исследование рассматривает историю архитектуры и анализирует текущие тенденции индустрии, а также предлагает ряд решений для более эффективной реализации проектов и совместного создания дизайна.

Ключевые слова: архитектурный дизайн, коллективный дизайн, цифровые технологии, сеть

The purpose of this study is to understand how globalization is changing the set up of the architectural design industry and what strategies and technologies we, as industry professionals, can incorporate in our practices to meet the current industry demands. This paper discusses the power of the network and how it can positively redefine our approaches and expand our capabilities in design co-creation. This study looks at the history of architectural design, and analyzes current industry trends and demands. It also offers a number of research-based solutions for more effective project delivery and design co-creation.

Keywords: architectural design, co-creation, digital technology, network

Introduction

With the advent of the internet, the way we do things has changed dramatically. The online network allowed us to establish new connections and provided an extremely efficient communication channel. The world wide web changed the practices of many industries at their core, and it did not exclude architecture and design. Apart from letting us, architecture professionals, deliver work more effectively, it allowed us to establish a two-way communication with the end user.

Prior to the online network, the creation process was primarily linear - from the designer to the end user - and there were not enough tools to accumulate users' feedback, conduct deeper research etc. Currently many firms worldwide leverage the power of networks to deliver work, but unfortunately do not leverage it enough to create context sensitive design solutions. Oftentimes, companies get appointed to design plots of land and end up producing design solutions that contradict the context of the city, or, simply put, do not make sense to the people who live in the neighborhood.

It is possible to argue that such conflicting environments are created due to designers not taking the extra step to familiarise themselves with the context; failing to incorporate the tools to collect data about the needs of the particular area and its residents.

We are living in a day and age when it is easier than ever to collect data and leverage it in our design processes. When it comes to smaller scale projects, simple observations of people's daily narratives and interviews can suffice. However, when it comes to large urban developments or public spaces, it becomes more challenging to accumulate data and co-create with the users of a particular space.

In this paper I will look at existing practices, as well as some of the bright examples of how architecture and urban design can be co-created using the power of the network. I will also look at the problem at micro and macro scales: firstly starting from the typical design studio setup (the internal structure of the design team) and moving to macro, relating to teams of designers interacting and receiving feedback from the end-user of the space.

Network specifism

In his essay, "Network Specifism: Beyond Critical Regionalism", Carlo Ratti (2013) and his co-authors say that the internet, geo-location, IP locations and URLs are everything in the digital age. According to them, they all affirm "the renewed centrality of place itself within the boundless gapping geographies of virtual and parallel worlds".

The connective power of networks has the capability to increase connectivity between different

people, and therefore provides a connection between the local and the global. This includes networks for building users and citizens, networks that link traditional disciplines and networks for design professionals who can work together from across the globe, using synchronized digital tools.

It seems that in this digital age network specificity starts to redefine design practices within the architecture industry; it takes it to a new level by integrating almost limitless global connection into architecture and a number of other disciplines, such as network analytics or theoretical ecology. Now, architectural production can be based not only on the site of the building, but also within the networked community of people that contribute to it.

One of the most well known platforms where such interaction is happening is Kickstarter. Throughout the global network, ideas and voices resonate and make different projects feasible. This principle has another similar platform, Brickstarter, but with the focus on the local scale: communities, neighborhoods and cities (Carlo Ratti et al., 2013: 22-23).

Recently the anthropologist of technology Christopher Kelty made a complex scientific analysis. It showed that networks of human interaction are locally grounded and he described it as "recursive public" - an open community that is both a generator of networks and its result (Kelty, C., 2008: 3).

Now is a special moment in time - ideas, projects and urban fabric of cities can be produced on collective platforms of dynamic exchange and co-production. Why? Because unique and intimate collaborations across ever-present networks add quality and value to architecture. Now, technology and the power of networks can work as a tool to create "new places of intimacy and exchange - places without the restrictions of physical space" (FutureEverything Publications n.d.).

Why co-design is important

Oftentimes, architects and their teams make multiple site visits, which allow them to understand key components of the area: key functions and space uses, transport intersections etc. Design teams might even do their research during different times of the day to see how the space operates under different environmental conditions.

But when it comes to large urban environments, there is an infinite number of potential uses, users and particularly narratives that happen within the space. And the more information architects and designers can find/accumulate about the space, the more responsive and contextual their design solution will be. And that is the key to designing places that people love.

Understanding how people use spaces is about collecting multiple viewpoints in one big ecosystem/web and leveraging that in the design

process. It is about gathering collective intelligence and feeding it back into design.

"Co-design illustrates how architectural intelligence can be exercised in a much broader spatial field that acknowledges more than just the building itself but social, global, ecological and virtual networks, thereby changing how the authors design, what the authors design and who designs it." (Combrinck and Porter, 2021)

Collecting users' feedback and general information about the user experience narratives can help architects and designers identify existing and desired programmatic blueprints and design spaces accordingly. Such data can serve as a framework for design: by respecting established social narratives and the end user, an architect can tailor their designs to the programs that already exist and therefore increase the overall social capital of the area.

Co-creation strategies

Co-creation is an active and engaged collaboration between users and the experts (between the end user of the building / space and the experts in the design field). Co-design by definition is done collectively with the user in the equation and is deeply rooted in engagement, understanding, ideation and validation.

To successfully put such practices in place, it is crucial to first consider both groups (the design professionals and the end user) separately. While the end user can only cooperate with the design team and deliver his/her opinion, the design team has to work coherently within and have common values and objectives in place. This is why the first part of this chapter will focus exclusively on design team principles, and the second on orchestrating effective user-designer feedback loops.

Part 1: Design team principles for effective co-creation

Homogeneous skillset. To be able to effectively communicate with each other, it is important to speak the same language. When it comes to co-design, knowing the same software is crucial for establishing an effective workflow.

Clear definition of the project and clear structure of deliverables. Having a comprehensive understanding of the deliverable can help individuals to approach work more strategically and plan time more effectively.

Establishing individual roles and individual deadlines for specific tasks. Currently, design teams rarely measure the KPIs of their design team members. To ensure that the team is working efficiently, it is crucial to access the performance of each member.

Each team member should be familiar with the evaluation criteria and expectations of the team. Having such practices in place promotes self-reflection, communication and better performance in the workspace.

Smaller and more diverse design teams make for better understanding of the urban environment and the community, as well as making more effective decisions.

Horizontal structure of the team

Holistic and narrative based design approach. Program first, design second. Supporting existing spatial narratives with well-implemented design.

Mutual team values of respect towards the end user. Seeing/recognising significant value in the community's feedback.

Part 2: Orchestrating user-designer feedback loops: tools and methodologies

Facilitating positive interactions between the end user and the design expert is key to co-creating a successful project. Currently there are few architectural and urban design platforms that support data collection from the user, but there are several great methods and examples of user feedback loops that I will discuss below.

Perhaps some of the most popular tools nowadays that require individual participation are security applications like Citizen and Nextdoor. These applications allow users to map criminal activity and provide the community with a comprehensive, time-sensitive canvas of data. Such platforms are extremely popular as they leverage the power of the community. They collect crime events in one ecosystem and create collective awareness.

But how can we effectively crowdsource community observations for architectural and urban design? First of all, it is important to note that in this industry most volunteer research activities are conducted by teenagers and elderly people. Due to the age of the latter group, most of the research is still documented using pen and paper. But things are changing and technology is finding a way to integrate hand-written observations with digital data collection tools.

A great example of such a tool is the application LocalData, which allows people to collect data and integrate it into a time-stamped, visualized and mapped data ecosystem. It allows communities to either use their smartphones or print and scan their research to integrate it back into the system. LocalData leverages the power of the community network and manages to consolidate urban planning and urban research processes, which are typically very disintegrated. The application collects the data, but also maps and structures it, relieving urban planners who previously had to manually process and make sense of all individually-collected data.

With the development of such new tools, it is becoming easier to crowdsource community observations and reports that can be leveraged to make strategic neighborhood decisions and improvements, be it security, design or any other field. Personally, I think the next logical step to-

wards developing and leveraging such collective intelligence would be to integrate this technology into our social networks. Social networks already provide us with the ability to create feedback loops in the form of questionnaires, opinion polls, crowdfunding and tagging our geolocation. The next step would be about adapting or tailoring the technology we already have towards the research in a specific field. Leveraging the power of social networks can give us access to different demographic groups, communities and neighborhoods, and deeply enrich our design practices.

Discussion and conclusions

Digital co-design and co-creation is about making people's lives better; it is about facilitating deeper community involvement and using data to inform urban design projects and city improvements. It is an approach that can help architecture industry professionals produce more responsive designs and more effective design solutions. User feedback is often highly valued in business - organizations ask their customers what can be done from their side to provide a better service. The same logic can be, and should be, implemented in design as well.

Urban design is about people and for people. Involving people in the co-design process is about leveraging community observations and using programmatic narratives as a foundation for effective urban planning and design. It is important to not only make environments aesthetically pleasing, but also make them usable and that is where we, as creatives, need users' feedback. Implementing feedback loops from our users (a community, when it comes to urban design) can improve our work as designers and help us deliver projects that people love.

In her workshop "Co Design", Liz Sanders discusses an interesting timeline: she believes that in the past it was just design (where experts design for people) but now we are in the time of co-designing, where many companies and professionals design together with people. She predicts the next stage will be "Collective Dreaming", where people will leverage the power of collective networks to produce design together.

Collective Dreaming is a time where spaces will be designed by people and I believe it is the responsibility of designers to provide people with the right type of tools to make design a collective activity. Tools that will allow people to deeply engage with spaces, understand them, ideate, visualize and validate future scenarios as a collective.

The future of design lies in its democratization, where people can collectively explore and imagine what their environments can look like. Giving design power to people is about giving communities tools to shape their future.

I think we are now entering a new era that is powered by technology and by people. An era that will redefine roles and will enable collective creativity, which will be a huge benefit for society as a whole. Design that is informed by people can improve the social capital of places, communities' wellbeing and the overall livelihood and joy of people who live or use those spaces.

Luckily technology is becoming more advanced and is enabling us to do things in ways that were not previously possible. For example, virtual immersive environments enable us to co-create while being in different locations. And I believe this is what the future holds: humanity will see increasing value in collective creativity and will keep developing new tools to enable us to advance and develop our collective intelligence.

REFERENCES

1. Kelty, C. (2008) Two Bits: The Cultural Significance of Free Software.
2. Ratti, C., Picon, A., Haw, A. and Claudel, M. (2013). The power of networks. *The Architectural Review*, 22-23.
3. Ratti, C., Picon, A., Haw, A. and Claudel, M. (2013). The power of networks: Beyond Critical Regionalism. Available: <https://www.architectural-review.com/essays/the-power-of-networks-beyond-critical-regionalism> [Accessed 1st May 2021].
4. Liz Sanders (2017) Co Design Workshops [video] Workshops New Zealand.
5. Combrinck, C. and Porter, C., 2021. Co-design in the architectural process | Emerald Insight. [online] Emerald.com. Available at: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/ARCH-06-2020-0105/full/html> [Accessed 6 May 2021].
6. Campbell-Dollaghan, K. (2012). LocalData, An App That Helps Communities Do Their Own Urban Planning. [online] Fast Company. Available at: <https://www.fastcompany.com/1670954/localdata-an-app-that-helps-communities-do-their-own-urban-planning> [Accessed 7 May 2021].
7. Kozłowska, H. (n.d.). Are neighborhood watch apps making us safer? [online] Quartz. Available at: <https://qz.com/1719954/mobile-phone-apps-like-citizen-aim-to-curb-neighborhood-crime/> [Accessed 7 May 2021].

About the author:

PLOTNIKOVA Tatyana A.

Master, Director

Uflo

90089, USA, California, Los Angeles,

Trousdale Parkway, 3670

E-mail: tiana.a.plotnikova@gmail.com

ПЛОТНИКОВА Татьяна Александровна

магистр наук, директор

Uflo

90089, США, Калифорния, Лос Анджелес, Трусдейл

Парквей, 3670

E-mail: tiana.a.plotnikova@gmail.com

For citation: Plotnikova T.A. The power of Networks and the Digital World of Co-creation: Design Tools and Strategies. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 124–127. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.17.



А. А. КОРМИНА

КОМБИНИРОВАННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ ЖИЛОЙ СРЕДЫ НА БЛАГОПОЛУЧИЕ НАСЕЛЕНИЯ ГОРОДА

COMBINED EFFECTS OF THE LIVING ENVIRONMENT
ON THE WELL-BEING OF THE CITY POPULATION

Рассмотрен метод оценки воздействия факторов разной природы на компоненты среды жизнедеятельности города, определяющие благоприятные условия жизни и благополучие населения. Статистически установлено, что многообразие факторов следует учитывать при оценке и нормировании комбинации многофакторных воздействий на демографические и социальные процессы, происходящие в городской среде. Комбинации наиболее значимых взаимодействующих факторов и построенные на их базе статистические модели представляется возможным учитывать при прогнозировании уровня заболеваемости, динамики миграционных процессов, семейного благополучия населения и др. Разработанные модели и методика оценки могут служить инструментом поддержки принятия управленческих решений по обеспечению высокого уровня качества жизни населения и градостроительству жилых территорий.

Ключевые слова: градостроительство, среда жизнедеятельности города, жилые районы (микрорайоны/кварталы), благоприятные условия жизни, статистические зависимости, многофакторный анализ, комбинация факторов, синергизм, антагонизм, прогнозирование

Введение. В жизнедеятельности населения в городах обязательно присутствует сочетание различных взаимодействующих факторов: экономических, экологических, социальных и др. [1]. Их взаимодействие может иметь аддитивный, антагонистический и синергетический характер [2]. Эффекты синергизма, антагонизма или суперпозиции при взаимном рассмотрении факторов среды предопределять достаточно сложно. Однако значимость проблем в области безопас-

The method of assessing the impact of factors of different nature on the components of the city's living environment that determine favorable living conditions and the well-being of the population is considered. It is statistically established that the variety of factors should be taken into account when assessing and normalizing the combination of multifactorial impacts on demographic and social processes occurring in the urban environment. Combinations of the most significant interacting factors and statistical models based on them can be taken into account when predicting the level of morbidity, the dynamics of migration processes, the family well-being of the population, and others. The developed models and assessment methodology can serve as a tool to support management decision-making to ensure a high level of quality of life of the population and urban development of residential areas.

Keywords: urban structure, urban environment, residential areas (microdistricts/quarters), favorable conditions, statistical dependencies, multifactor analysis, combination of factors, synergy, antagonism, forecasting

ности жизнедеятельности населения в городе, связанных с неоднозначностью определения конечного результата взаимодействия различных факторов, в настоящее время сильно возрастает. В ситуации, когда предсказать характер и степень взаимодействия факторов, порождённых все усложняющимися техногенными, экологическими, социальными процессами, простым экспериментированием невозможно, необходимо применять математическое моделирование [3].

При комбинированном действии различных физических, химических и даже социальных факторов их вредное воздействие может суммироваться (независимое действие – суперпозиция), ослабляться (антагонизм) или усиливаться (синергия). Синергетическое взаимодействие факторов загрязнения окружающей среды предоставляет особую опасность. Чтобы оценить принципиальную возможность синергетического или антагонистического взаимодействия факторов окружающей среды необходимо проанализировать зависимость от величин факторов [4].

Физический смысл прогнозирования состояния среды жизнедеятельности города (благоприятных или неблагоприятных условий жизнедеятельности) состоит в том, что эффекты взаимодействия факторов могут быть предсказаны только в результате ненулевого взаимодействия между ними независимо от сложности системы, а любое отклонение от ожиданий указывает на наличие комбинации и ее тип [5].

Системный подход в настоящем исследовании реализуется в виде модели «черного ящика»: на входе определенное количество взаимодействующих факторов, на выходе – эффект их взаимодействия.

В процессе принятия решений по градостроительству (планированию, реконструкции и др.) важно понимать, имеют ли факторы в результате комбинации ожидаемую величину (ненулевое взаимодействие) или эффект зависит от других механизмов внешних воздействий. В фармакологии и медицине, например, при синергетическом действии канцерогенов окружающей среды большое влияние на заболеваемость новообразованиями может быть оказано за счёт резкого снижения (увеличения) одного легко контролируемого канцерогена [6].

Постановка задачи и метод ее решения.

Предположим, что имеется n переменных, влияющих на состояние объекта исследования, измеряемых в действительных величинах $x_1, x_2, \dots, x_n$, которые могут быть интерпретированы как некоторые экологические, социальные и другие факторы среды жизнедеятельности города.

Далее предположим, что комбинированный эффект от воздействия этих переменных на некоторый объясняемый фактор Y может быть описан функцией

$$Y(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0. \quad (1)$$

Функцию $Y = Y(x)$ – можно представлять как, например, индекс, измеряющий качество городской среды.

Обозначим ΔY_i – приращение благоприятного (или неблагоприятного) воздействия при увеличении параметра (фактора) x_i на величину $\Delta x_i > 0$, при этом все другие переменные находятся на постоянном уровне, т. е.

$$\Delta Y_i = Y(x_1, x_2, \dots, x_i + \Delta x_i, \dots, x_n) - Y(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n). \quad (2)$$

Если функция Y зависит только от двух, возможно взаимодействующих, факторов, то в принципе могут быть три типа взаимодействия:

- синергизм;
- антагонизм;
- суперпозиция.

Возникает гипотеза: для переменных x_1 и x_2 имеет место синергизм (антагонизм, суперпозиция), если приращение функции Y , вызванное одновременным воздействием x_1 и x_2 , больше (меньше, равно) суммы приращений, вызванных одиночными воздействиями x_1 и x_2 , т. е.

$$\begin{aligned} Y(x_1, x_2) &> Y(x_1, 0) + Y(0, x_2) \\ Y(x_1, x_2) &< Y(x_1, 0) + Y(0, x_2) \\ Y(x_1, x_2) &= Y(x_1, 0) + Y(0, x_2) \end{aligned}$$

Неявно это определение используется в работе [3] на примере нелинейной функции вида

$$Y(x_1, x_2) = a + bx_1 + cx_2 + dx_1x_2, \quad (3)$$

где a, b, c и d – коэффициенты уравнения; при этом синергизм (антагонизм, суперпозиция) возникает, если $d > (<, =) 0$.

Рассмотрим возможные варианты взаимодействия факторов среды жизнедеятельности.

Пусть взаимодействия между факторами x_1 и x_2 нет, тогда

$$Y = a + bx_1 + cx_2.$$

1. Если факторы x_1 и x_2 действуют отдельно:

$$\begin{aligned} \Delta Y(x_1, 0) &= a + b(x_1 + \Delta x_1) + cx_2 - (a + bx_1 + cx_2) = b\Delta x_1; \\ \Delta Y(0, x_2) &= a + bx_1 + c(x_2 + \Delta x_2) - (a + bx_1 + cx_2) = c\Delta x_2, \end{aligned}$$

то суммарный эффект в этом случае

$$\Delta Y = \Delta Y(x_1, 0) + \Delta Y(0, x_2) = b\Delta x_1 + c\Delta x_2.$$

2. Если факторы x_1 и x_2 действуют одновременно:

$$\begin{aligned} \Delta Y &= a + b(x_1 + \Delta x_1) + c(x_2 + \Delta x_2) - \\ &- (a + bx_1 + cx_2) = b\Delta x_1 + c\Delta x_2, \end{aligned}$$

то в обоих случаях имеет место **суперпозиция**.

Пусть факторы x_1 и x_2 взаимодействуют между собой:

$$Y = a + bx_1 + cx_2 + dx_1x_2.$$

1. Если факторы x_1 и x_2 действуют отдельно:

$$\begin{aligned}\Delta Y_1 &= a + b(x_1 + \Delta x_1) + cx_2 + d(x_1 + \Delta x_1)x_2 - \\ &\quad - (a + bx_1 + cx_2 + dx_1x_2) = (b + dx_2) \Delta x_1; \\ \Delta Y_2 &= a + bx_1 + c(x_2 + \Delta x_2) + dx_1(x_2 + \Delta x_2) - \\ &\quad - (a + bx_1 + cx_2 + dx_1x_2) = (c + dx_1) \Delta x_2,\end{aligned}$$

то суммарный эффект

$$\Delta Y = \Delta Y_1 + \Delta Y_2 = b\Delta x_1 + c\Delta x_2 + d(x_1\Delta x_2 + x_2\Delta x_1).$$

2. Если факторы x_1 и x_2 действуют одновременно:

$$\begin{aligned}\Delta Y &= a + b(x_1 + \Delta x_1) + c(x_2 + \Delta x_2) + \\ &\quad + d(x_1 + \Delta x_1)(x_2 + \Delta x_2) - (a + bx_1 + cx_2 + dx_1x_2) = \\ &= b\Delta x_1 + c\Delta x_2 + d(x_1\Delta x_2 + x_2\Delta x_1) + d(\Delta x_1\Delta x_2),\end{aligned}$$

то при $d > 0$ – синергизм, при $d < 0$ – антагонизм, при $d = 0$ – суперпозиция.

Пример. Рассмотрим варианты комбинированного воздействия различных факторов для установленных в работе [7] статистических зависимостей показателей среды жизнедеятельности биосферосовместимого города в виде уравнений линейной регрессии. На примере одновременно взаимодействующих двух факторов, их комбинации представляется возможным говорить о прогнозировании эффекта их взаимодействия в процессе принятия решений по градостроительству.

На основе метода наименьших квадратов произведем оценку параметров регрессии и определим коэффициенты уравнения, воспользовавшись средствами Excel. Для объясняемого фактора Y_1 «Количество родившихся за последний год» взаимное влияние двух взаимодействующих между собой объясняющих факторов x_1 и x_2 отражено в табл. 1.

Полученные значения коэффициента d модели (3) позволяют сделать вывод о синергетическом взаимодействии факторов x_{50} «Численность населения» и x_{48} «Выбросы загрязняющих

веществ», проявляющемся в усилении их совместного влияния на результирующий фактор Y_1 «Количество родившихся за последний год», и антагонистическом характере двух пар факторов x_{50} «Численность населения» и x_3 «Плотность застройки», и x_{50} «Численность населения» и x_{24} «Инженерная защищенность территории и уровень экологической безопасности (уровень защищенности помещений от накопления радона)», что уменьшает эффект их взаимного влияния на рождаемость.

Явление синергии в случае взаимодействия факторов x_{50} «Численность населения» и x_{48} «Выбросы загрязняющих веществ» характеризуется незначительным по величине эффектом в отличие от воздействия отдельно взятого фактора. Это свидетельствует о том, что из двух факторов следует «наращивать» фактор x_{50} «Численность населения», который является аргументом функции рождаемости.

Анализ параметров модели показал значительное отрицательное влияние ($b = -9,84$) на количество рождающихся выбросов от подвижных источников загрязнения атмосферы – фактор x_{48} . Исходя из предпосылки, что прирост или убыль загрязнений пропорциональны численности населения, нами исследуется влияние экологического фактора x_{48} на рождаемость, а через него и на численность населения микрорайона, что учитывается в настоящей модели.

В целом вопрос причинно-следственных связей и динамики показателя рождаемости остается дискуссионным ввиду его многофакторности.

Для объясняемого фактора Y_2 «Количество умерших за последний год» взаимное влияние двух взаимодействующих между собой объясняющих факторов x_1 и x_2 отражено в табл. 2.

Полученные значения коэффициента d модели (3) позволяют сделать вывод о синер-

Таблица 1

Эффекты взаимодействия факторов для результирующего фактора Y_1 «Количество родившихся за последний год»

Статистически установленное уравнение регрессии $Y_1 = a_{01} + a_{11}x_{50} + a_{21}x_{48} + a_{31}x_{24} + a_{41}x_{34} + a_{51}x_3$ [7]									
Взаимодействующие факторы [7]					Значения коэффициентов модели (3)				
x_{50}	x_{48}	x_{24}	x_{34}	x_3	a	b	c	d	
+	+					19,62	-9,84	+0,68	
+		+			-21,98	0,22	13,22	-0,03	
+			+		1,75	-0,001	10,31	0,00	
+				+	-90,56	55,58	23,11	-8,32	

Таблица 2

Эффекты взаимодействия факторов для результирующего фактора Y_2 «Количество умерших за последний год»

Статистически установленное уравнение регрессии $Y_2 = a_{02} + a_{12}x_{50} + a_{22}x_{48} + a_{32}x_{30} + a_{42}x_{14} + a_{52}x_{12}$ [7]									
Взаимодействующие факторы [7]					Значения коэффициентов модели (3)				
x_{50}	x_{48}	x_{30}	x_{14}	x_{12}	a	b	c	d	
+	+				4,54	-5,47	6,07	+0,09	
+		+			-2,94	0,02	6,41	-0,006	
+			+		-1,93	0,18	6,18	-0,02	
+				+	-5,67	0,01	7,14	-0,002	

гетическом взаимодействии факторов x_{50} «Численность населения» и x_{48} «Выбросы загрязняющих веществ», проявляющемся в усилении их совместного негативного влияния на результирующий фактор Y_2 «Количество умерших за последний год», и антагонистическом характере взаимодействия двух факторов x_{50} «Численность населения» и x_{14} «Индекс доступности жилья (рыночная стоимость жилья)». Синергетический характер взаимодействия первых двух факторов объяснен нами выше; совместный эффект от комбинации незначителен по сравнению с эффектом воздействия отдельно взятого фактора.

Согласно выявленным связям и установленной зависимости для объясняемого фактора Y_2 [7], а также по данным источников [8, 9], становится очевидно, что в основе смертности населения лежат, прежде всего, показатели жилой среды, отражающие многоплановые демографические процессы: плотность населения, демографическая нагрузка, выход на пенсию и усиленное давление на трудоспособное население и др.

Урбанизация неоднозначно действует на человеческое общество: с одной стороны, город предоставляет человеку ряд общественно-экономических, социально-бытовых и культурных преимуществ, что положительно сказывается на его интеллектуальном развитии, дает возможность для лучшей реализации профессиональных и творческих способностей, с другой – человек отдаляется от природы и попадает в среду с вредными воздействиями: загрязненным воздухом, шумом и вибрацией, ограниченной жилплощадью, усложненной системой снабжения, зависимостью от транспорта, постоянным вынужденным общением со множеством незнакомых людей – все это неблагоприятно сказывается на его физическом и психическом здоровье.

Так, для объясняемого фактора Y_3 «Количество заболевших психическими заболеваниями за последний год» рассматривалось взаимодействие токсикантов загрязненного атмосферного воздуха x_{48} и инфраструктурных факторов: x_{12} – доступность объектов инфраструктуры первичного/повседневного обслуживания (медицинские организации); x_{38} – обеспеченность дошкольными образовательными учреждениями; x_4 – плотность улично-дорожной сети; x_8 – размер площади квартир (без учета площадей открытых помещений, холодных кладовых и приквартирных тамбуров) и число их комнат. В табл. 3 отражено взаимное влияние двух взаимодействующих между собой объясняющих факторов.

Коэффициент d модели (3) отражает характер взаимодействия анализируемых пар фак-

торов, характеризующих основной механизм их воздействия на психику человека, живущего в современных жилых районах. Воздействие факторов окружающей среды на состояние здоровья человека является опосредованным. На поражение нервной системы человека, так же как и всех остальных систем организма, начиная с иммунной и репродуктивной, организм отвечает стрессами, неврозами, депрессией. В этой связи очевидно, что количество заболевших психическими заболеваниями жителей напрямую зависит от доступности медицинских организаций, расположенных на территории жилого образования. При их распространённости в регионах и муниципальных образованиях большинство психических заболеваний населения, проживающего на урбанизированных территориях, остаются неучтёнными, без обследования и квалифицированного лечения в связи с отсутствием доступности медицинских учреждений.

Взаимное влияние факторов x_{48} – выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от подвижных источников, и x_{12} – доступность объектов инфраструктуры первичного/повседневного обслуживания (медицинские организации) носит синергетический характер, что свидетельствует о тесной связи факторов и необходимости наращивания медицинских организаций с целью оказания помощи населению.

Нехватка дошкольных образовательных учреждений на территории микрорайона может спровоцировать стресс в молодых семьях, особенно при наличии двух и более детей. Всё чаще в обществе встречается понятие «послеродовой депрессии» и у женщин, и у мужчин. От 4 до 10 % мужчин по разным данным также страдают от депрессии в течение первого года жизни ребенка. Синергетический характер вза-

Таблица 3
Эффекты взаимодействия факторов для результирующего фактора Y_3 «Количество заболевших психическими заболеваниями за последний год»

Статистически установленное уравнение регрессии $Y_3 = a_{03} + a_{13}x_{48} + a_{23}x_{12} + a_{33}x_{38} + a_{43}x_4 + a_{53}x_8$ [7]								
Взаимодействующие факторы [7]					Значения коэффициентов модели (3)			
x_{48}	x_{12}	x_{38}	x_4	x_8	a	b	c	d
+	+				89,87	-0,003	-20,57	+0,06
+		+			150,44	-0,74	57,39	+0,52
+			+		86,18	1,93	55,8	-3,84
+				+	-101,4	7,39	39,72	+0,14

имодействия факторов x_{48} и x_{38} свидетельствует о необходимости наращивания дошкольных образовательных учреждений.

Взаимное влияние факторов x_{48} – выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от подвижных источников, и x_4 – плотность улично-дорожной сети сказывается на психоэмоциональном здоровье населения, о чем свидетельствует знак и значение коэффициента модели d – взаимно ослабляющее эффект действия каждого из них. Возрастающая плотность улично-дорожной сети приводит к повышению нагрузки на неё: загруженности, возрастанию времени ожидания и понижению скоростей. Это приводит к возникновению заторных ситуаций и росту выбросов в атмосферу. Антагонистический характер взаимного влияния факторов свидетельствует о необходимости снижения их влияния, уменьшив, таким образом, риски психических отклонений населения.

Ученые утверждают, что проживание в маленьком пространстве (фактор x_8) может отрицательно сказываться как на физическом, так и на психическом здоровье человека. По мнению специалистов, стесненные жилищные условия негативно влияют на психику любого человека, причем как взрослого, так и ребёнка [10]. Отрицательное воздействие, которое оказывает на психику проживание в малогабаритном жилье, ученые объясняют стремлением (инстинктом) человека к личному пространству. Именно такой личной территории жильцы небольших квартир зачастую лишены. Длительное пребывание в ограниченном пространстве может стать причиной постоянного стресса, раздражения и агрессии. Кроме того, невротические расстройства часто могут спровоцировать алкогольную зависимость. Тем не менее в отношении взаимодействия факторов x_{48} и x_8 установлен факт синергизма.

Сегодня во всех странах мира, независимо от уровня экономического развития, отмечается рост заболеваемости инфекционными болезнями, регистрируются эпидемии. В основе роста заболеваемости лежит ряд причин, в т. ч. и причины, связанные с урбанизацией [11,12]. Во-первых, в России, на фоне дестабилизации социально-экономических условий жизни населения, осложняется эпидемиологическая обстановка и реально возрастает опасность так называемых возвращающихся, «классических» инфекций и вновь возникающих (*reemerging*). Наглядным примером может служить стремительный рост заболеваемости туберкулезом, в том числе активной формой болезни (81 на 100 тыс населения), регистрируемой даже у детей (17,7 на 100 тыс детей до 14 лет). Рост заболеваемости туберкулезом отмечен почти

во всех странах мира, включая экономически высокоразвитые. Небывалого размаха достигла заболеваемость сифилисом (271 699 случаев) и другими инфекциями, передаваемыми половым путём [13]. Во-вторых, все более возрастает роль условно-патогенных микроорганизмов, особенно в эпидемиологии внутрибольничных инфекций (гнойно-септических, герпеса, цитомегаловирусов, токсоплазмоза, микоплазмоза, криптококкоза, криптоспориоза и др.), а также возбудителей кишечных, легочных заболеваний [13]. В-третьих, официальная статистика в России регистрирует лишь 47 инфекционных заболеваний, хотя только в последние два-три десятилетия описано более 20 ранее неизвестных (*emergin*) инфекционных болезней, многие из которых представляют высокую эпидемическую опасность и характеризуются высокой летальностью: «болезнь легионеров», геморрагические лихорадки (Эбола, Марбург, Венесуэльская, Ханта-вирусный легочный синдром, при котором погибает каждый второй заболевший от некардиогенной легочной недостаточности или шока). В эти же годы начали дифференцировать по этиологии вирусные гепатиты [13]. В последние годы наблюдается резкое увеличение числа инфицированных ВИЧ, что связано в основном с широким распространением инъекционной наркомании.

В настоящее время мировое сообщество столкнулось с новым видом вируса COVID-19 [14, 15]. 11 марта 2020 г. Всемирная организация здравоохранения признала, что распространение нового коронавируса обрело характер пандемии. На данный момент число случаев этого заболевания в России превысило 6 000 000 человек [16].

Для объясняемого фактора Y_4 «Количество заболевших инфекционными заболеваниями за последний год» в жилых микрорайонах выявлены эффекты взаимодействия между собой двух факторов, среди которых основным анализируемым выступает экологический фактор x_{48} – выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от подвижных источников (табл. 4).

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от подвижных источников, создают неблагоприятную экологическую обстановку, в которой население имеет сниженный иммунитет и подвергается рискам заболеваемости инфекционными и другими заболеваниями. При этом взаимное влияние двух факторов x_{48} и x_{15} – уровень благоустроенных дворовых территорий от общего их количества характеризуется как антагонистическое, когда один фактор x_{48} подавляет другой x_{15} и их взаимодействие будет экономически невыгодным, что негативно скажется на вероятности снижении риска инфекционными заболеваниями.

Все общественные места отдыха и развлечений как кафе, рестораны, бары организации и предприятия обслуживания (x_{30}) являются местами сосредоточения большого количества людей, а следовательно, являются потенциальными источниками распространения инфекционных заболеваний среди населения при нарушении требований санитарно-гигиенических правил и технических регламентов, что определяет уровень заболеваемости и распространения инфекционными заболеваниями.

Это утверждение справедливо и по отношению к другим объектам инфраструктуры и среды жизнедеятельности, где может осуществляться непосредственный контакт больных и здоровых людей. Тем не менее взаимное влияние выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (x_{48}) и объектов инфраструктуры первичного и повседневного обслуживания, в частности медицинских организаций (x_{12}), носит синергетический характер и в комбинации уменьшает количество заболевших инфекционными заболеваниями. С одной стороны, медицинские организации, являясь местами большого сосредоточения людей, сами являются источниками распространения инфекционных заболеваний, а с другой – в таких организациях оказывается медицинская помощь, в результате которой увеличивается число выздоровевших, либо оказываются профилактические мероприятия, в результате которых риск заражения инфекционными заболеваниями снижается (например вакцинация). Таким образом проявляется синергетический эффект от взаимодействия двух факторов x_{48} и x_{12} .

Отдельный показатель «Обеспеченность дошкольными образовательными учреждениями» (x_{38}) способствует уменьшению числа заболевших инфекционными заболеваниями. Он отражает фактор рациональности планировочных решений и правильной эксплуатации помещений дошкольных образовательных уч-

реждений, с использованием которых возможно строгое выполнение режима дня, рациональное питание детей с достаточным введением в меню витаминов, физическое воспитание и особенно закаливание, организация профилактических осмотров воспитанников и проведение профилактических прививок. Все эти факторы в совокупности повышают сопротивляемость детского организма к различным вредным воздействиям внешней среды, в том числе и к болезнетворным микробам. Вместе с тем при взаимодействии факторов x_{48} и x_{38} отмечается антагонистический эффект, способствующий, прежде всего, распространению инфекции.

Среди заболеваний населения жилых районов наибольшее распространение получили бронхо-легочные и онкологические заболевания, смертность от которых в России высокая. В табл. 5 представлены результаты выявленных

Таблица 5
Эффекты взаимодействия факторов для результирующих факторов Y_5 , Y_6 и Y_7

Статистически установленное уравнение регрессии $Y_5 = a_{05} + a_{15}x_{48} + a_{25}x_4 + a_{35}x_{12} + a_{45}x_{34} + a_{55}x_8$ [7]								
Взаимодействующие факторы [7]					Значения коэффициентов модели (3)			
x_{48}	x_4	x_{12}	x_{34}	x_8	a	b	c	d
+	+				96,2	0,34	51,03	-1,8
+		+			68,67	0,03	42,6	0,00
+			+		88,1	-0,002	48,3	0,00
+				+	-89,7	6,5	104,1	+2,04
Статистически установленное уравнение регрессии $Y_6 = a_{06} + a_{16}x_{48} + a_{26}x_4 + a_{36}x_{12} + a_{46}x_{34} + a_{56}x_8$ [7]								
Взаимодействующие факторы [7]					Значения коэффициентов модели (3)			
x_{48}	x_4	x_{12}	x_{34}	x_8	a	b	c	d
+	+				34,4	-0,2	14,3	-0,2
+		+			24,8	0,01	19,7	0,00
+			+		35,7	-0,0008	11,5	0,00
+				+	10,66	0,8	10,03	+0,108
Статистически установленное уравнение регрессии $Y_7 = a_{07} + a_{17}x_{48} + a_{27}x_{20} + a_{37}x_6 + a_{47}x_8 + a_{57}x_{12}$ [7]								
Взаимодействующие факторы [7]					Значения коэффициентов модели (3)			
x_{48}	x_{20}	x_6	x_8	x_{12}	a	b	c	d
+	+				43,75	1,43	36,8	+0,19
+		+			-2,1	1,5	31,1	0,009
+			+		44,9	1,6	3,8	+0,91
+				+	54,15	0,05	39,2	-0,01

Таблица 4
Эффекты взаимодействия факторов для результирующего фактора Y_4

Статистически установленное уравнение регрессии $Y_4 = a_{04} + a_{14}x_{48} + a_{24}x_{15} + a_{34}x_{30} + a_{44}x_{12} + a_{54}x_{38}$ [7]								
Взаимодействующие факторы [7]					Значения коэффициентов модели (3)			
x_{48}	x_{15}	x_{30}	x_{12}	x_{38}	a	b	c	d
+	+				128,79	0,67	154,6	-0,66
+		+			235,2	-1,6	94,3	-0,17
+			+		158,6	0,045	119,5	+0,36
+				+	292,62	76,8	-1,5	-0,02

эффектов взаимодействия между собой двух факторов, влияющих на следующие результирующие факторы: Y_5 «Количество заболевших новообразованиями»; Y_6 «Количество заболевших болезнями органов дыхания» и Y_7 «Количество заболевших всеми другими болезнями, обнаруженными впервые».

Эффект совместного влияния на заболеваемость одновременно двух факторов (x_{48} – выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от подвижных источников, и x_4 – плотность улично-дорожной сети) – антагонистический ввиду мощного техногенного воздействия на окружающую среду, которое формируется при их взаимодействии. Такое взаимодействие следует исключать, так же как и регулировать воздействие отдельно взятым фактором, например «выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, отходящих от подвижных источников», поскольку он характеризуется как отрицательный.

Также очевиден факт наличия эффекта взаимодействия между мероприятиями по инженерной защищенности территории и обеспечению экологической безопасности санитарными разрывами (x_{20}) и выбросами в атмосферный воздух (x_{48}). Фактор «Защитные мероприятия», среди которых важную роль играют зелёные насаждения и установление санитарного режима использования территории, вступает в синергетические отношения с фактором x_{48} , что повышает роль защитных мероприятий и делает их рентабельными, что в целом позволит снизить заболеваемость населения жилой территории.

Взаимное влияние выбросов и инфраструктурных факторов (факторы x_{34} , x_{12}), отражающих показатели благоустроенности среды жизнедеятельности жилых кварталов, оказалось незначительным на заболеваемость населения и им можно пренебречь в общем анализе.

С каждым годом в городах и поселениях увеличивается объем построенного жилья (фактор x_8), увеличивается плотность жилой многоэтажной застройки, растёт этажность жилых домов. Увеличенная плотность застройки значительно влияет на общий социальный климат и поведение жителей. Как было установлено в ходе корреляционно-регрессионного анализа [7], высокая плотность застройки несет определенные риски здоровью горожан, связанные с повышением уровня загрязнения атмосферного воздуха из-за близости жилых территорий к промышленным зонам и автомагистралям с интенсивным движением автотранспорта. Комбинация двух факторов x_{48} и x_8 носит синергетический характер, что при условии обеспечения населения комфортным

жильем сможет повлиять на снижение роста заболеваемости.

Наглядным образом выявлены эффекты взаимодействия двух одновременно взаимодействующих факторов на объясняемый показатель Y_8 «Количество браков» населения в жилых микрорайонах (табл. 6).

Увеличение плотности застройки приводит к увеличению плотности населения. Любому человеку свойственно сопоставлять себя с окружающими, и чем люди ближе живут друг к другу, тем идентичнее их образ жизни. Это также может оказывать положительный настрой на создание и сохранение семей. Поэтому взаимное влияние двух факторов x_{50} и x_{30} , x_{50} и x_{14} , x_{50} и x_{38} является синергетическим, т. е. усиливающим совместный эффект на создание семей. Наибольшим образом на количество браков влияет фактор «Индекс доступности жилья (рыночная стоимость жилья, руб./м²)», который, в сочетании с численностью населения, в прогнозном периоде обеспечит устойчивый институт брака.

Вместе с тем плотность застройки x_3 и численность населения x_{50} – два фактора, которые одновременно противостоят друг другу, о чем свидетельствует коэффициент модели $d=-78,27$. Вероятно, объяснение связано с тем, что при застройке необходимо обеспечить образующиеся семьи общей площадью жилых домов – социальной нормой на количество человек. Реализация этой ситуации связана с реальным сектором экономики в регионе. И несмотря на то, что в России заключенных браков все же больше, чем расторгнутых, разница между этими показателями каждый год снижается. Распад семей, как известно, ведет к снижению рождаемости [17].

Данные специальных социологических исследований показывают [18], что имеет место не только увеличение толерантности общества по отношению к разводу, но и меняется

Таблица 6
Эффекты взаимодействия факторов для результирующего фактора Y_8

Статистически установленное уравнение регрессии $Y_8 = a_{03} + a_{13}x_{50} + a_{23}x_{30} + a_{33}x_{14} + a_{43}x_{38} + a_{53}x_3$ [7]								
Взаимодействующие факторы [7]					Значения коэффициентов модели (3)			
x_{50}	x_{30}	x_{14}	x_{38}	x_3	a	b	c	d
+	+				-344,511	2,48	319,22	+0,17
+		+			204,917	-86,95	302,95	+1,86
+			+		-330,512	1,47	306,25	+0,05
+				+	2022,2	-1980,1	426,45	-78,27

структура причин и мотивов, по которым развод считается не только допустимым, но даже приемлемым и чуть ли не обязательным. Так, данные табл. 7 содержат сведения, какие факторы во взаимодействии друг с другом оказывают влияние на исследуемый показатель Y_9 «Количество разводов за последний год».

Инфраструктурные факторы x_{30} и x_{38} , а также доступность жилья x_{14} во взаимодействии с фактором численности населения x_{50} влияют на психоэмоциональное состояние населения жилых районов. При недостаточно полном удовлетворении потребностей населения в качественной инфраструктуре жилого района со временем у жителей отмечается значимое повышение психологического дистресса, а именно повышение уровня тревоги, раздражительности, диссомнические нарушения, аффективные расстройства. Это в конечном итоге влияет на атмосферу и внутренний климат в семье, приводит к ссорам, скандалам между супругами, что, в свою очередь, может привести к разводу.

Выявленные эффекты антагонизма между факторами x_{50} и x_{14} , x_{50} и x_{30} , x_{50} и x_{15} и синергизма между факторами x_{50} и x_{38} являются основанием для принятия градостроительных решений по регулированию института семьи и созданию комфортных условий проживания в жилой среде города.

Таблица 7
Эффекты взаимодействия факторов для результирующего фактора Y_9

Статистически установленное уравнение регрессии $Y_9 = a_{09} + a_{194}x_{50} + a_{29}x_{14} + a_{39}x_{30} + a_{49}x_{38} + a_{59}x_{15}$ [7]									
Взаимодействующие факторы [7]					Значения коэффициентов модели (3)				
x_{50}	x_{14}	x_{30}	x_{38}	x_{15}	a	b	c	d	
+	+				6573,9	-315,43	2218,9	-12,6	
+		+			4944,6	-13,4	3260,6	-17,5	
+			+		9285,6	-54,3	-474,6	+36,5	
+				+	-7113,9	140,6	6346,8	-58,8	

Заключение. На основе анализа статистического материала о медико-демографических и социальных процессах и установленных зависимостях показателей состояния биосферосовместимого города впервые установлен характер взаимодействия между факторами жилой среды. Взаимодействие факторов жилой среды изучено на основе нелинейной регрессионной модели. С использованием комбинации параметров модели оценён эффект взаимодействия факторов среды на население жилых районов, проявляющийся в антагонистическом или си-

нергетическом характере демографических и социальных процессов: рождаемости, смертности, заболеваемости, браков и разводов.

В практическом плане результаты проведённого исследования дают возможность учитывать случайные факторы жилой среды и их комбинации в процессе анализа градостроительной ситуации на основе установленного характера взаимодействия факторов – планировать и проектировать жилые территории города на качественно новой основе. Таким образом, разработанные модели и алгоритм оценки многофакторных воздействий теперь получают адекватную количественную методику и могут служить инструментом поддержки принятия управленческих решений по обеспечению высокого уровня качества жизни населения жилых районов города – градостроительству.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Stenling F., Kindorf J. Interacting environmental influences. Concepts of synergism, antagonism and superposition // Analysis of Operations Research.54. 1994. С. 229–304.

2. Ott W.R. Environmental quality Index.Theory and Practice. Review Science Publications. 1978.

3. Bockmann M.J. Productions function for Sceintific Interaction. In: Mathematical Modelling in Economics. Springer. 1993.

4. Комарова Л.Н. Комбинированное действие ионизирующего излучения и других факторов окружающей среды на живые организмы: новые закономерности и перспективы: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Обнинск, 2009. 25 с.

5. Berenbaum M.C. The Expected Effected of a Combination of Agents: the General Solution / J. Theor. Biol. 1985. Т.14. Рр. 413–431.

6. Жураковская Г.П., Петин В.Г. Принципы математического моделирования комбинированных воздействий в биологии и медицине: (обзор литературы) // Радиация и риск. 2015. Т. 24. № 1. С. 61–70.

7. Статистические зависимости показателей благоприятной среды жизнедеятельности биосферосовместимого города / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, В.А. Гордон, А.А. Кормина // Вестник МГСУ. Т. 16. Вып. 5. 2021. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.5.545-556.

8. Звездина Н.В. Статистический анализ смертности в России // Экономика, статистика и информатика. 2012. № 2. С. 125–131.

9. Сабгайда Т.П. Преждевременная смертность и факторы риска как индикаторы программ снижения смертности в России // Социальные аспекты здоровья населения. 2017. № 3 (55). С. 1–25.

10. Крот К.В. Социально-экономическая значимость психических расстройств: региональные аспекты // Дальневосточный медицинский журнал. 2016. № 1. С. 91–96.

11. Яковлев С.А. Инфекционные заболевания как глобальная проблема современности // Территория

науки. 2017. № 1. С. 20–23.

12. Шестакова И.В. Инфекционная заболеваемость в Российской Федерации в 2000-2015 гг.: успех или провал? // Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение. 2017. № 3 (20). С. 11–20.

13. Жданов К.В. Противодействие инфекциям в эпоху современных угроз // Инфекционные болезни: новости, мнения, обучение. 2017. № 6 (23). С. 85–91.

14. Монастырская М.Е. «Реслободизация» городов – эффективный ответ на эпидемиологический вызов современности. Часть I: общие положения, гипотеза исследования // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 1. С. 110–117. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.15.

15. Монастырская М.Е. «Реслободизация» городов – эффективный ответ на эпидемиологический вызов современности. Часть II: предпосылки, алгоритмы, результаты // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 2. С. 117–129. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.17.

16. Стоп Коронавирус. РФ [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://xn--80aesfpebagmfbcl0a.xn--p1ai/>.

17. Хачатрян Л.А. Развод – оборотная сторона брака // Вестник Пермского университета. Философия. Психология. Социология, 2010. № 1 (1). С. 79-98.

18. Абушева Х.К. Браки и разводы и пути снижения последних // Современные проблемы науки и образования, 2013. № 4. С. 237-246.

REFERENCES

1. Stenling F., Kindorf J. Interacting environmental influences. Concepts of synergism, antagonism and superposition. Analysis of Operations Research, 1994, 54, pp. 229-304.

2. Ott W.R. Environmental quality Index. Theory and Practice. Review Science Publications, 1978.

3. Bockmann M.J. Productions function for Sceintific Interaction. In: Mathematical Modelling in Economics. Springer, 1993.

4. Komarova L.N. *Kombinirovannoe dejstvie ioniziruyushchego izlucheniya i drugih faktorov okruzhayushchej sredy na zhivye organizmy: novye zakonomernosti i perspektivy*, Dokt. Diss. [The combined effect of ionizing radiation and other environmental factors on living organisms: new patterns and prospects, Doct. Diss.]. Obninsk, 2009.

5. Berenbaum M.C. The Expected Effect of a Combination of Agents: the General Solution. Theor. Biol, 1985, vol.14, pp. 413-431.

6. Zhurakovskaya G.P., Petin V.G. Principles of mathematical modeling of combined effects in biology and medicine (literature review). *Radiatsiya i risk* [Radiation and risk], 2015, vol. 24, no. 1, pp. 61-70. (in Russian)

7. Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Gordon V.A., Kormina A.A. Statistical dependencies of indicators of a favorable environment for the life of a biosphere-compatible city. Bulletin of MGSU, 2021, vol. 16, no. 5. DOI: 10.22227/1997-0935.2021.5.545-556. (in Russian)

8. Zvezdina N.V. Statistical analysis of mortality in Russia. Экономика, статистика и информатика, 2012, no. 2, pp. 125-131. (in Russian)

9. Sabgayda T.P. Premature mortality and risk factors as indicators of mortality reduction programs in Russia. Социальные аспекты здоровья населения, 2017. № 3 (55). С. 1-25.

10. Krot K.V. Socioeconomic Importance of Mental Disorders: Regional Aspects. *Dal'nevostochnyj medicinskij zhurnal* [Far Eastern Medical Journal], 2016, no.1, pp. 91-96. (in Russian)

11. Yakovlev S.A. Infectious diseases as a global problem of our time. *Territoriya nauki* [Territory of science], 2017, no. 1, pp. 20-23. (in Russian)

12. Shestakova I.V. Infectious diseases in the Russian Federation in 2000-2015: success or failure? *Infekcionnye bolezni: novosti, mneniya, obuchenie* [Infectious Diseases: News, Opinions, Education], 2017, no. 3 (20), pp. 11-20. (in Russian)

13. Zhdanov K.V. Countering infections in the era of modern threats. *Infekcionnye bolezni: novosti, mneniya, obuchenie* [Infectious Diseases: News, Opinions, Education], 2017, no. 6 (23), pp. 85-91. (in Russian)

14. Monastyrskaya M.Ye. "Reslobodization" of Cities as an Effective Response to the Epidemiological Challenge of the Contemporary. Part i: General Provisions, Research Hypothesis. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 1, pp. 110–117. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.01.15.

15. Monastyrskaya M.Ye. "Reslobodization" of Cities as an Effective Response to the Epidemiological Challenge of the Contemporary. Part II: Preconditions, Algorithms, Results. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 2, pp. 117–129. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.17.15.

16. Stop Coronavirus. RF. Available at: <https://xn--80aesfpebagmfbcl0a.xn--p1ai/>.

17. Khachatryan L.A. Divorce is the flip side of marriage. *Vestnik Permskogo universiteta. Filosofiya. Psihologiya. Sociologiya* [Perm University Bulletin. Philosophy. Psychology. Sociology], 2010, no. 1 (1), pp. 79-98. (in Russian)

18. Abusheva Kh.K. Marriages and divorces and ways to reduce the latter. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2013, no. 4, pp. 237-246. (in Russian)

Об авторе:

КОРМИНА Александра Алексеевна,
аспирант кафедры градостроительства
Национальный исследовательский
Московский государственный строительный
университет
129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26
E-mail: sascha-girl@mail.ru

KORMINA Alexandra Alekseevna,
Postgraduate Student of the Town Planning Chair
National Research Moscow State University of Civil
Engineering
129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye av., 26,
tel. (910) 2055177
E-mail: sascha-girl@mail.ru

Для цитирования: Кормина А.А. Комбинированные воздействия факторов жилой среды на благополучие населения города // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 128–137. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.18.

For citation: Kormina A.A. Combined Effects of the Living Environment on the Well-Being of the City Population. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 128–137. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.18.

ИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР «КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭНЕРГОАУДИТ»



Т. А. МЕДВЕДЕВА

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕШЕХОДНЫХ ЭСТАКАД В КОМПЛЕКСЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПРЕОБРАЗОВАНИЮ НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДОВ

PEDESTRAIN OVERPASSES IN THE COMPLEX TRANSFORMATION OF DEVASTATED CITY TERRITORIES

Сохранение историко-градостроительного и архитектурного наследия исторических городов требует особого подхода к решению проблем модернизации среды. Современный период, характеризующийся поиском новых безопасных алгоритмов обращения с отходами, зачастую приводит к строительству крупномасштабных диссонирующих объектов. Этот процесс выдвигает новые требования к сохранению визуальных зон охраны объектов культурного наследия. Статья посвящена перспективной стратегии оптимизации нарушенных территорий – созданию эстакадных пешеходных связей, которые могут являться дополнительным источником озеленения, а также открыть новые возможности для транзита инженерных сетей. В статье дан анализ возможности применения подобных архитектурно-пространственных решений для модернизации инфраструктуры управления отходами городских нарушенных ландшафтов, имеющих в непосредственной близости от исторических городов.

Ключевые слова: нарушенные (девастированные) территории, объемно-пространственные решения, урбосреда, объекты инфраструктуры управления отходами

Осознание непреходящей ценности архитектурного наследия, бережного отношения к природе, памяти места, к истории и культуре является основополагающим условием градостроительных преобразований для любого мегаполиса. Проблема оптимизации нарушенной, деградирующей среды крупных исторических городов, стоит в настоящее время очень остро. Преобразование нарушенных территорий было бы желательно вести на основе ансамблевого принципа, которым руководствовались зодчие исторических русских городов. Промышленные пояса, окружающие районы городских центров, депрессивные портовые зоны, прирельсовые и складские территории, расположенные в непосредственной близости к городам полигоны бытовых отходов, нарушившие ландшафты – все это требует поиска новых решений, позволяющих подойти к каждой конкретной территории с учетом ее индивидуальных специфических черт.

The preservation of the historical, urban planning and architectural heritage of historical cities requires a special approach to the environment modernization. The modern period is characterized by the search for new safe waste management algorithms. It often leads to the construction of large-scale discordant objects. This process puts forward new requirements for the preservation of the visual protection zones of cultural heritage objects. The article is devoted to a promising strategy for optimizing of devastated territories. It includes the creation of overpass pedestrian links, which can be an additional source of landscaping, as well as open up new opportunities for the transit of engineering networks. The article analyzes the possibility of using such architectural and spatial solutions to modernize the waste management infrastructure of urban devastated.

Keywords: devastated territories, volumetric-spatial solutions, urban environment, waste management infrastructure facilities

Важное значение в оптимизации территорий, поврежденных в результате складирования техногенных грунтов и прошедших, в соответствии с нормативно-законодательной базой, основные этапы рекультивации, имеет метод формирования искусственных рельефов. В этой связи необходимо рассмотреть пешеходно-ландшафтные мосты, которые в последнее десятилетие стали широко применяться в мировой практике. Однако их роль недооценена. Эстакады для пешеходного транзита и средств индивидуальной мобильности, содержащие в себе значительный ландшафтный компонент компенсационного озеленения, могут быть наполнены также инфраструктурой различного назначения.

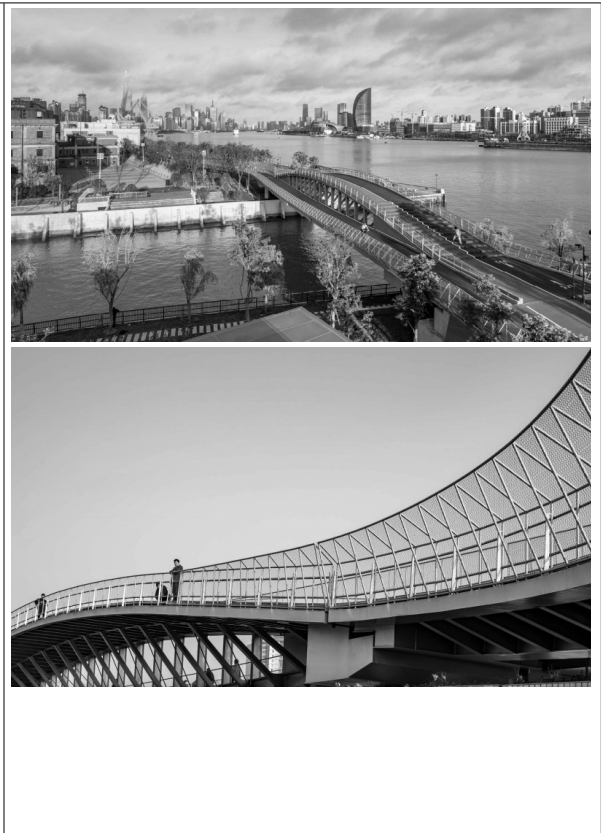
Волнообразные двухуровневые мосты (см. таблицу) представлены как один из методов градостроительного преобразования нарушенных территорий путем модернизации системы объектов инфраструктуры управления отходами (ОИУО). Данные примеры

иллюстрируют возможность включения пешеходных эстакад с дополнительными общественными пространствами в сложившуюся планировочную структуру. Эти эстакады были бы способны восполнить инфраструктурные дефициты нарушенной территории и прилегающих участков при взаимной увязке технико-экономических показателей. Кроме дополнительной площади для отдыха, пешеходных транзитов и велодорожек, такие объекты могут открыть и другие перспективы использования - восполнить дефициты окружающих территорий как объекты несущего каркаса инженер-

ной инфраструктуры управления отходами и в качестве каркаса инфраструктуры системы недостаточного городского озеленения. Такой прием способен повысить качество урбанизированной среды и открыть новые возможности для транзита инженерных сетей. Как упоминалось в предыдущих исследованиях автора [1–4], создание объемно-пространственных ансамблей на нарушенных территориях, в первую очередь, функционально связано с комплексами инженерно-технических мероприятий по охране воздуха, вод и почв от загрязнений, накопленных в объемах техногенных рельефов.

Объемно-пространственные решения пешеходных двухуровневых мостов

Местоположение, авторы проекта, год	Объемно-планировочные решения и перспективы использования в качестве ОИУО	Фотофиксация
La Sallaz /Лозанна, Швейцария, 2b architectes, 2012 г.	Пешеходный мост создает связь между городской территорией и искусственным зеленым пространством Ле Валлон. В архитектурном решении присутствует двойственность различных стратегий - сочетание бионики и ортогональной структуры. Сочетание brutальной конструкции и «естественным» характером Ле Валлона, является лейтмотивом пространственной концепции моста. В зависимости от восприятия с разных точек зрения, независимо от того, двигаетесь ли вы по мосту в качестве пешехода, или проносите под ним в качестве водителя, вы наблюдаете игру перекрещивающихся линий. Несмотря на то, что объект расположен в городской ландшафтной среде, он служит примером объемно-пространственного решения, вполне возможного для использования в качестве транзита для каркасов компенсации инфраструктурных дефицитов и несущего каркаса объектов инфраструктуры управления отходами	  

Пешеходный мост через канал ЯнцзинПудонг, Китай Atelier Liu Yuyang Architects, 2018 г.	Расположенный на восточной оконечности причала Восточный Бунд Миншен пешеходный мост Янцзин представляет собой ферму треугольной формы, общей длины 140 метров. Перепад высот конструкции, выполнен не только для усиления впечатления от художественного образа моста, он имеет также и важное функциональное назначение - разделить различные потоки использования: езда на велосипеде, бег трусцой и ходьба. Объект является примером объемно-планировочного решения, которое, при доработке, может служить для реализации целей использования в качестве транзита для зеленых каркасов компенсации инфраструктурных дефицитов и несущего каркаса объектов инфраструктуры управления отходами.	
Мост Лангебро Копенгаген, Дания, WilkinsonEyre, 2019 г.	160-метровый поворотный мост через внутреннюю гавань Копенгагена. Мост плавно соединяет вид на Вестер Фольдгейд из мэрии в гавань и далее в Кристиансхавн. Мост объединяет два участка с плоским рельефом, еще в конце XX века эта портовая территория представляла собой депрессивную среду. Три ключевые идеи характеризуют концепцию дизайна; во-первых, мост следует изящному изгибу в плане, который выровнен и продолжает широкие валы и ров исторического Кристиансхавна на противоположном берегу. Во-вторых, конструкция расположена в виде треугольного крыла с обеих сторон моста, который опускается ниже палубы у опор, затем постепенно взбирается в середине пролета по извилистой кривой, прежде чем снова упасть. Крылья придают мосту четкую, тонкую, графику линий. Изогнутый профиль моста рождает особенный архитектурный образ, когда две качающиеся секции открываются для прохода яхт навигации. Необходимость трансформаций сооружения для целей морского движения не позволяет рассматривать этот мост в качестве несущей эстакады для инженерных сетей. Однако транзит инженерной инфраструктуры при подобных решениях возможно осуществлять по дну.	

Круглый мост Копенгаген, Дания, Studio Olafur Eliasson 2015 г.	Мост состоит из пяти круглых платформ и способствует увеличению пешеходного маршрута вокруг реабилитированной в 2000-х годах гавани Копенгагена, где жители и туристы (на велосипеде, при беге или ходьбе) могут увидеть панорамы города с совершенно неожиданных точек зрения. Данный объект не предназначен для использования в качестве транзита для каркасов компенсации инфраструктурных дефицитов, однако, подобные объемно-пространственные схемы можно брать за основу при решении проблем нарушенных территорий - в подводной части с креплением к опорам моста было бы возможно осуществить транзит инженерных сетей.	
Мост Таннеррум Мельбурн, Австралия, John Wardle Architects, NADAAA, Oculus, 2016 г.	Образ моста формируется на основе применения тонкой, плоской стальной балочной конструкции, опирающейся на брутальные пилоны, которая сужается по краям для достижения необходимого пролета через улицу. Подземная часть моста следует по склону существующего ландшафта. Легкий стальной каркас обеспечивает основу для пешеходного и велосипедного движения. Объемно-пространственное и инженерное решение моста позволяет использовать его в качестве транзита для каркасов компенсации инфраструктурных дефицитов и несущего каркаса объектов инфраструктуры управления отходами, позволяет решить проблему дефицита озеленения.	

Калюир-э-Кюир, Франция, Dietmar Feichtinger Architects, 2014 г.	Мост со свободным пролетом 157 метров пересекает реку. Две консоли, построенные из трехмерной асимметричной трубчатой конструкции, соединяются в середине реки. Структура очень тонкая и обеспечивает максимальную прозрачность. Объект с подобным объемно-пространственным решением не может использоваться в качестве транзита для каркасов компенсации инфраструктурных дефицитов, однако, подобные объемно-пространственные схемы можно брать за основу при решении проблем нарушенных территорий - в подводной части с креплением к опорам моста было бы возможно осуществить транзит инженерных сетей.	
Vlotwateringbrug Монстер, Нидерланды, NEXT architects, 2015 г.	Vlotwateringbrug, или «Батбридж» состоит из трех конкретных компонентов, обеспечивающих укрытие для нескольких видов летучих мышей. Пересекая Влотвотер, новый мост проходит между двумя существующими участками и отмечает вход в область Пельзоны. В самой высокой точке мост делает поворот для более акцентированного обзора местности. Деревянные ламели обеспечивают открытость естественным ограждениям вдоль воды. При длине 25 м бетонная арка охватывает весь водоем. S-образная палуба поддерживается дугой давления, которая наклоняется под мостом. Данная концепция моста вполне могла бы предусматривать объекты системы управления отходами, но не была осуществлена, поскольку не входила в спектр задач.	
Париж, Франция DVVD Engineers Architects Designers, 2015	Арочная деревянная конструкция длиной около 100 м соединяет Парк дю Милленер с зоной городского развития Клода Бернара. Опоры со связанными с ними лестницами были установлены с обеих сторон. центральная секция, полностью покрытая деревянной обшивкой, и настил были смонтированы на постоянных опорах за одну ночь. Эта трудная операция заключалась в разворачивании мобильного крана очень большой грузоподъемности. Такую концепцию можно было бы использовать в качестве аналога для системы объектов надземного уровня как несущего каркаса инженерной инфраструктуры управления отходами, а также в качестве каркаса инфраструктуры системы городского озеленения.	

Мост Симоны де Бовуар Франция, Париж,
Dietmar Feichtinger Architectes, 2006 г.

Пешеходный мост придает физическую материальную форму идее движения в урбанизированной среде. Он оплотняет эпюры моментов и придает форму нематериальным потокам. Архитектурный образ моста с его волнообразной конструкцией напоминает приостановленное волнообразное движение. Все металлические элементы сварены без болтовых соединений. Созданные на мосту общественные пространства потребуют в будущем решения проблемы санитарной очистки. Как можно заметить на материалах фотофиксации, на мосту нет приемных устройств системы мусороудаления. Нет также предусмотренных пространств для транзита инженерных сетей инфраструктуры управления отходами.

Такое объемно-пространственное решение хотя и не предполагало реализацию идеи ОСУО, но может послужить основой для ее расширения.



Данный прием преобразования урбанизированной среды может стать перспективной стратегией [3, 5–7] для оптимизации нарушенных территорий любого исторического города. Он особенно актуален при преобразовании полигонов твердых бытовых отходов [8], а также для депрессивных районов незавершенных жилых кварталов, расположенных вблизи девастированных территорий [9].

Вывод. При помощи надземных эстакад можно восполнить дефициты нормируемых планировочных элементов девастированных территорий. Такой прием способен повысить качество урбанизированной среды за счет приближения к нормативам по озеленению и параметрам транзитных пешеходных пространств и открыть новые возможности для транзита инженерных сетей, в том числе инженерных сетей, связанных с обслуживанием объектов инфраструктуры управления отходами. Так, при реновации депрессивных, нарушенных территорий, возникших за последние годы на границе мегаполисов, могут быть созданы объемно-пространственные композиции, выполняющие ряд коммуникативных и инженерных функций, значительно обогащающие архитектурную среду и силуэт города.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медведева Т.А. Некоторые причины возникновения депрессивных территорий // Перспективы науки. 2020. №3(126). С. 62–66.
2. Медведева Т.А. Ландшафтные комплексы гидробиотических площадок // Современные проблемы истории и теории архитектуры: сборник докладов VI Всероссийской науч.-практ. конф. С.-Петербург: СПбГАСУ, 2020. С.

дов VI Всероссийской науч.-практ. конф. С.-Петербург: СПбГАСУ, 2020. С.

3. Медведева Т.А. Перспективы внедрения BIM-технологий проектирования для использования искусственного интеллекта в градостроительной деятельности // Сборник докладов БИМ. С.-Петербург: СПбГАСУ, 2020. С.

4. Медведева Т.А. Перспективы развития BIM-технологий проектирования для создания комплексной методики обращения с отходами // Материалы V Всероссийской науч.-практич. конф. С.-Петербург: СПбГАСУ, 2018. С. 83–90.

5. Заварихин С.П. Санкт-Петербург. Архитектурные сюжеты. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2012. 447 с.

6. Гранстрем М.А. Реальны ли научные методы реконструкции фрагментов исторических городов? // Архитектурный альманах. Вып. 1. СПб.: СПбГАСУ, 2016. С. 71–78.

7. Филатов Г.В. Обитаемый мост XX века // Градостроительство и архитектура. 2011. Т.1, №3. С. 9–11. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.03.2.

8. Чертес К.Л., Сафонова Н.А., Беляков А.В., Штернберг А.М. Проект комплекса штабельно-слоевой биодеструкции нефтесодержащих отходов АО «Новокуйбышевский НПЗ» // Градостроительство и архитектура. 2016. Т.6, №1. С. 58–62. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.01.9.

9. Радудова Я.И. Критерии экологичности в формировании пространственных границ в архитектуре и градостроительстве // Градостроительство и архитектура. 2015. Т.5, №1. С. 42–46. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.01.7.

REFERENCES

1. Medvedeva T.A. Some reasons for the emergence of depressed areas. *Perspektivy nauki* [Science perspective], 2020, no. 3 (126), pp. 62–66. (in Russian)

2. Medvedeva T.A. Landscape complexes of hydrobotanical sites. *Sovremennye problemy istorii i teorii arhitektury: sbornik dokladov VI Vserossijskoj nauch.-prakt. konf.* [Modern problems of history and theory of architecture: a collection of reports of the VI All-Russian scientific-practical. conf.]. St. Petersburg, 2020. (in Russian)

3. Medvedeva T.A. Prospects for the implementation of BIM design technologies for the use of artificial intelligence in urban planning. *Sbornik dokladov BIM* [Collection of reports BIM]. St. Petersburg, 2020. (in Russian)

4. Медведева Т.А. Prospects for the development of BIM design technologies for the creation of an integrated waste management methodology. *Materialy V Vserossijskoj nauch.-praktich. konf.* [Materials of the V All-Russian scientific-practical. conf.]. St. Petersburg, 2018, pp. 83–90. (in Russian)

5. Zavarikhin S.P. Sankt-Peterburg. *Sankt-Peterburg. Arhitekturnye syuzhety. Sankt-Peterburg* [St. Petersburg. Architectural subjects. St. Petersburg]. St. Petersburg, 2012. 447 p.

6. Granstrem M.A. Are scientific methods of reconstructing fragments of historical cities realistic? *Arhitekturnyj al'manah* [Architectural almanac], 2016, is. 1, pp. 71–78.

7. Filatov G.V. Inhabited bridge of the XX century. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2011, vol. 1, no. 3, pp. 9–11. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.03.2. (in Russian)

8. Chertes K.L., Safronova N.A., Belyakov A.V., Shterenberg A.M. The project of stacking layers biodestruction complex of oil-contaminated waste for jsc "novokuibyshevsk refinery". *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2016, vol. 6, no. 1, pp. 58–62. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.01.9. (in Russian)

9. Radulova Ya. I. Environmental criteria in forming spatial border architecture and urban planning. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2015, vol. 5, no. 1, pp. 42–46. DOI: 10.17673/Vestnik.2015.01.7. (in Russian)

Об авторе:

МЕДВЕДЕВА Татьяна Александровна

старший преподаватель кафедры водопользования и экологии, аспирант кафедры градостроительства, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
190005, Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. 2-ая Красноармейская, 4
E-mail: medvedevatatiana@mail.ru

MEDVEDEVA, Tatiana A.

Postgraduate Student of the Town Planning Chair, Senior Lecturer of the Water Use and Ecology Chair, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)
190005, Russia, St. Petersburg,
2nd Krasnoarmeyskaya str., 4
E-mail: medvedevatatian@mail.ru

Для цитирования: Медведева Т.А. Применение пешеходных эстакад в комплексе мероприятий по преобразованию нарушенных территорий городов // Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 11, № 3. С. 138–144. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.19.

For citation: Medvedeva T.A. Pedestrian overpasses in the complex transformation of devastated city territories. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 138–144. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.19.

В. М. НГУЕН
Е. Ю. ЗАЙКОВА

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ НА ПОВЕРХНОСТНЫЙ СТОК НА ПРИМЕРЕ РАЙОНА 8 ГОРОДА ХОШИМИНА

ASSESSING THE IMPACT OF URBANIZATION ON DIRECT RUNOFF IN DISTRICT 8, HO CHI MINH CITY

Хошимин – один из самых подверженных наводнению городов мира. Процессы урбанизации привели к изменению форм землепользования, что в свою очередь повлияло на увеличение площадей «запечатанных», непроницаемых поверхностей в результате расширения городской застройки и объема поверхностного стока, тем самым вновь приводя к риску наводнений в городе. Целью статьи является изучение влияния городской застройки (на примере района 8 города Хошима, Вьетнам) на поверхностный сток с помощью комбинации интерпретации изображений дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) Google Earth и модели SCS-CN (метод определения объема стока). На теоретических моделях проанализирована зависимость между типологией застройки и площадью открытых и «запечатанных» поверхностей. Интерпретация изображений ДЗЗ выполнялась в программе ArcGIS. Используемый метод расчета поверхностного стока – это метод фильтрационной кривой (SCS-CN - The Soil Conservation Service Curve Number), разработанный Службой охраны почв США (US, Soil Conservation Service) и подходящий для оценки последствий изменения землепользования в результате урбанизации. Результаты исследования показывают объем поверхностного стока на территориях с разным уровнем урбанизации в районе 8 города Хошима, давая оценку влияния процессов урбанизации на поверхностный сток и раскрывая новые возможности в управлении этим процессом. Комбинация интерпретации ДЗЗ и модели SCS-CN позволяют оценить влияние городской застройки на поверхностный сток. Показано, что урбанизация и увеличение площади застройки значительно влияют на затопление, сокращая инфильтрационную емкость грунтов. Установлено, что временная водоудерживающая способность в районе исследования очень низкая.

Ключевые слова: уплотнение застройки, Метод определения объема стока, модель SCS, город Хошимин, дистанционное зондирование, ГИС

Введение

Хошимин – быстрорастущий мегаполис с населением 7,4 млн человек – сталкивается со значительным и растущим риском наводнений

Ho Chi Minh City (HCMC) is among the cities that are most at risk of flooding worldwide. Urbanization processes have led to a change in land use, which in turn has resulted in an increase in impervious surfaces and runoff, thus again leading to the risk of flooding in the city. The aim of the article is to study the impact of urban development (on the example of District 8 of HCMC) on surface runoff using a combination of the interpretation of remote sensing images of the earth (ERS) Google Earth and the SCS-CN model (the Soil Conservation Service curve number). Theoretical models are used to analyze the relationship between the typology of buildings and areas of open and impervious surfaces. The interpretation of remote sensing images was carried out in the ArcGIS program. The method used to calculate surface runoff is the Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) method developed by the US Soil Conservation Service and is suitable for assessing the effects of land-use/land cover change due to urbanization. The results of the study show the volume of surface runoff in areas with different levels of urbanization in district 8 of HCMC, assessing the impact of urbanization processes on surface runoff and revealing new opportunities for managing this process. The combination of remote sensing interpretation and SCS-CN model makes it possible to assess the impact of urban development on surface runoff. Urbanization and an increase in built-up area strongly affect flooding, reducing the soil retention.

Keywords: encroachment, direct runoff, soil conservation service, Ho Chi Minh city, remote sensing, GIS, hydrologic impact, urbanization

[1, 2]. Более 60 % административной территории расположено ниже 1,5 м над уровнем моря [3] и состоит из разветвленной сети каналов и рек. Такие географические особенности в сочета-

нии с периодами сильных дождей и районами, расположенными выше по течению, означают, что город сталкивается с частым и значительным риском наводнений [4, 5]. Растущая роль города в экономике Вьетнама и Юго-Восточной Азии, а также рост малообеспеченного населения, заселяющего ветхое жилье в контуре каналов, способствующее уплотнению его контура, еще больше увеличивают социальные, экономические и экологические риски урбанизации и, как следствие, будущих наводнений. За последние десять лет частота экстремальных дождей с количеством осадков более 100 мм утроилась, что значительно больше, чем ожидалось при планировании инфраструктуры [5]. В последние десятилетия наращивает темпы урбанизация, которая приводит к значительным изменениям в землепользовании, увеличивая площадь непроницаемой поверхности. Кроме того, ограниченный земельный фонд и темпы роста населения в престижных (высоких) центральных районах привели к значительному уплотнению застройки в контуре каналов [6]. Следствием вышеупомянутых процессов является то, что быстрое увеличение площади застройки, а также развитие транспортной системы значительно увеличивают площадь «запечатанной» поверхности, что означает уменьшение площадей водной поверхности и озелененных территорий города. Под запечатанными, или непроницаемыми, понимаются городские территории под жилыми зданиями, дорогами, тротуарами, складскими и производственными помещениями, а также другими строениями и коммуникациями [7]. А уплотнение застройки в контуре рек и каналов препятствует доступу людей к рекам и каналам, загрязняет источники воды и нарушает экологический баланс вдоль водных акваторий города. Одним из наиболее крупных и проблемных районов Хошмина, столкнувшихся с уплотнением застройки, является район 8 с более чем 10 000 жилых строений в контуре канала.

Следствием вышеуказанных воздействий является увеличение риска и ущерба от наводнений в городе [8]. Поэтому в статье будет сделан акцент на анализ и оценку почвенного покрова, а также будет установлено его влияние на показатели обводненности территорий в контуре канала.

Цель статьи – оценить состояние почвенного покрова и его влияние на наводнение города Хошмина путем расчета поверхностного стока на различных урбанизированных участках района 8.

Материалы и методы исследования

Границы исследования

Район 8 – один из центральных районов города, прилегающий к пригородным райо-

нам, площадью 1880 га, обладающий сложной системой каналов. Рельеф района 8 относительно равнинный, средняя высота 1,2 м [9]. Сочетание топографии с высокой плотностью рек делает район 8 одним из самых уязвимых районов Хошмина для наводнений. Кроме того, он также является одним из центральных районов Хошмина с высокой плотностью населения – 22240 чел. / км² [10] и самой сложной ситуацией с уплотнением контуров канала в городе. По статистике Департамента строительства в 2019 г. в районе 8 Хошмина более 10 тыс. домов расположены в прибрежной зоне, выходящей на канал [6]. Район 8, расположенный на границе между центральным и пригородным районами, имеет относительно разнообразный статус землепользования с разной степенью урбанизации и различной плотностью застройки. Север района 8 граничит с центральными районами города (районы 6, 5, 4, 1), а юг граничит с пригородным районом (район Бинь Чан), поэтому уровень урбанизации также постепенно увеличивается с юга на север района. Таким образом, район 8 выбран в качестве объекта исследования с целью анализа влияния урбанизации на поверхностный сток и её оценки на степень обводнения территории города.

Материалы

Снимок дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) района 8 получен с помощью Google Earth в 2019 г. [11], цифровая модель рельефа (ЦМР), разрешение 5x5 м (рис. 1). Для расчета поверхностного стока для района 8, г. Хошмин, модель осадков, используемая в исследовании, выполнена на станции Таншонньят с трехлетним повторяющимся циклом перелива (93,1 мм) [12].

Методы исследования

Методология исследования осуществляется по этапам, представленным на рис. 2. Интерпретация изображений дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) выполнялась в программе ArcGIS. Типы почвенного покрова (использования земель), классифицированные с помощью инструментальной классификации по методу подобия (Maximum Likelihood Classification), включают 4 типа, в том числе: водная поверхность, застройка, озеленение, пустая земля, дороги и улицы. Результаты интерпретации проверялись матрицей ошибок и индекса каппа с точностью до 91,2 %.

Район исследования был разделен на 30 суббассейнов с использованием гидрологических инструментов в программном обеспечении Arc-GIS с ЦМР в качестве входных данных, чтобы обеспечить достаточную детализацию

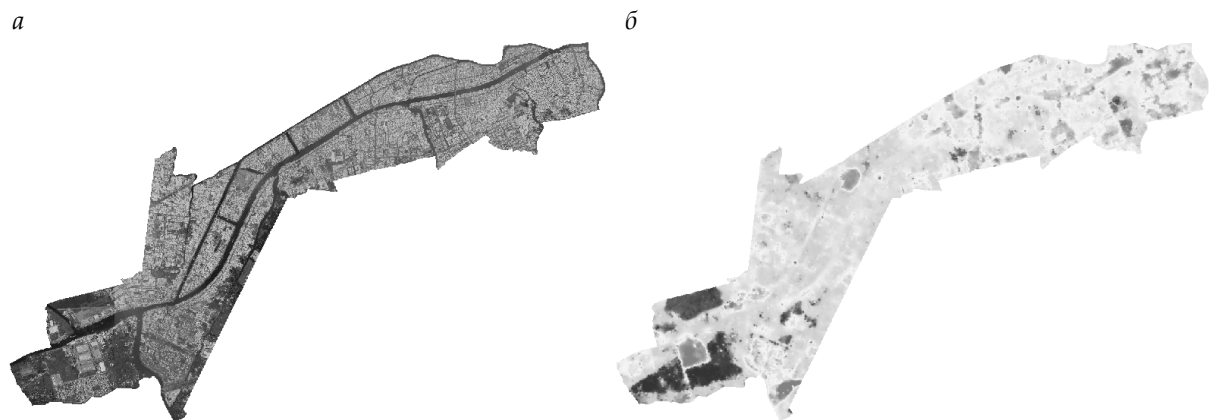


Рис. 1. Снимок ДЗЗ района 8 [11] (а) и цифровая модель рельефа (ЦМР) (б) района 8 с разрешением 5х5 м



Рис. 2. Блок-схема, показывающая методологию исследования (автор Нгуен Ван Минь)

для поддержки модели SCS TR-55. Суббассейн используется для моделирования стока с заданного участка земли. Каждый суббассейн генерирует гидрограф стока, который обычно направляется в участок ниже по течению или в пруд. Суббассейн также можно использовать для учета дождя, попадающего непосредственно на поверхность пруда. Суббассейны были разделены от 5-метровой ЦМР путем расчета сетки направления потока и сетки накопления потока (с пороговым значением 4000 ячеек или 10 га) с использованием инструментов направления потока (Flow Direction tool) и суммарного стока (Flow Accumulation tool). После этого точки устья для суббассейнов были добавлены

на основе сетки накопления стока, чтобы они стали узлами водотоковой сети, полученной в результате накопления стока и для разделения района исследования на суббассейны. Детали, относящиеся к разграниченным суббассейнам, показаны на рис. 3.

Используемый метод расчета поверхностного стока – это метод фильтрационной кривой (SCS-CN - The Soil Conservation Service Curve Number) [13], разработанный Службой охраны почв США (US, Soil Conservation Service) и подходящий для оценки последствий изменения землепользования в результате урбанизации [14, 15]. Объем поверхностного стока в этом методе зависит от количества осадков, типа земле-

пользования и влажности почвы. Переменные в методе SCS показаны на рис. 4 [16].

В этом методе отношение количества непрерывных инфильтраций (F_a) к поверхностному стоку (P_e) рассчитывается по формуле

$$\frac{F_a}{P_e} = \frac{S}{P - I_a}, \tag{1}$$

где S – максимальная инфильтрационная ёмкость грунтов;

P – количество атмосферных осадков.

По принципу сохранения $P = P_e + I_a + F_a$, следовательно, $F_a = P - P_e - I_a$. Основное уравнение метода SCS для расчета поверхностного стока в результате появления большого количества осадков запишем как

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}. \tag{2}$$

Изучая результаты экспериментов на многих небольших бассейнах, Служба охраны почв США из накопленного опыта выявила, что $I_a = 0,25S$.

Для условий Вьетнама, экспериментальных и скорректированных, величина I_a рассчитывается по формуле [17]:

$$I_a = 0,24S. \tag{3}$$

Заменив (3) на формулу (2), получим:

$$P_e = \frac{(P - 0,24S)^2}{P + 0,76S}. \tag{4}$$

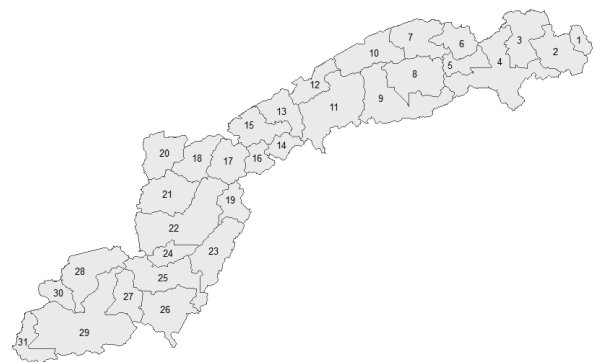


Рис. 3. Суббассейны района 8

Максимальная инфильтрационная ёмкость грунтов бассейна (S) и свойства бассейна связаны друг с другом через нумерацию кривой CN (Curve number):

$$S = 25,4 \frac{1000 - 10CN}{CN} \text{ (мм)}. \tag{5}$$

Значения CN в зависимости от типа почвенного покрова представлены в табл. 1.

Значение CN для территории с разными типами почвенного покрова определяется по следующей формуле [19]:

$$CN_c = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}, \tag{6}$$

где CN_c – общее значение номера кривой территории или участка; CN_i – номер кривой подобласти i ; A_i – площадь подобласти i ; n – общее количество подобластей.

Результаты исследования

Наложения интерпретированы и представлены на карте (рис. 5), где они разделены в соответствии с границами суббассейнов. Большая доля площади застройки заметно выделяется, в то время как относительно небольшая площадь озеленения в основном сосредоточена на суббассейнах на юге. Площадь застройки района 8 постепенно снижается с севера на юг. Север района 8 граничит с центральными районами, а юг – с пригородными районами.

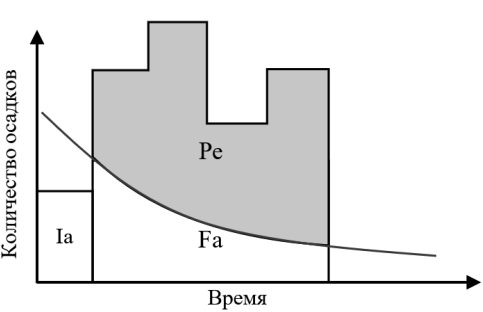


Рис. 4. Переменные в методе SCS:

I_a – расход влаги на испарение и транспирацию;
 F_a – непрерывная инфильтрация грунтов;
 P_e – величина поверхностного стока

Таблица 1

Нумерация кривой (CN) для каждого типа почвенного покрова в г. Хошимине [18]

Типы земельного покрова	Описание	Значение CN
Водная поверхность	Реки, ручьи, пруды, озера, каналы	100
Застройка	Здания, сооружения, лодки	93
Озеленение	Деревья, кустарники, трава, зелень	65
Пустая земля	Песок, голая земля	86
Улицы и дороги	Улицы, дороги, проезд, мосты	98

Конкретные цифры представлены в табл. 2. По всей территории доля непроницаемой поверхности (твердая поверхность, включая застройки, улицы и дороги) относительно высокая – 70,7 %. Что касается каждого суббассейна, самым высоким является суббассейн 2 (86,39 %), самым низким – суббассейн 31 (13,8 %). Суббассейны 1, 5, 7, 9, 10, 12 также имеют очень высокий процент твердой поверхности (более 80 %). Очевидна огромная разница в соотношении твердого покрытия между суббассейнами, расположенными недалеко от центра, и пригородными участками. Причина данной ситуации

связана с тенденцией к урбанизации в Хошимине, густонаселенном во внутренних районах, что приводит к высокой плотности застройки в центральных районах города. Это вызывает такие последствия, как заторы на дорогах, загрязнение окружающей среды, посягательство на каналы и оказывает большое давление на дренажную систему.

Высокое соотношение твердых поверхностей снижает потенциал поглощения, тем самым увеличивая поверхностный сток [16]. Чтобы точно оценить влияние соотношения твердой поверхности и водоудерживающей

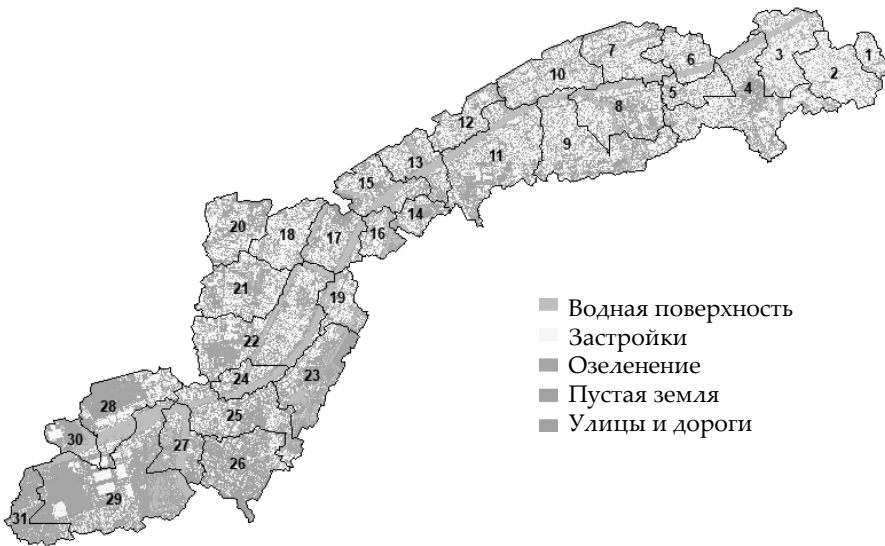


Рис. 5. Карта почвенного покрова по суббассейнам района 8 (автор: Нгуен Ван Минь)

Таблица 2

Доля типов почвенного покрова по суббассейнам в районе 8, г. Хошимин

Суббассейн	Водная поверхность		Застройка		Озеленение		Пустая земля		Улицы и дороги	
	м²	%	м²	%	м²	%	м²	%	м²	%
1	10762	8.34	81739	63.37	2863	2.22	4405	3.42	29210	22.65
2	40179	8.10	356335	71.86	18291	3.69	9007	1.82	72091	14.54
3	101015	18.76	318715	59.20	21993	4.08	6774	1.26	89881	16.69
4	99579	9.96	491195	49.13	93098	9.31	101404	10.14	214540	21.46
5	17500	7.20	137819	56.71	8323	3.43	9771	4.02	69591	28.64
6	46546	14.72	169377	53.57	3637	1.15	13851	4.38	82785	26.18
7	50180	9.82	278274	54.48	6828	1.34	28674	5.61	146815	28.74
8	107441	17.35	257996	41.67	64095	10.35	31184	5.04	158455	25.59
9	73226	8.52	425462	49.49	44674	5.20	53198	6.19	263194	30.61
10	47642	8.92	292946	54.82	16490	3.09	28283	5.29	148988	27.88
11	135912	14.17	409837	42.72	90023	9.38	58933	6.14	264619	27.58
12	25373	8.30	158053	51.70	12330	4.03	21333	6.98	88604	28.98

Окончание табл. 2

Суббассейн	Водная поверхность		Застройка		Озеленение		Пустая земля		Улицы и дороги	
	м²	%	м²	%	м²	%	м²	%	м²	%
13	72781	19.73	147396	39.95	22639	6.14	29702	8.05	96411	26.13
14	19098	10.62	64230	35.73	36058	20.06	20326	11.31	40066	22.29
15	106227	24.73	146545	34.11	28378	6.61	39607	9.22	108835	25.33
16	51925	25.49	79605	39.08	22005	10.80	10576	5.19	39586	19.43
17	91087	22.40	144108	35.43	37739	9.28	46573	11.45	87186	21.44
18	19982	5.03	228062	57.36	42100	10.59	37375	9.40	70074	17.62
19	57389	21.72	107047	40.52	37362	14.14	29154	11.04	33224	12.58
20	20724	4.63	211123	47.14	56093	12.53	68076	15.20	91814	20.50
21	21594	3.77	254421	44.41	121216	21.16	79912	13.95	95690	16.70
22	163643	14.92	414659	37.81	204911	18.68	124290	11.33	189161	17.25
23	132658	22.56	110423	18.78	236415	40.20	54356	9.24	54237	9.22
24	74808	32.92	60496	26.62	26040	11.46	20126	8.86	45799	20.15
25	65255	9.96	233872	35.71	106059	16.19	39551	6.04	210226	32.10
26	40619	6.43	141690	22.44	168526	26.69	62442	9.89	218027	34.54
27	131754	36.36	55103	15.21	87083	24.03	22670	6.26	65744	18.14
28	83515	12.94	168803	26.15	213210	33.03	90837	14.07	89074	13.80
29	247744	16.64	297554	19.99	691479	46.45	46965	3.15	204894	13.76
30	43391	20.42	47861	22.53	88477	41.64	8249	3.88	24490	11.53
31	19289	6.46	25419	8.51	217238	72.71	20780	6.96	16036	5.37

способности данной территории, рассчитывается индекс CN для каждого суббассейна, представленный в табл. 3 и на рис. 6.

На основе данных о землепользовании, классифицированных по изображениям дистанционного зондирования, картам планирования землепользования и почвенным данным, значение CN для суббассейнов рассчитывается по формуле (6). В целом район 8 имеет относительно высокое значение CN (в среднем 90), 12 из 31 суббассейнов со значением CN выше 92, только 5 из 31 суббассейнов с индексом CN ниже 85 (см. рис. 6, табл. 3). Суббассейны, имеющие высокую долю твердой поверхности, обладают большим значением CN, а суббассейны с большими долями зеленого насаждения имеют средние или низкие значения CN.

По полученному значению CN поверхностный сток определяется с помощью уравнений (4) и (5) и карты дождя, разработанной для Хошимина с повторяющимся циклом в три года, с общим количеством осадков 93,1 мм за 180 мин. Влияние процесса урбанизации, показанного через результаты расчета поверхностного стока и максимальной инфильтрационной ёмкости грунтов по суббассейнам, показано в табл. 3.

Величина поверхностного стока в районе 8 (см. табл. 3) относительно высокая (66,81 мм от количества осадков 93,1 мм). Суббассейн 6 имеет самую высокую величину поверхностного стока (78 мм), что указывает на то, что инфильтрационная ёмкость грунтов (потенциал поглощения) района 8 очень низкая. Это значительно влияет на риск затопления, так как большой сток оказывает повышенное давление на дренажную систему района 8. Если дренажная способность дренажной системы недостаточна, произойдет затопление. Кроме того, низкая водоудерживающая способность района также вызывает недостаточное восполнение грунтовых вод, что приводит к водному дисбалансу и проседанию.

Чтобы оценить корреляцию между избыточным количеством осадков и осадками, коэффициент стока C рассчитывается на основе отношения между величиной поверхностного стока (P_e) и количеством осадков (P) по формуле

$$C = P_e/P.$$

Коэффициент стока C рассчитан и представлен в табл. 3.

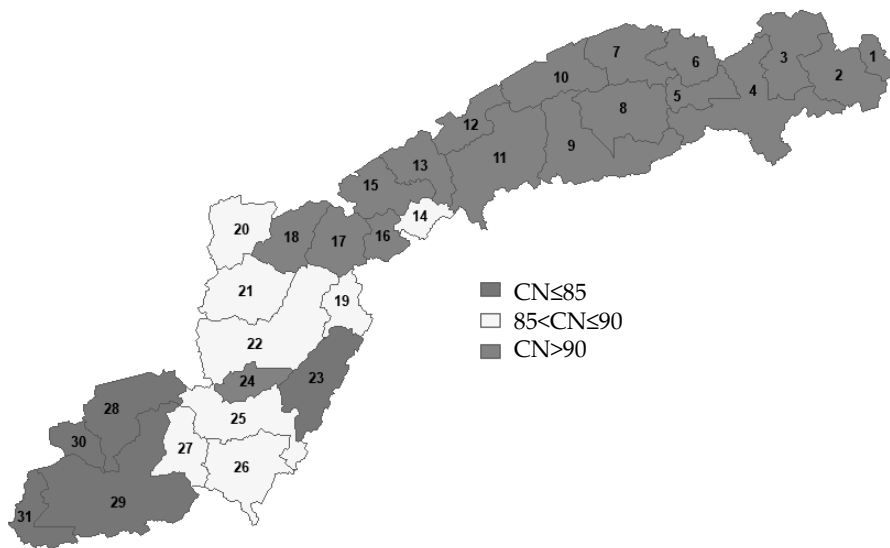


Рис. 6. Нумерация кривой (CN) по суббассейнам района 8

Таблица 3

Максимальная инфильтрационная ёмкость грунтов
и величина поверхностного стока по суббассейнам района 8, г. Хошимин

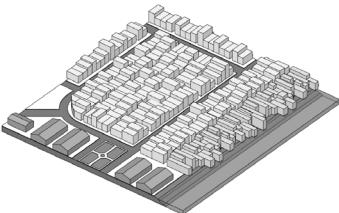
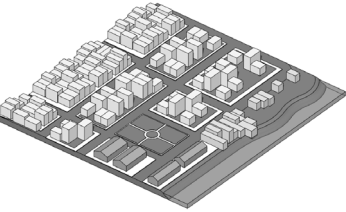
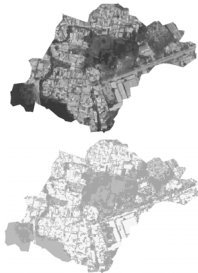
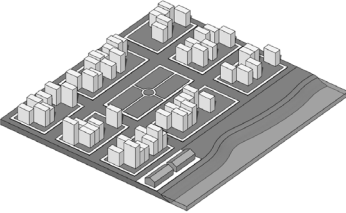
Суббассейн	Нумерация кривой curve number CN	Максимальная инфильтрационная ёмкость грунтов S, мм	Величина поверхностного стока P _е , мм	Коэффициент стока C=P _е /P
1	94	16.6	75.7	0.81
2	93	18.7	73.8	0.79
3	94	16.5	75.8	0.81
4	91	23.7	69.5	0.75
5	94	17.1	75.2	0.81
6	95	14.2	77.9	0.84
7	94	15.2	77.0	0.83
8	92	21.4	71.5	0.77
9	93	18.4	74.0	0.80
10	94	16.8	75.5	0.81
11	92	21.1	71.7	0.77
12	93	17.9	74.5	0.80
13	93	17.9	74.5	0.80
14	88	33.2	62.2	0.67
15	94	17.7	74.7	0.80
16	92	21.0	71.8	0.77
17	92	21.4	71.5	0.77
18	91	26.3	67.4	0.72
19	90	26.9	66.9	0.72
20	90	28.9	65.4	0.70
21	87	37.3	59.3	0.64

Окончание табл. 3

Суббассейн	Нумерация кривой curve number CN	Максимальная инфильтрационная ёмкость грунтов S, мм	Величина поверхностного стока P _е , мм	Коэффициент стока C=P _е /P
22	89	31.8	63.2	0.68
23	83	51.5	50.5	0.54
24	92	20.6	72.1	0.77
25	90	27.1	66.7	0.72
26	87	37.9	58.9	0.63
27	89	30.5	64.2	0.69
28	84	47.1	53.1	0.57
29	82	57.2	47.5	0.51
30	83	51.8	50.4	0.54
31	73	94.5	31.7	0.34

Таблица 4

Модель территории суббассейнов района 8, г. Хошимин

Типология застройки	Изображение	Процент озеленения	Нумерация кривой CN	Коэффициент стока C
 Группа 1. Низкая водоудерживающая способность		≤ 12 %	CN > 90	C > 0.72
 Группа 2. Средняя водоудерживающая способность		13-30 %	85 < CN ≤ 90	0.6 ≤ C ≤ 0.72
 Группа 3. Хорошая водоудерживающая способность		≥ 30 %	CN ≤ 85	C < 0.6

Коэффициент стока, наблюдаемый в большинстве суббассейнов, превышает 0,5 (только суббассейн 31 имеет коэффициент стока ниже 0,5). Среднее значение C в районе 8 составляет 0,72, это означает, что 72 % осадков в районе 8 при осадке 93,1 мм превратятся в сток. Суббассейны 1, 3, 5–7, 9, 10, 12, 13 и 15 с очень высоким значением коэффициента поверхностного стока (выше 0,8), соответствующим 80 % от общего количества осадков, превратится в сток.

Кроме того, по графикам зависимости пропорций поверхностей от коэффициента поверхностного стока обнаруживается большая корреляция между долей площади озеленения и коэффициентом поверхностного стока. Уменьшение площади зеленых насаждений было пропорционально увеличению коэффициента стока, что было незаметно для других типов поверхности (рис. 7).

По результатам оценки проницаемости дождевой воды суббассейны разделены на три группы по уровням водоудержания: низкий, средний, высокий. Типы суббассейнов оцениваются с помощью следующих критериев: степени уплотнения

каналов и плотности застройки на территории, смоделированных и представленных в табл. 4.

Группа 1: Низкая водоудерживающая способность

– Нумерация кривой $CN > 90$, коэффициент поверхностного потока 0,72

– Канал полностью уплотнен

– Дома в суббассейнах группы 1 – это в основном частные дома с очень высоким коэффициентом плотности застройки (0.95-1)

– Площадь зеленых насаждений в парке очень низкая (<12 %)

Группа 2: Средняя водоудерживающая способность

– Нумерация кривой от 85–90, коэффициент поверхностного стока от 0,72–0,6

– Канал частично уплотнен

– Дома в подбассейнах группы 2 – это частные дома с высоким коэффициентом плотности застройки (0.95-1) в сочетании с частными домами со средней плотностью застройки (0.65–0.95)

– Площадь зеленых насаждений относительно высокая (13–30 %): парковая зона

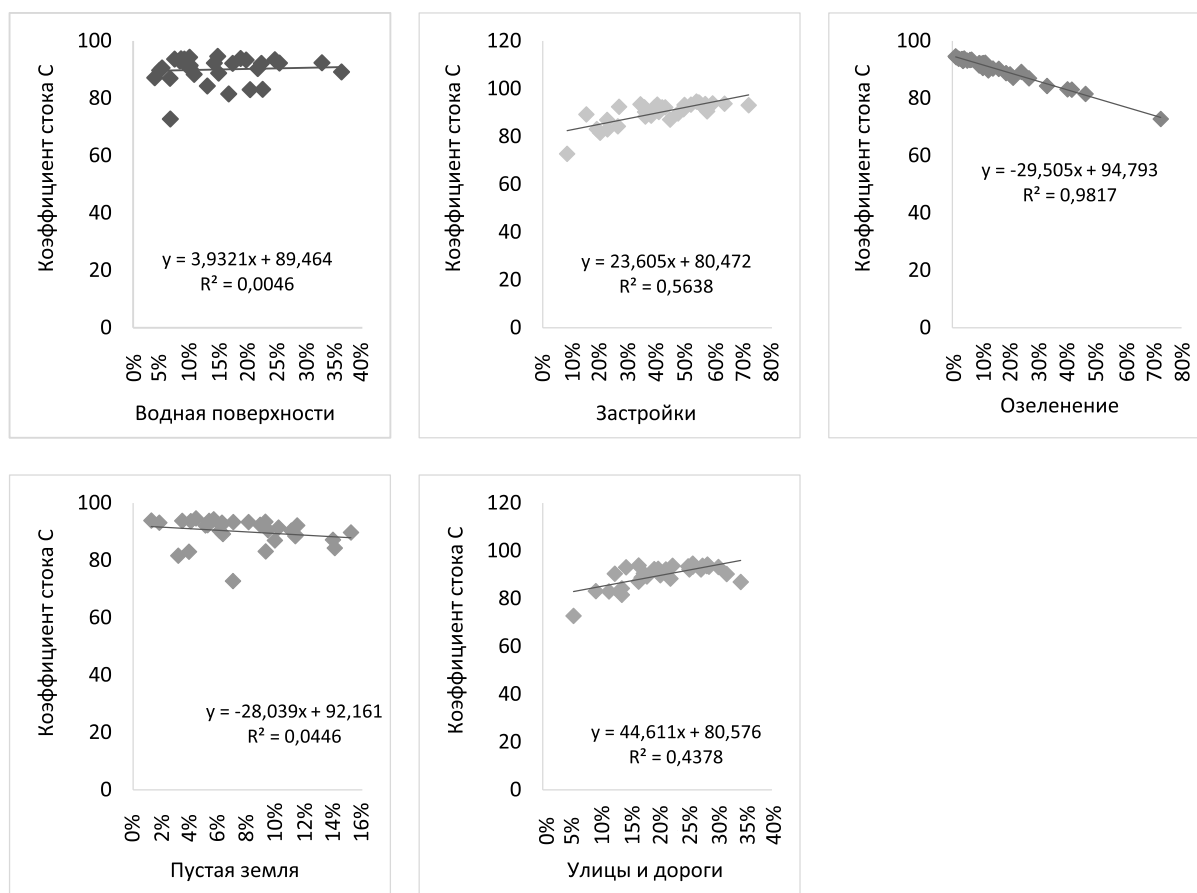


Рис. 7. График корреляции между типами почвенного покрова и коэффициентом стока C

и незастроенные земли, а также зелень вдоль рек и каналов

Группа 3: Хорошая водоудерживающая способность, коэффициент поверхностного стока менее 0,6.

- Нумерация кривой менее 85

- Канал не уплотнен

- Жилье в суббассейнах группы 3 имеет средний или низкий коэффициент плотности застройки (<0.65)

- Площадь зеленых насаждений относительно высокая (более 30 %): парки, незастроенные земли, озеленение вдоль рек и каналов, сельскохозяйственные угодья.

Заключение

Комбинация метода интерпретации спутниковых изображений и модели SCS может использоваться для оценки поверхностного стока в зависимости от условий землепользования в Хошимине. В дополнение к оценке текущего состояния, вышеупомянутый метод также применим для оценки эффективности мер по планированию снижения наводнений в Хошимине путем изменения землепользования.

Урбанизация в районе города Хошимина значительно снизит емкость аккумуляторов дождевой воды, а величина поверхностного стока будет чрезвычайно высокой (в среднем 72 % для осадков 93,1 мм). Поверхностный сток будет увеличен для его большего объема. В августе 2020 г. в Хошимине за 180 мин выпало 198,3 мм осадков, что вызвало сильные наводнения [20].

Влияние урбанизации на поверхностный сток очевидно по результатам оценки района 8. Суббассейны, граничащие с центральными районами города с высокой степенью урбанизации, обладают низкой емкостью инфильтрации грунтов, значительным объемом поверхностного стока. В отличие от загородных участков зазоры с низкой долей твердой поверхности обладают относительно низкой величиной поверхностного стока. Большая разница в величине стока между этими областями очевидна по коэффициенту поверхностного стока *C*.

Таким образом, для снижения риска и ущерба от наводнений, вызванных дождем, и пополнения городского грунтового стока необходимы меры по уменьшению площади твердой поверхности, разуплотнению застройки в контуре рек и каналов, тем самым увеличить емкость инфильтрации грунтов города. Площадь зеленых насаждений и коэффициент поверхностного стока имеют тесную взаимосвязь. Необходимы меры по увеличению площади зеленых насаждений для уменьшения величины поверхностного стока.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Le Ngok Туан, Чан Тхи Ким, Нгуен Ки Фунг*. Риск наводнения в Хошимине в контексте изменения климата и повышения уровня моря // Наука и развитие технологий журнал естественных наук. 2018. № 2 (6). С. 182–191.
2. *Hanson S., Nicholls R., Ranger N. et al.* A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes // *Climatic Change*, Vol. 104, 2011. pp. 89–111. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9977-4>
3. *Phi H.L.* Climate change and urban flooding in Ho Chi Minh City // *The Third Conference on Climate and Water: Sep 3–6. Helsinki-Finland*. 2007.
4. *Harry Storch, Nigel K. Downes*. A scenario-based approach to assess Ho Chi Minh City's urban development strategies against the impact of climate change // *Cities*. Dec 2011. Vol. 28. No. 6. pp. 517–526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.07.002>
5. *Lempert, Robert and Kalra, Nidhi and Peyraud, Suzanne and Mao, Zhimin and Tan, Sinh Bach and Cira, Dean and Lotsch, Alexander*. Ensuring Robust Flood Risk Management in Ho Chi Minh City. // *World Bank Policy Res Working Paper*. 2013. Vol. 6465. P. 63.
6. «Сломанный» план переселения 20000 домов вдоль канала и каналов [Электронный ресурс]. URL: <https://thanhnien.vn/tai-chinh-kinh-doanh/vo-ke-hoach-di-doi-20000-can-nha-ven-kenh-rach-1227795.html> (дата обращения: 09.09.2020).
7. *Кошелева О.Ю.* Оценка запечатанности почвенного покрова города Волгограда // *Вестник ВГУ, серия: география. Геоэкология*. 2019. № 1. С. 12–18.
8. *Нгуен До Зунг*. Наводнение в Хошимине: «мягкий» подход [Электронный ресурс] // *ASHUI*. 2011. URL: <https://ashui.com/mag/index.php/tuongtac/phanbien/55-phanbien/4272-ngap-lut-tai-thanh-pho-ho-chi-minh-huong-tiep-can-mem.html> (дата обращения: 26.05.2020).
9. *Hong X.* Geography and natural resources of district 8, Ho Chi Minh City // *Quan 8. tp. HCM*. 2014. URL: <http://www.quan8.hochiminhcity.gov.vn/pages/dieu-kien-tu-nhien.aspx> (дата обращения: 3.10.2021).
10. Статистический ежегодник Хошимина. Хошимин, 2018.
11. Google Earth [Электронный ресурс] URL: <https://earth.google.com/> (дата обращения: 15.September.2020).
12. *Хоанг Тхи То Ну, Доан Тхань Ву, Ле Ван Фунг, Кан Тху Ван*. Моделирование уровня затопления и предложение дренажных решений для предотвращения наводнения в районе Ван Тхань – город Хошимин // *Журнал метеорологии и гидрологии*. 2020. № 716. С. 12–25.
13. *Ven Te Chow*. *Applied Hydrology*. Mc Graw Hill. 1988. 454 pp.
14. *Li, Chunlin; Liu, Miao; Hu, Yuanman; Shi, Tuo; Zong, Min; Walter*. Assessing the Impact of Urbanization on Direct Runoff Using Improved Composite CN Method in a Large Urban Area // *Int J Environ Res Public Health*, Vol. 15, No. 4, Apr 2018. P. 775. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15040775>
15. *Chunlin Li, Miao Liu, Yuanman Hu, Tuo Shi, Xiuqi Qu, M. Todd Walter*. Effects of urbanization on

direct runoff characteristics in urban functional zones // *Science of The Total Environment*, Vol. 643, No. 1, Dec 2018, pp. 301-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.211>

16. Лыонг Ван Вьет. Исследование влияния городского развития на избыточное количество осадков в бассейне реки Тхи Тинь // *Журнал развития науки и технологий*. 2016. № 1. С. 67–78.

17. Нгуен Тхань Сон. Настройка формулы расчета общей депрессии в методе SCS путем экспериментальной обработки для бассейна реки Та Чач станции Тхьонг Ньят // *Вьетнамский журнал наук о Земле*. 2008. № 30. С. 2615–9783. DOI: <https://doi.org/10.15625/0866-7187/30/4/11770>

18. An Thi Ngoc Dang L.K. Application of remote sensing and GIS-based hydrological modelling for flood risk analysis: a case study of District 8, Ho Chi Minh city, Vietnam // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, T. 8, № 2, 2017. С. 1792-1811.

19. Shadeed S A.M. Application of GIS-based SCS-CN method in West Bank catchments, Palestine // *Water Sci Eng.*, No. 3, 2010. pp. 1–13.

20. Фьонг В. Прошлой ночью в Хошимине прошел беспрецедентный в истории проливной дождь // Тхань Ньен. 2020. URL: <https://thanhvien.vn/doi-song/dem-qua-tphcm-hung-tran-mua-to-ky-luc-chua-tung-co-trong-lich-su-1262073.html> (дата обращения: 13.03.2021).

REFERENCES

1. Le Ngoc Tuan, Tran Thi Kim, Nguyen Ky Phung. Flood risk in Ho Chi Minh City in the context of climate change and sea level rise. *Science and technology development journal natural sciences*, 2018, vol. 2, no. 6, pp. 182-191. (in Vietnamese)

2. Hanson, S., Nicholls, R., Ranger, N. et al. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Climatic Change*, 2011, vol. 104, pp. 89–111. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9977-4>

3. Phi H.L. Climate change and urban flooding in Ho Chi Minh City. The Third Conference on Climate and Water: Sep 3–6. Helsinki-Finland, 2007. (in Vietnamese)

4. Harry Storch, Nigel K. Downes. A scenario-based approach to assess Ho Chi Minh City's urban development strategies against the impact of climate change. *Cities*. Dec. 2011, vol. 28, no. 6, pp. 517-526. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2011.07.002>

5. Lempert, Robert and Kalra, Nidhi and Peyraud, Suzanne and Mao, Zhimin and Tan, Sinh Bach and Cira, Dean and Lotsch, Alexander. Ensuring Robust Flood Risk Management in Ho Chi Minh City. World Bank Policy Res Working Paper, 2013, vol. 6465, p. 63.

6. «Broken» plan to relocate 20,000 houses along the canal and canals. Thanh Nien, 2020. Available at: <https://thanhvien.vn/tai-chinh-kinh-doanh/vo-ke-hoach-di-doi-20000-can-nha-ven-kenh-rach-1227795.html> (in Vietnamese)

7. Kosheleva O.Yu. Assessment of the sealing of the soil cover of the city of Volgograd. *Vestnik VGU, seriya: geografiya. Geoekologiya* [VESTNIK VSU, SERIES: geog-

raphy. *Geoecology*], 2019, no. 1, pp. 12-18. (in Russian)

8. Dung N. D. Inundation in Ho Chi Minh City: A «soft» approach. ASHUI. 2011. Available at: <http://ashui.com/mag/index.php/tuongtac/phanbien/55-phanbien/4272-ngap-lut-tai-thanh-pho-ho-chi-minh-huong-tiep-can-mem.html> (in Vietnamese)

9. Hong X. Geography and natural resources of district 8, Ho Chi Minh City. District 8, HCMC. 2014. Available at: <http://www.quan8.hochiminhcity.gov.vn/pages/dieu-kien-tu-nhien.aspx> (in Vietnamese)

10. Statistical Yearbook of Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, 2018. (in Vietnamese)

11. Google Earth. Available at: <https://earth.google.com/> (дата обращения: 15.September.2020).

12. Hoang Thi To Nu, Doan Thanh Vu, Le Van Phung, Can Thu Van. Flood Level Simulation and Proposal of Drainage Solutions for Flood Prevention in Van Thanh District - Ho Chi Minh City. *Journal of Meteorology and Hydrology*, 2020, vol. 716, pp. 12-25. (in Vietnamese)

13. Ven Te Chow. *Applied Hydrology*. Mc Graw Hill, 1988. 454 p.

14. Li, Chunlin, Liu, Miao, Hu, Yuanman, Shi, Tuo, Zong, Min, Walter. Assessing the Impact of Urbanization on Direct Runoff Using Improved Composite CN Method in a Large Urban Area. *Int J Environ Res Public Health*, Apr 2018, vol. 15, no. 4, p. 775. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15040775>

15. Chunlin Li, Miao Liu, Yuanman Hu, Tuo Shi, Xiuqi Qu, M. Todd Walter. Effects of urbanization on direct runoff characteristics in urban functional zones. *Science of The Total Environment*, Dec 2018, vol. 643, no. 1, pp. 301-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.211>

16. Viet L.V. Study on the effect of urban development on the excess rainfall on Thi Tinh river basin. *Science and Technology Development Journal*, 2016, vol. M1, pp. 67-78. (in Vietnamese)

17. Son N.T. Adjustment of formula for calculating initial loss depth in scs method by numerical experiment for Ta Trach river basin, Thuong Nhat station. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 2008, vol. 30, pp. 2615-9783. (in Vietnamese)

18. An Thi Ngoc Dang L.K. Application of remote sensing and GIS-based hydrological modelling for flood risk analysis: a case study of District 8, Ho Chi Minh city, Vietnam. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2017, vol. 8, no. 2, pp. 1792-1811.

19. Shadeed S A.M. Application of GIS-based SCS-CN method in West Bank catchments, Palestine. *Water Sci Eng.*, 2010, no. 3, pp. 1–13.

20. Phuong V. Last night, Ho Chi Minh City received an unprecedented heavy rain in history. Thanh Nien, 2020. Available at: <https://thanhvien.vn/doi-song/dem-qua-tphcm-hung-tran-mua-to-ky-luc-chua-tung-co-trong-lich-su-1262073.html> (in Vietnamese) x

Об авторах:

НГУЕН Ван Минь

аспирант кафедры градостроительства
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет
129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26
E-mail: mikenguyen@mail.ru

NGUYEN Van Minh

Postgraduate Student of the Town Planning Chair
Moscow State University of Civil Engineering (National
Research University)
Institute of Architecture and Civil Engineering
129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye Shosse str., 26
E-mail: mikenguyen@mail.ru

ЗАЙКОВА Елена Юрьевна

кандидат архитектуры,
доцент кафедры градостроительства
Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет
129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, 26
E-mail: lena_landscape21@mail.ru

ZAYKOVA Elena Yurievna

PhD in Architecture, Associate Professor of the Town
Planning Chair
Moscow State University of Civil Engineering (National
Research University)
Institute of Architecture and Civil Engineering
129337, Russia, Moscow, Yaroslavskoye Shosse str., 26
E-mail: lena_landscape21@mail.ru

Для цитирования: Нгуен В.М., Зайкова Е.Ю. Изучение влияния городской застройки на поверхностный сток на примере района 8 города Хошимина // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 145–156. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.20.

For citation: Nguyen Van Minh, Zaykova E.Yu. Assessing the Impact of Urbanization on Direct Runoff in District 8, Ho Chi Minh City. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 145–156. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.20.

**НАУЧНО-ПРОЕКТНЫЙ ЦЕНТР
«АРХИГРАД»**

Направления
деятельности



Градостроительство, градостроительная реконструкция, территориальное планирование, архитектурное и ландшафтное проектирование, реконструкция зданий и сооружений, экспертная деятельность, повышение квалификации руководителей и специалистов организаций

Руководитель



Татьяна Владимировна ВАВИЛОНСКАЯ
доктор архитектуры, профессор

Контакты



443001, Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 0102
(846) 242-52-21
baranova1968@mail.ru

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ



УДК 622.323: 621.313

DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.21

**А. И. ДАНИЛУШКИН
В. А. ДАНИЛУШКИН**

ОПТИМИЗАЦИЯ СТАЦИОНАРНЫХ И ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛА

OPTIMIZATION OF STATIONARY AND TRANSITIONAL OPERATING MODES
OF THE ELECTRICAL COMPLEX IN METAL PROCESSING LINE

В электротехническом комплексе «индукционный нагреватель – деформирующее оборудование» ограничивающим производительность комплекса звеном является индукционная нагревательная установка. В связи с этим важной задачей повышения эффективности обрабатывающего комплекса является оптимизация как конструктивных, так и режимных параметров индукционной нагревательной установки. Показано, что основным конструктивным параметром, влияющим на энергетические характеристики комплекса, является длина нагревательной системы. При оптимизации общей длины нагревателя используется итерационная модель процесса индукционного нагрева ферромагнитных заготовок. Алгоритм распределения мощности по длине двухсекционного нагревателя представляет собой кусочно-непрерывную функцию. Оптимизация длины нагревателя по предложенной методике позволила сократить длину нагревателя с 2,8 до 2,1 м, т. е. на 25 %. Для поиска эффективных алгоритмов управления нестационарными режимами в работе предлагается уточненная электротепловая модель. Она учитывает нелинейную зависимость распределения мощности источников внутреннего тепловыделения от температурного распределения в металле заготовок по радиальной и аксиальной координатам. Сформулирована и решена задача поиска оптимального управления переходными

In the electrical complex “induction heater - deforming equipment”, the limiting performance of the complex is the induction heating unit. In this regard, an important task of increasing the efficiency of the processing complex is to optimize both the design and operating parameters of the induction heating unit. It is shown that the main design parameter influencing the energy characteristics of the complex is the length of the heating system. When optimizing the total length of the heater, an iterative model of the process of induction heating of ferromagnetic billets is used. The power distribution algorithm along the length of a two-section heater is a piecewise continuous function. Optimization of the heater length according to the proposed method made it possible to reduce the heater length from 2.8 m to 2.1 m, i.e. by 25%. To search for effective control algorithms for non-stationary modes, a refined electrothermal model is proposed in the work. It takes into account the nonlinear dependence of the distribution of the power of the sources of internal heat release on the temperature distribution in the metal of the workpieces along the radial and axial coordinates. The problem of finding the optimal control of transient modes of a two-section induction heater of methodical action is formulated and solved. The results obtained provide a minimum of energy consumption for heating billets in transient modes under conditions of technological and energy constraints. Variants of starting the heater at various initial temperature states of the load

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00212 А

режимами двухсекционного индукционного нагревателя методического действия. Полученные результаты обеспечивают минимум энергозатрат на нагрев заготовок в переходных режимах в условиях технологических и энергетических ограничений. Рассмотрены варианты пуска нагревателя при различных исходных температурных состояниях загрузки. Приведены результаты сравнительного анализа эффективности полученных алгоритмов управления. Предложена структура системы электроснабжения и управления индукционным нагревательным комплексом.

Ключевые слова: электротехнический комплекс, индукционный нагрев, математическая модель, температурное распределение, энергоэффективность, алгоритмы управления

На машиностроительных и металлургических предприятиях для производства изделий методом горячего прессования используются многосекционные индукционные комплексы, состоящие из нагревательных модулей с автономными источниками питания и системы управления, контроля и регулирования [1, 2]. Суммарная мощность комплекса достигает 1000 кВт, что составляет значительную часть установленной мощности цеховой подстанции. В современных условиях развития производства большое значение приобретает задача повышения технико-экономических показателей энергопотребителей. Задача усложняется необходимостью обеспечивать оперативное управление потребляемой мощностью комплекса в нестационарных режимах работы, таких как смена номенклатуры изделий, пуск нагревателя при различных начальных состояниях загрузки [2–5]. Необходимую гибкость технологического процесса, позволяющего эффективно управлять режимом работы, можно обеспечить лишь при решении задачи поиска оптимальных конструктивных и режимных параметров комплекса.

Задачу оптимального проектирования конструктивных и режимных параметров электротехнического комплекса, состоящего из секционированных индукторов с автономными источниками питания, можно сформулировать следующим образом: необходимо найти такие значения основных конструктивных характеристик индукционного комплекса, которые при его последующем функционировании обеспечивают достижение наилучших значений выходных критериев эффективности в условиях заданных ограничений и требований к конечному температурному состоянию объекта нагрева [6, 7].

Таким образом, достижение эффективного решения обеспечивается применением

are considered. The results of a comparative analysis of the effectiveness of the obtained control algorithms are presented. The structure of the power supply and control system of the induction heating complex is proposed.

Keywords: electrical complex, induction heating, mathematical model, temperature distribution, energy efficiency, control algorithms

совместного проектирования конструктивных и режимных параметров комплекса.

Основными технико-экономическими показателями работы, отражающими качество и эффективность нагрева, являются такие параметры, как максимальное приближение температурного поля к технологической инструкции и энергетические показатели в виде коэффициента полезного действия и коэффициента мощности.

На распределение температуры по объему заготовок влияют различные факторы – как конструктивные, так и режимные. Для исследуемого объекта методического нагрева основной технологической задачей является формирование требуемого температурного распределения по объему нагреваемого изделия на выходе из нагревателя. Кроме технологических требований к температурному распределению, необходимо обеспечить энергоэффективность процесса и согласование изменяющихся в процессе нагрева параметров комплекса с системой электроснабжения [8, 9].

Таким образом, задача разработки энергоэффективного индукционного комплекса заключается в нахождении таких конструктивных и режимных параметров, которые обеспечивают заданное температурное распределение и высокую эффективность с учетом неизбежных в реальных условиях эксплуатации ограничений. К ним относятся функциональные ограничения, накладываемые источниками питания, условиями электромагнитной совместности, технологией и безопасностью.

Перечисленные выше требования качества и эффективности не всегда возможно обеспечить путем решения совместной задачи проектирования и управления. Значительно упрощает решение поставленной задачи возможность деления её на две самостоятельные

задачи. Вначале решается задача оптимизации конструктивных параметров, обеспечивающих минимум массогабаритных показателей комплекса, коэффициента полезного действия, коэффициента мощности и др. На втором этапе решается задача оптимизации режимных параметров – минимум энергозатрат на нагрев в переходных режимах функционирования, минимум времени перехода с одного режима

на другой и оптимальные динамические показатели переходного процесса.

В качестве конструктивного параметра, влияющего на технико-экономические показатели комплекса, рассматривается длина нагревательной системы [9,10].

Задача на минимум длины двухчастотного нагревателя формулируется следующим образом [5, 6].

Для объекта, описываемого уравнениями вида

$$\frac{\partial(\mu_a(H(r, x, t), T)H(r, x, t))}{\partial t} - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{1}{\sigma(T)} \frac{\partial H(r, x, t)}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{\sigma(T)} \frac{\partial H(r, x, t)}{\partial x} \right) = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial H(0, x, \tau)}{\partial r} = 0;$$

$$H(R, L, t) = u(\tau) f(H, t);$$

$$c(T) \gamma \frac{\partial T(r, x, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\lambda(T) r \frac{\partial T(r, x, t)}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T(r, x, t)}{\partial x} \right) + \frac{1}{c(T) \gamma} W(r, x, t, \xi(T)); \quad (2)$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T(r, x, t)}{\partial t} \Big|_{x=0} = \alpha [T(r, 0, t) - T_1(r, 0, t)] + \varepsilon \left[\left(\frac{T(r, 0, \tau)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1(r, 0, t)}{100} \right)^4 \right]; \quad (3)$$

$$-\lambda(T) \frac{\partial T(r, L, t)}{\partial t} \Big|_{x=L} = \alpha [T(r, L, t) - T_2(r, L, t)] + \varepsilon \left[\left(\frac{T(r, L, \tau)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2(r, L, t)}{100} \right)^4 \right]; \quad (4)$$

$$-\lambda(T) \frac{\partial T(r, x, t)}{\partial t} \Big|_{r=R} = \alpha_1 (T) [T(R, x, t) - T_1(R, x, t)] + \varepsilon_1 \left[\left(\frac{T(R, x, t)}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_1(R, x, t)}{100} \right)^4 \right]; \quad (5)$$

$$\frac{\partial T(0, x, t)}{\partial r} = 0; \quad (6)$$

$$T(r, x, 0) = T_0(r, x); \quad (7)$$

$$r \in [0, R]; x \in [0, L]$$

требуется определить минимальную общую длину двухсекционного нагревателя при выполнении основного технологического требования – обеспечения заданного конечного температурного состояния металла на выходе из нагревателя

$$T(r, x, t) = T_{зад}(r, x).$$

При этом необходимо учитывать следующие ограничения:

- на удельную поверхностную мощность первой секции индуктора $0 \leq p_1 \leq p_{1max}$, кВт/м²;
- на удельную поверхностную мощность второй секции индуктора $0 \leq p_2 \leq p_{2max}$, кВт/м²;
- на максимальный перепад температур по сечению загрузки в период нагрева в области упругих деформаций (на первой стадии нагрева) $-(T_{нов} - T_{ц})_I \leq \Delta T_{I'}$, °C;

- на максимальную температуру по сечению загрузки $T(r, x, \tau_{кон}) \leq \Delta T_{max'}$, °C;

- на перепад температур между наиболее нагретой точкой и центром загрузки на выходе из нагревателя $-(T_{max} - T_{ц})_I = \Delta T_{дон.}$

Темп перемещения заготовки через нагреватель, а следовательно, и время нагрева определяются темпом работы деформирующего оборудования.

Максимальный перепад температур по сечению загрузки в период нагрева в области упругих деформаций (на первой стадии нагрева) и предельное значение температуры поверхности загрузки на выходе из нагревателя определяются технологическими требованиями.

В качестве начального условия рассматривается температурное распределение загрузки на входе в первую секцию нагревателя

$$T(r, x, t) = T(r, x, 0) = T_0(r, x).$$

Фазовое ограничение на температурное распределение загрузки в конце нагрева записывается в виде

$$T_{\max}(r, x, t) = \max T(r, x, t) \leq \Delta T_{\text{дон.}},$$
$$r \in [0, R]; x \in [0, L]$$
$$0 \leq t \leq t_{\kappa}.$$

Точность приближения результирующего температурного распределения к требуемому оценивается по величине максимального отклонения температуры по объему заготовки в конце нагрева.

В качестве переменных величин рассматриваются удельная поверхностная мощность первой секции нагревателя, удельная поверхностная мощность второй секции нагревателя, частота питающего напряжения.

Базовая постановка задачи оптимизации длины нагревателя и её решение рассмотрены на примере конкретной задачи минимизации общей длины двухсекционного индукционного нагревателя методического действия для нагрева мерных стальных ферромагнитных заготовок до температур пластической деформации (Рис. 1).

Параметры загрузки приведены в табл. 1.

Технологические требования к режиму нагрева:

- на выходе из индуктора средняя температура заготовки должна быть $T = 1180 \pm 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- удельная поверхностная мощность первой секции индуктора $0 \leq p_{1\max} \leq 400 \text{ кВт/м}^2$;
- удельная поверхностная мощность второй секции индуктора $0 \leq p_{2\max} \leq 2500 \text{ кВт/м}^2$;

– максимальный перепад температур по сечению заготовки в период нагрева в области упругих деформаций (на первой стадии нагрева) – $(T_{\text{нов}} - T_{\text{ц}}) \leq 600 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

– максимальная температура наиболее нагретой точки по сечению заготовки $T_{\max}(r, x, \tau_{\text{кон}}) \leq 1300 \text{ }^{\circ}\text{C}$;

Для реализации методики оптимального проектирования индукционного нагревателя используется алгоритм последовательного решения задачи оптимизации с улучшением требуемых показателей на каждой итерации [11, 12].

При оптимизации общей длины нагревателя используется итерационная модель процесса двухчастотного индукционного нагрева ферромагнитных заготовок. В процессе поиска оптимума на каждой итерации происходит пересчет электромагнитной задачи с учетом изменяющегося распределения температуры по объему загрузки. Процесс заканчивается, если полученное температурное распределение и оптимизируемый параметр – длина нагревателя – оказываются близкими к их значениям на предыдущем этапе.

После проверки полученных результатов на соответствие накладываемым ограничениям решение считается завершенным. Далее производится расчет интегральных параметров системы: расчет и выбор числа витков и сечения проводов катушки обоих индукторов в соответствии с выбранной частотой и напряжением источника питания и расчет системы охлаждения.

Результаты расчета электромагнитной задачи в виде внутренних источников тепла используются далее при решении тепловой задачи расчета температурного распределения по радиальной и аксиальной координатам загрузки

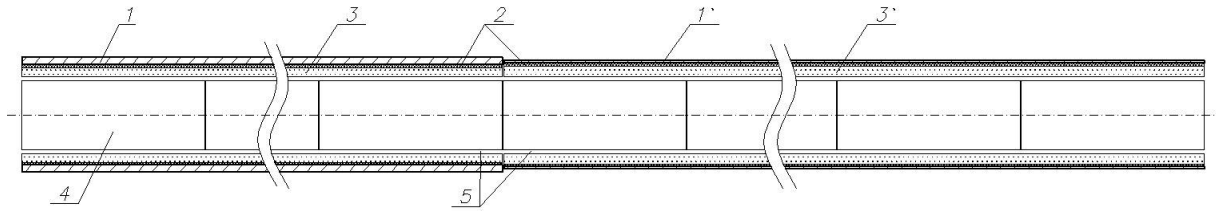


Рис.1. Эскиз двухсекционного индукционного нагревателя:

1, 1' – катушки индукторов первой и второй секций; 2 – электрическая изоляция; 3, 3' – футеровка;
4 – заготовки; 5 – направляющие

Таблица 1

Параметры нагреваемой загрузки

Наименование детали	Материал детали	Диаметр D, мм	Длина L, мм	Масса m, кг	Производительность П, кг/ч
Цилиндрическая загрузка	Ст19ХГНМА Ст17НЗМА Ст15НЗМА Ст14ХНЗМА	120–180	200–430	30–85	3000

ки на каждой позиции. Решение тепловой задачи проводится итерационно – с пересчетом распределения объемных источников тепловыделения в электромагнитной задаче и задании полученной картины в качестве источников для тепловой задачи. Таким способом осуществляется последовательный расчет электромагнитных и тепловых полей с обменом информацией в виде аппроксимирующих выражений для распределений температуры и внутренних источников тепловыделения.

Результаты приведены на рис. 2, 3.

Как видно из приведенных результатов, оптимальная по минимуму длины индукционная система реализует режим ускоренного изотермического нагрева. Температурный перепад по радиусу на выходе из системы составляет 120 °С, что соответствует требованиям технологии горячей деформации (см. рис. 3).

Алгоритм распределения мощности по длине двухсекционного нагревателя представляет собой кусочно-непрерывную функцию. Снижение уровня мощности в каждой секции

(см. рис. 2) обусловлено необходимостью ограничить температуру загрузки предельно допустимым значением. Это сводится к определению уровня мощности на соответствующих позициях в пределах длительности интервала дискретности, т. е. сводится к выполнению условия

$$T_{\max}(r_{\max}, x_{\max}, t) \leq T_{\text{дон}},$$

где $r_{\max}, x_{\max}$ – координаты точки с максимальной температурой.

Приведенные в качестве примера результаты получены для технологии, по которой допустимая точность нагрева составляет 150 °С.

В табл. 2 приведены сравнительные характеристики нагревателей для нагрева на частоте 1000 Гц, двухчастотного нагревателя для обычного режима нагрева и двухчастотного нагревателя минимальной длины.

Оптимизация длины нагревателя по предложенной методике позволила сократить длину нагревателя с 2,8 до 2,1 м, т. е. на 25 %.

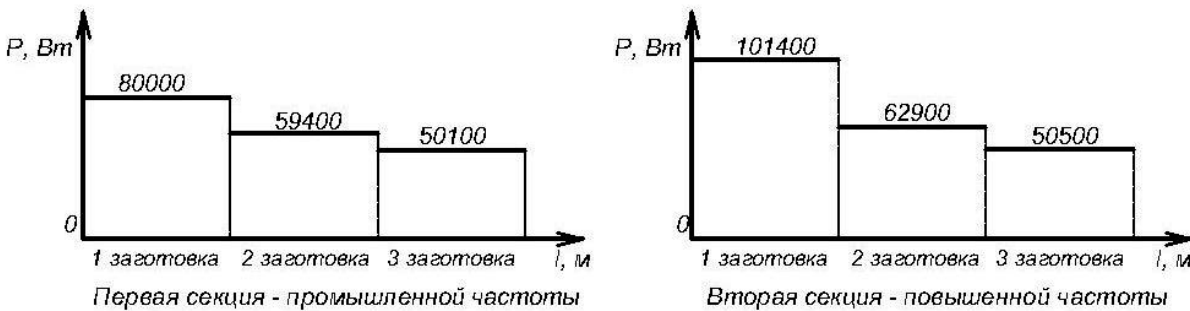


Рис. 2. Оптимальное распределение мощности по длине нагревателя

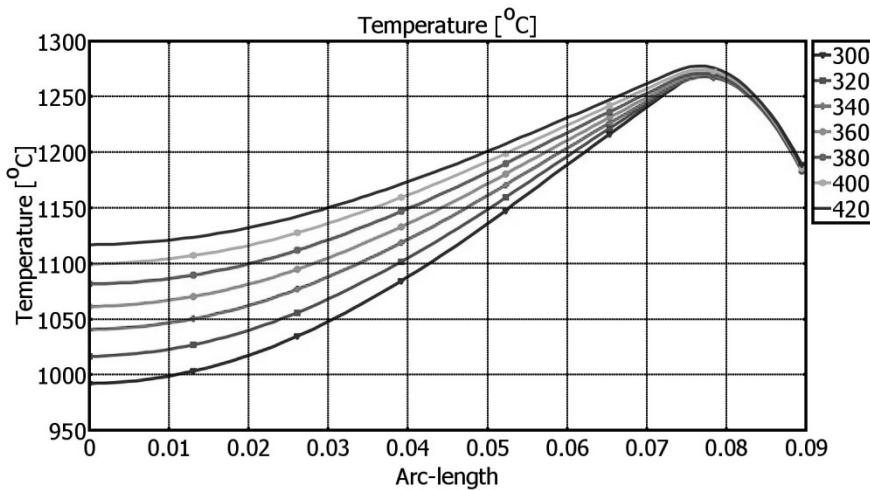


Рис. 3. Результирующее радиальное температурное распределение в загрузке на выходе из нагревателя

Таблица 2

Сравнительные характеристики нагревателей

Показатель	Одно-частотный индуктор	Двухчастотный индуктор		Двухчастотный индуктор минимальной длины	
		Индуктор промышленной частоты	Индуктор повышенной частоты	Индуктор промышленной частоты	Индуктор повышенной частоты
Частота, Гц	1000	50	1000	50	1000
Длина секции нагревателя, м	3,5	1,05	1,75	1,05	1,05
Общая длина, м	3,5	2,8		2,1	
Диаметр, м	0,23	0,22	0,23	0,22	0,23
Напряжение питания индуктора, В	800	380	800	380	800
Мощность индуктора, кВт	533	219,4	289,5	219,4	270,7
КПД электрический	0,838	0,86	0,77	0,86	0,8
КПД тепловой	0,803	0,85	0,84	0,85	0,9
Общий КПД	0,67	0,73	0,65	0,73	0,72
Коэффициент мощности	0,107	0,26	0,083	0,26	0,085

В нестационарных режимах работы нагревательной системы методического действия для нагрева ферромагнитных заготовок (пуск системы, смена производительности, смена номенклатуры) неизбежно возникает неконтролируемое отклонение температуры металла от предельно допустимых значений, что приводит к браку продукции [13–17]. Кроме того, происходит изменение электрических параметров индукционной системы в широких пределах, что при ограниченной мощности источников питания приводит к их перегрузке по току.

Существующая практика выхода на установившийся режим работы заключается в одновременной подаче напряжения на обе секции нагревателя и включения привода перемещения заготовок через нагреватель («холодный» пуск). Как показывают расчеты, при постоянстве напряжения на индукторе в процессе пуска мощность, подводимая к каждой секции индуктора, увеличивается по сравнению с установившимся режимом на 35–40 %. Это сопровождается увеличением полной мощности и тока источника питания выше его максимально допустимых значений. Отмечено, что вся нагрузка, находящаяся в нагревателе в момент пуска, выходит с низким теплосодержанием, не соответствующим требованиям технологии обработки на деформирующем оборудовании. Это приводит к простоя деформирующего обо-

рудования и значительным потерям энергии на нагрев некондиционных заготовок. Общие затраты электроэнергии в пусковом режиме для нагревателя с указанными в статье параметрами – 124,2 кВт·ч, потери энергии на нагрев некондиционных заготовок – 37,8 кВт·ч. Время выхода на режим – 1120 с. Максимальная масса некондиционных заготовок – 560 кг.

В связи с этим встает вопрос выбора такого режима пуска, который обеспечит минимальные энергозатраты в процессе пуска при выполнении всех ограничений, накладываемых на энергетические и технологические параметры системы «источники питания – нагреватель».

Задача оптимизации пускового режима, обеспечивающего наилучшие энергетические характеристики в процессе выхода на установившийся режим, формулируется следующим образом.

Для объекта, описываемого системой уравнений (1)–(7) с заданными граничными и начальными условиями, требуется найти такой алгоритм управления процессом пуска, который обеспечил бы минимальное время выхода на установившийся режим при минимальных энергозатратах.

В табл. 3 приводятся результаты исследований различных вариантов пуска двухсекционного индукционного нагревателя мощностью 500 кВт.

1. Пуск нагревателя с одновременным включением механизма подачи.

Таблица 3

Сравнительные характеристики пусковых режимов

Вариант пуска	Затраты эл.энергии в пусковом режиме, кВт·ч	Потери эл.энергии на нагрев некондиционных заготовок, кВт·ч	Время выхода на установившийся режим, с	Количество некондиционных заготовок, шт.	Регулируемая емкость
1	124,2	37,8	1120	7	Требуется
2	108,2	33,8	1120	7	Требуется
3	151,6	25,7	2200	3	Требуется
4	162,6	18,3	2060	2	Требуется
5	116,7	28,3	1120	6	Не требуется
6	113,1	26,7	1120	6	Не требуется

2. Пуск нагревателя с ограничением по мощности источника питания.

3. Пуск нагревателя из режима термостатирования второй секции.

4. Пуск нагревателя с выходом из режима термостатирования обеих секций.

5. Пуск нагревателя с балластными заготовками во второй секции.

6. Пуск нагревателя с балластными заготовками во второй секции и одной балластной заготовкой в первой секции.

На рис. 4, 5 приведены графики основных электрических величин для первой и второй секций в процессе выхода на установившийся режим по оптимальному циклу.

Этот режим оказывается наиболее эффективным и с точки зрения согласования пара-

метров нагревателя в пусковом режиме с параметрами источника питания, так как имеет минимальные колебания напряжения, электрических параметров нагревателя и коэффициента мощности. Общие затраты электроэнергии в пусковом режиме – 113,1 кВт·ч, потери энергии на нагрев некондиционных заготовок – 26,7 кВт·ч. Время выхода на режим – 840 с.

Таким образом, как следует из сравнительного анализа рассмотренных вариантов, в зависимости от конкретных условий технологического процесса, требований к качественным показателям процесса можно рекомендовать следующие варианты пусковых режимов: при частых пусках из «холодного» состояния, например при мелкосерийном производстве, частой смене номенклатуры обрабатываемых

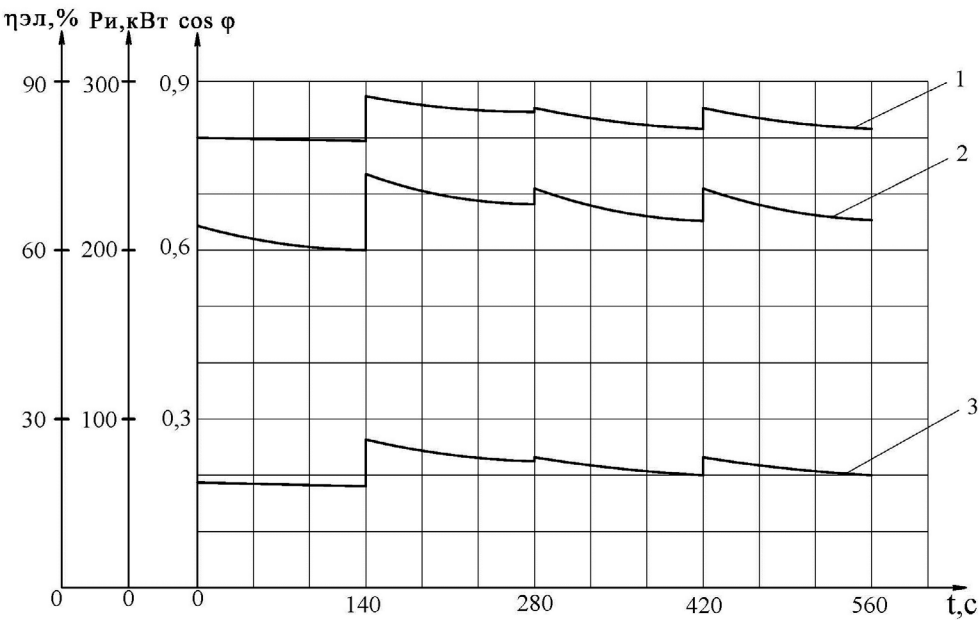


Рис. 4. Энергетические характеристики первой секции в процессе пуска:
1 – активная мощность, подведенная к индуктору Р_и, кВт;
2 – электрический КПД индуктора η_{эл}, %; 3 – cos φ индуктора

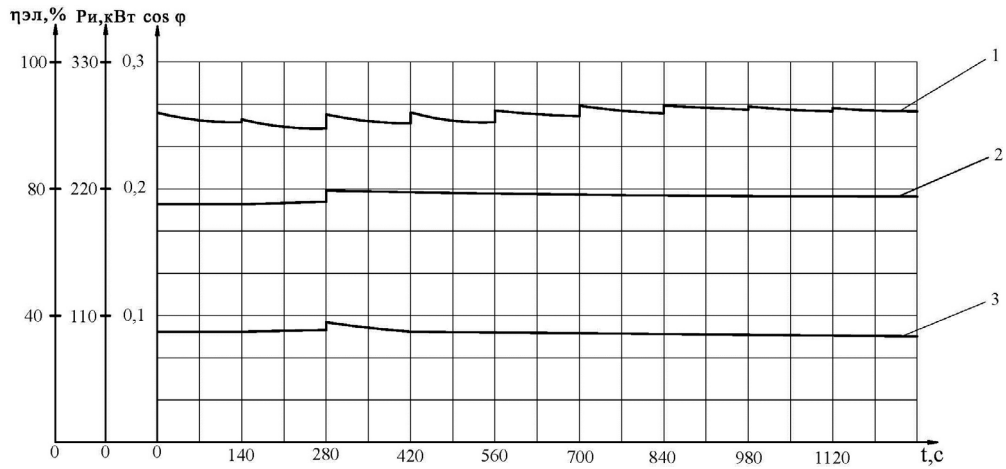


Рис. 5. Энергетические характеристики второй секции в процессе пуска:
1 – активная мощность, подведенная к индуктору P_i , кВт;
2 – электрический КПД индуктора $\eta_{эл}, \%$; 3 – $\cos \varphi$ индуктора

изделий, смене производительности, электрические параметры системы «индуктор–металл» (электрическое сопротивление, коэффициент мощности) изменяются в широких пределах, что приводит к перегрузке источников питания в процессе выхода на установившийся режим. В большей степени этот эффект сказывается на характеристиках второй секции нагревателя. Для уменьшения негативно-

го эффекта необходимо обеспечить в процессе пуска постоянное значение коэффициента мощности нагрузки за счет введения в силовую цепь нагревателя дополнительного оборудования в виде регулируемой части компенсирующей ёмкости с коммутирующей аппаратурой.

Принципиальная схема технологической линии нагрева металла перед обработкой на деформирующем оборудовании представлена на рис. 6. Система электроснабжения нагревательного комплекса включает в себя трансформаторную

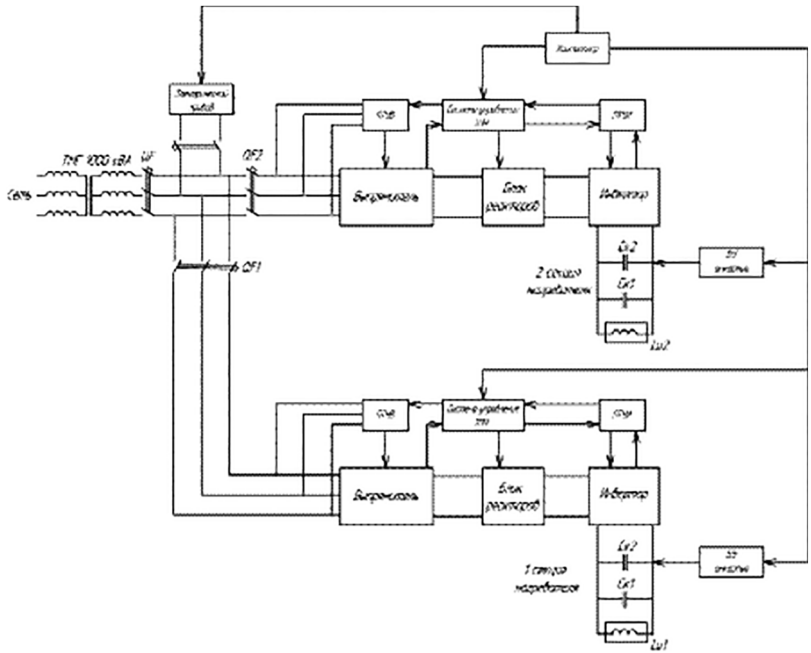


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема двухсекционной индукционной установки методического действия

подстанцию с трансформатором ТМГ мощностью 1000 кВА, коммутирующую аппаратуру, преобразователи частоты для питания секций нагревателя, блоки конденсаторных батарей, систему управления, регулирования и контроля, реализованную на микропроцессорном контроллере.

Выводы. Обзор промышленных электро-технологий нагрева металла показал, что имеются неиспользованные резервы для повышения эффективности функционирования установок индукционного нагрева в технологических процессах обработки металла давлением. Пути повышения эффективности нагревательного комплекса заключаются в улучшении массогабаритных показателей электронагревательного комплекса и оптимизации нестационарных режимов пуска или смены номенклатуры.

Методика оптимального проектирования индукционного нагревателя, минимизирующая общую длину индукционного нагревателя методического действия при наличии технологических и энергетических ограничений, реализована в виде алгоритма расчета энергетических и конструктивных параметров [11,12]. Для конкретных параметров нагревательной системы получены алгоритмы распределения мощности при минимальной длине индукционного нагревателя, обеспечивающие максимальный коэффициент полезного действия

Анализ работ, выполненных в области управления процессами методического индукционного нагрева перед обработкой на деформирующем оборудовании, показал, что существует ряд нерешенных задач в области управления нестационарными режимами многосекционных индукционных нагревателей с ферромагнитной загрузкой, снижающих эффективность индукционного нагревательного комплекса. Выполнены расчеты и проведен анализ алгоритмов управления переходными режимами двухсекционного индукционного нагревателя методического действия для наиболее часто встречающихся на практике условий пуска нагревателя с холодной загрузкой. Показано, что полученный алгоритм позволяет снизить затраты электроэнергии на пуск из холодного состояния на 18 % по сравнению с обычным способом пуска при постоянном напряжении и уменьшает время выхода на установившийся режим на 26 %. Как следует из сравнительного анализа различных способов выхода на установившийся режим, оптимальные варианты пусковых режимов зависят от конкретных условий технологического процесса, начального состояния загрузки, требований к качественным показателям процесса и определяются для каждой конкретной ситуации по предложенной методике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рапопорт Э.Я. Оптимизация процессов индукционного нагрева металла. М.: Металлургия, 1993. 279 с.
2. Демидович В.Б., Никитин Б.М., Иванов В.Н., Червинский В.И., Баранкова И.И. Актуальные энергосберегающие технологии индукционного нагрева в металлургии // Индукционный нагрев. 2008. № 4. С. 20–26.
3. Рапопорт Э.Я., Пleshivtseva Ю.Э. Оптимальное управление температурными режимами индукционного нагрева металла. М.: Наука, 2012. М.: Наука, 2012. 219 с.
4. Кожемякин А.В. Оптимизация конструкции двухчастотного индукционного нагревателя методического действия // Вести высших учебных заведений Черноземья. Липецк: ЛГТУ, 2011. С. 46–51.
5. Данилушкин А.И., Пleshivtseva Ю.Э. Оптимизация переходных режимов работы объектов технологической теплофизики с дискретно-распределенными управляющими воздействиями // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды пятой международной конференции / под ред. В.П. Мясникова, Н.А. Кузнецова, В.А. Виттиха. Самара: Самарский научный центр РАН, 2003. С. 155–162.
6. Рапопорт Э.Я. Оптимальное управление системами с распределенными параметрами. М.: Высшая школа, 2009. 677 с.
7. Yu.E.Pleshivtseva and E.Ya. Rapoport. The Successive Parametrization Method of Control Actions in Boundary Value Optimal Control Problems for Distributed Parameter Systems // Journal of Computer and Systems Sciences International, 2009, Vol. 48, No 3, PP. 351-362. Импактфакторжурнала Web of Science 0,191.
8. Демидович В.Б., Чмиленко Ф.В., Ситько П.А. Моделирование и оптимизация индукционных нагревателей мерных заготовок в кузнечном производстве // Индукционный нагрев. 2013. Вып. № 2(24). С. 15–17.
9. Данилушкин А.И., Данилушкин В.А., Васильев И.В. Оптимизация стационарного режима двухсекционного индукционного нагревателя // Вопросы электротехнологии. Саратов, 2017. № 1(14). С. 20–26.
10. Данилушкин А.И., Кожемякин А.В., Мостовой А.П. Исследование режима нагрева ферромагнитных заготовок в двухчастотном индукционном нагревателе дискретно-непрерывного действия // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. Вып. № 3. (72). С.111–117.
11. Базаров А.А. Моделирование процесса теплопроводности для задач синтеза систем управления в среде MATLAB // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. 2005. Вып. 33. С. 7–11.
12. Данилушкин А.И., Князев С.В., Мостовой А.П. Моделирование стационарного распределения температуры металла в проходном индукционном нагревателе // Вестник Иркутского государственного

технического университета. Иркутск, 2012. № 9(68). С. 41–46.

13. Данилушкин А.И., Мостовой А.П. Анализ эффективности пусковых режимов двухсекционного индукционного нагревателя методического действия // Вестник СамГТУ. Сер. Технические науки. 2014. № 4 (44). С. 113–120.

14. Рапопорт Э.Я., Осипова Ю.А. Оптимизация режимов смены производительности и номенклатуры индукционной нагревательной установки методического действия по критерию суммарной потери темпа выдачи // Вестник СамГТУ. Сер. Технические науки. 2007. № 42. С. 166–170.

15. Афиногентов А.А., Деревянов М.Ю. Эффективные стратегии функционирования производственного комплекса «нагрев – обработка металла давлением» // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. 2015. № 3. С. 162–167.

16. Данилушкин А.И., Данилушкин В.А., Кривошеев В.Е., Максимов М.А. Электротехнический модульный комплекс для нагрева вязких жидкостей в объектах трубопроводного транспорта // Градостроительство и архитектура. 2020. Т. 10, № 2. С. 160–167. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.21.

17. Данилушкин А.И., Данилушкин И.А., Данилушкин В.А. Повышение эффективности электротехнического комплекса установки охлаждения газа на основе модернизации системы управления // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 3. С. 167–174. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.21.

REFERENCES

1. Rapoport E. Ya. *Optimizaciya processov indukcionnogo nagreva metalla* [Optimization of inductive heating of the metal processes]. Moscow, Metallurgija, 1993. 279 p.

2. Demidovich V.B., Nikitin B.M., Ivanov V.N., Chervinskiy V.I., Barankova I.I. Actual energy-saving technologies of induction heating in metallurgy. *Induktsionnyy nagrev* [Induction heating], 2008, no. 4, pp. 20–26. (in Russian)

3. Rapoport E. Ya., Pleshivtseva Yu. E. *Optimal'noye upravleniye temperaturnymi rezhimami induktsionnogo nagreva metalla* [Optimal control of temperature conditions for induction heating of metal. M., Nauka, 2012. 219 p.

4. Kozhemyakin A. V. Optimization of the design of a two-frequency induction heater of methodical action. *Vesti vysshikh uchebnykh zavedeniy Chernozem'ya* [News of the higher educational institutions of the Chernozem region], 2011, p. 46–51. (in Russian)

5. Danilushkin A. I., Pleshivtseva Yu. E. Optimization of transient operating modes of technological thermophysics objects with discretely distributed control actions. *Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh: Trudy pyatoy mezhdunarodnoy konferentsii* [Control and Modeling Problems in Complex Systems: Proceedings of the Fifth International Conference]. Samara, Samarskiy nauchnyy tsentr RAN, 2003, pp. 155–162. (in Russian)

6. Rapoport E. Ya. *Optimal'noye upravleniye sistemami s raspredelennymi parametrami*. [Optimal control of systems with distributed parameters]. M., Vysshaya shkola, 2009. 677 p.

7. Pleshivtseva Yu. E., Rapoport E. Ya. The Successive Parametrization Method of Control Actions in Boundary Value Optimal Control Problems for Distributed Parameter Systems. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2009, vol. 48, no. 3, pp. 351–362.

8. Demidovich V. B., Chmilenko F. V., Sit'ko P. A. Modeling and optimization of induction heaters for dimensional billets in forging. *Induktsionnyy nagrev* [Induction heating], 2013, no. 2 (24), pp. 15–17. (in Russian)

9. Danilushkin A. I., Danilushkin V. A., Vasil'yev I. V. Optimization of the stationary mode of a two-section induction heater. *Nauchno-tehnicheskiiy zhurnal «Voprosy elektrotekhnologii»* [Scientific and technical journal "Electrotechnology Issues"], 2017, no. 1 (14), pp. 20–26. (in Russian)

10. Danilushkin A. I., Kozhemyakin A. V., Mostovoy A. P. Investigation of the heating mode of ferromagnetic billets in a two-frequency induction heater of discrete-continuous operation. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Irkutsk State Technical University], 2013, no. 3. (72), pp. 111–117. (in Russian)

11. Bazarov A. A. Modeling the heat conduction process for the problems of synthesis of control systems in the MATLAB environment. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Tekhnicheskiye nauki»* [Bulletin of the Samara State Technical University. Series "Technical Sciences"], 2005, no. 33, pp. 7–11. (in Russian)

12. Danilushkin A. I., Knyazev S. V., Mostovoy A. P. Modeling of stationary distribution

temperature of the metal in the induction heater through passage. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Irkutsk State Technical University], 2012, no. 9(68), pp. 41–46. (in Russian)

13. Danilushkin A. I., Mostovoy A. P. Analysis of the effectiveness of starting modes of a two-section induction heater of methodical action. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Tekhnicheskiye nauki»* [Bulletin of the Samara State Technical University. Series "Technical Sciences"], 2014, no. 4 (44), pp. 113–120. (in Russian)

14. Rapoport E. Ya., Osipova Yu. A. Optimization of modes of change of productivity and nomenclature of induction heating installation of methodical action according to the criterion of the total loss of the rate of delivery. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya «Tekhnicheskiye nauki»* [Bulletin of the Samara State Technical University. Series "Technical Sciences"], 2007, no. 42, pp. 166 – 170. (in Russian)

15. A. A. Afinogentov, M. YU. Derevyanov Effective strategies for the functioning of the production complex "heating - metal pressure treatment. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya*

«*Tekhnicheskije nauki*» [Bulletin of the Samara State Technical University. Series "Technical Sciences"], 2015, no 3, pp. 162–167. (in Russian)

16. Danilushkin A.I., Danilushkin V.A., Krivosheev V.E., Maksimova M.A. Electrotechnical Modular Complex for Heating Viscous Liquids in Pipeline Transport Facilities. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, Vol. 10, no. 2, pp. 160–167. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.02.21.

17. Danilushkin A.I., Danilushkin I.A., Danilushkin V.A. Improving the Efficiency of Electrotechnical Complex of Gas Cooling on the Basis of Modernization of Management System. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019. Vol. 9, no. 3, pp. 167–174. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.21.

Об авторах:

ДАНИЛУШКИН Александр Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: aidanilushkin@mail.ru

DANILUSHKIN Aleksandr I.

Doctor of Engineering Science, Associate Professor of the Power Supply of Industrial Enterprises Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: aidanilushkin@mail.ru

ДАНИЛУШКИН Василий Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: vasilydan2013@yandex.ru

DANILUSHKIN Vasilij A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Power Supply of Industrial Enterprises Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: vasilydan2013@yandex.ru

Для цитирования: Данилушкин А.И., Данилушкин В.А. Оптимизация стационарных и переходных режимов работы электротехнического комплекса в технологической линии обработки металла // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 157–167. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.21.

For citation: Danilushkin A.I., Danilushkin V.A. Optimization of Stationary and Transitional Operating Modes of the Electrical Complex in Metal Processing Line. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 157–167. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.21.

А. С. ЛУКОВЕНКО

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ОТКЛОНЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАГРУЗКИ ТРАНСФОРМАТОРА

ECONOMIC DAMAGE ASSESSMENT METHODOLOGY IN CASE OF TRANSFORMER LOAD RATIO DEVIATION

Целью исследования является разработка методики оценки экономического ущерба при отклонении коэффициента загрузки трансформатора. В процессе исследования использован метод определения оптимальной загрузки силового трансформатора. Разработана методика оценки экономического ущерба при отклонении коэффициента его загрузки. Определен оптимальный коэффициент загрузки силового трансформатора по критерию минимума затрат денежных средств на трансформацию электрической энергии. Уровень загрузки силовых трансформаторов можно оценивать по двум критериям: по максимуму интегрального значения коэффициента полезного действия и по минимуму потерь денежных средств при трансформации электроэнергии. Согласно предложенной методике поведена оценка ущерба при отклонении коэффициента загрузки трансформатора от оптимальных значений, для чего рассчитаны относительные потери электрической энергии. Полученные результаты при оценивании энергетической и финансово-экономической эффективности показывают, что при завышении коэффициента загрузки относительно оптимальных значений гораздо предпочтительнее их завышение, чем занижение. Достоверность результатов подтверждается удовлетворительным совпадением расчетных результатов с экспериментальными данными, полученными на действующем энергопредприятии.

Ключевые слова: качество электроэнергии, силовой трансформатор, коэффициент загрузки трансформатора, стоимость трансформации электроэнергии, надежность

The aim of the study is to develop a methodology for assessing economic damage when the transformer load factor deviates. In the process of research, a method was used to determine the optimal load of a power transformer. A method for assessing economic damage in case of a deviation of its load factor has been developed. The optimal load factor of a power transformer has been determined according to the criterion of the minimum cost of money for the transformation of electrical energy. The load level of power transformers can be assessed by two criteria: by the maximum integral value of the efficiency and by the minimum loss of money during the transformation of electricity. According to the proposed methodology, the assessment of damage is carried out when the load factor of the transformer deviates from the optimal values, for which the relative losses of electrical energy are calculated. The results obtained when evaluating energy and financial and economic efficiency show that when the load factor is overestimated relative to the optimal values, it is much more preferable to overestimate than underestimate. The reliability of the results is confirmed by the satisfactory agreement of the calculated results with the experimental data obtained at the operating power plant.

Keywords: power quality, power transformer, transformer load factor, cost of power transformation, reliability

При решении актуальных задач в области электроэнергетики следует принимать во внимание специфику электрической энергии, которую можно рассмотреть как товар, который представляют энергетические предприятия. Электрическая энергия (ЭЭ) – это единственный вид продукции, для перемещения которого от места производства до места его потребления не требуется применения других ресурсов. В результате расходуется часть передаваемой ЭЭ, поэтому неизбежны технические потери.

Основная задача состоит в определении экономически обоснованного уровня этих потерь.

Еще одной важной и актуальной задачей является качество электрической энергии. Качество ЭЭ в сетях общего назначения по большинству показателей характеризуется техническими характеристиками и режимами работы электроприемников потребителей ЭЭ. Довольно сложно привести пример другого вида продукции, качество которого может быть ухудшено покупателем еще до ее поставки [1, 2].

В настоящее время энергетические компании имеют дело с возрастающим количеством электрических нагрузок, ухудшающих качество электроэнергии в сети, как на бытовом, так и на промышленном уровне, а также с активной деятельностью по стандартизации качества электроэнергии [3–5]. Последняя тенденция весьма неоднозначна, так как на начальном этапе она приводит к штрафным санкциям по отношению к производителям и даже к потребителям, в то время как организации, занятые распределением энергии, как правило, не несут никакой ответственности в отношении мощности короткого замыкания или структуры полного сопротивления сети [6–8].

Современное оборудование, применяемое на промышленных и коммерческих объектах, более чувствительно к нарушениям качества электроэнергии, чем оборудование, применявшееся в прошлом веке. Оборудование, содержащее микропроцессорные средства управления и силовые электронные устройства, вычислительные машины, системы автоматизации управления, приводы с регулируемой скоростью вращения, могут быть чувствительны ко многим видам помех, кроме фактических прерываний. Процессы и оборудование стали более взаимосвязанными, что может сделать их более уязвимыми к выходу из строя одного компонента. Неисправность оборудования или неправильное управление важным процессом может влиять на непрерывность производства, приводя к материальным потерям [9–11].

1. Методы исследования

Согласно требованиям ГОСТ 32144 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», синусоидальность характеризуется следующими показателями:

- а) коэффициент искажения синусоидальности;
- б) коэффициент n гармонической составляющей.

Оптимальные уровни потерь в сетях районной энергетической системы могут быть обеспечены только при определенных режимах работы их отдельных элементов. Для этого необходимо поддерживать оптимальную загрузку данных элементов, в частности силовых трансформаторов (СТ).

Под оптимальной нагрузкой понимается величина, адекватная принятому критерию. Уровень загрузки силовых трансформаторов можно оценивать по следующим критериям:

- 1) по максимуму интегрального значения коэффициента полезного действия (КПД);
- 2) по минимуму потерь денежных средств при трансформации электроэнергии.

Расчет интегрального значения КПД может быть произведен по выражению [12]:

$$\eta_{WM} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{W_2}{W_2 + \Delta W}, \quad (1)$$

где W_1 – расход электрической энергии на первичной обмотке трансформатора, кВт·ч; W_2 – расход электрической энергии на вторичной обмотке трансформатора, кВт·ч (рис. 1).



Рис. 1. Расход электрической энергии на первичной и вторичной обмотках трансформатора

Расход электрической энергии на вторичной обмотке трансформатора определяется по выражению [13]:

$$W_2 = S_H \cdot \cos\phi_{2H} \cdot \left(\frac{S_M}{S_H}\right)^2 \cdot T_M, \quad (2)$$

где S_M – максимальная полная мощность, кВт·А; S_H – номинальная мощность ($S_H = \kappa_{WM}$), кВт·А; $\cos\phi_{2H}$ – коэффициент активной мощности; T_M – количество часов в расчетном периоде при определении объема потребления электрической энергии (мощности), ч.

Потери электрической энергии в трансформаторе за расчетный период могут быть найдены из формулы [13]:

$$\Delta W = \Delta P_x \cdot T + \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_M}{S_H}\right)^2 \cdot \tau, \quad (3)$$

где τ – время максимальных потерь, ч, определяется из выражения (4) [13]; ΔP_x – потери мощности холостого хода, кВт; ΔP_k – потери мощности короткого замыкания, кВт; T – период.

$$\tau = \left(0,124 + \left[\frac{T_M}{10^4}\right]\right)^2 \cdot 8760 \text{ ч.} \quad (4)$$

Минимальные потери денежных средств при трансформации электрической энергии определяются по выражению [12]:

$$\eta_{WM} = \frac{S_H \cdot \kappa_{WM} \cdot \cos\phi_{2M} \cdot T_M}{S_H \cdot \kappa_{WM} \cdot \cos\phi_{2M} \cdot T_M + \Delta P_x \cdot T + \Delta P_k \cdot \kappa_{Wn}^2 \cdot \tau}. \quad (5)$$

Оптимальное значение коэффициента загрузки, отвечающее оптимальной величине КПД, определяется по формуле [12]:

$$\frac{\partial \eta_{Wn}}{\partial K_{Wn}} = 0. \tag{6}$$

Оптимальная загрузка трансформатора из условия минимальных потерь денежных средств при трансформации ЭЭ определяется по формуле [13]:

$$K_{WM}^{opt} = \sqrt{\frac{\Delta P_x \cdot T}{\Delta P_k \cdot \tau}}. \tag{7}$$

Расход денежных средств на трансформацию определяется из выражения [12]:

$$C_T = P_T \cdot K_T + \Delta P_x \cdot T \cdot C_3 + C_3 \cdot \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_M}{S_H}\right)^2 \cdot \tau. \tag{8}$$

где P_T – коэффициент дисконтирования, %; K_T – стоимость трансформатора, руб.; C_3 – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб./кВт·ч.

Относительная стоимость трансформации электроэнергии рассчитывается по формуле [13]:

$$\eta_{CM} = \frac{S_H \cdot K_{CM} \cdot \cos \phi \cdot T_M \cdot C_3}{S_H \cdot K_{CM} \cdot \cos \phi \cdot T_M \cdot C_3 + P_T \cdot K_T + \Delta P_x \cdot T \cdot C_3 + \Delta P_k \cdot K_{CM}^2 \cdot \tau \cdot C_3}, \tag{9}$$

где K_{CM} – коэффициент загрузки, определяемый из условия минимальной стоимости трансформации электроэнергии.

Оптимальная загрузка трансформатора из условия минимальной стоимости трансформации ЭЭ определяется из выражения [12]:

$$K_{CM}^{opt} = \sqrt{\frac{P_T \cdot K_T + C_3 \cdot \Delta P_x \cdot T}{C_3 \cdot \Delta P_k \cdot \tau}}. \tag{10}$$

Оценка ущерба при отклонении коэффициента загрузки K_{CM}^{opt} , K_{WM}^{opt} от оптимальных значений рассчитывается по формуле [13]:

$$\Delta W^* = \frac{\Delta P_x \cdot T + \Delta P_k \cdot K_{WM}^2 \cdot \tau}{S_H \cdot K_{WM} \cdot \cos \phi_{2M} \cdot T_M}. \tag{11}$$

Относительные затраты на трансформацию электроэнергии рассчитываются по выражению [13]:

$$C_T^* = \frac{P_T \cdot K_T + \Delta P_x \cdot T \cdot C_3 + C_3 \cdot \Delta P_k \cdot \left(\frac{S_M}{S_H}\right)^2 \cdot \tau}{S_H \cdot K_{CM} \cdot \cos \phi_{2M} \cdot T_M \cdot C_3}. \tag{12}$$

2. Результаты исследования

Для понимания описанной методики проведен расчет коэффициента загрузки трансформатора (табл. 1).

Таблица 1

Значения коэффициентов загрузки

K_{WM}, K_{CM}	0	0,002	0,004	0,006	0,008	0,01	0,02	0,03
0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,2	0,3
0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	-	-

Принятые исходные данные, взятые на действующем энергопредприятии: трансформатор ТМ-400; $S_H=400$ кВ·А; $P_T=0,161$ Вт; $T=8000$ ч; $C_3=0,565$ руб./кВт·ч; $\cos \phi_{2M}=0,8$; $C_T=72,65$ руб.; $T_M=4923$ ч.

Согласно выражению (4) определяется время максимальных потерь:

$$\tau = (0,124 + \frac{4923}{10^4})^2 \cdot 8760 = 3413,121 \text{ ч.}$$

По выражению (5) определяются минимальные потери денежных средств при трансформации ЭЭ:

$$\eta_{WM(0,002)} = \frac{400 \cdot 0,002 \cdot 0,8 \cdot 4923}{400 \cdot 0,002 \cdot 0,8 \cdot 4923 + 1,05 \cdot 8000 + 5,5 \cdot 0,002^2 \cdot 3413,121} \cdot 100\% = 27,277 \, \%. \tag{13}$$

Относительная стоимость трансформации ЭЭ рассчитывается по формуле (9).

$$\eta_{CM(0,002)} = \frac{400 \cdot 0,002 \cdot 0,8 \cdot 0,565}{400 \cdot 0,002 \cdot 0,8 \cdot 4923 \cdot 0,565 + 0,231 \cdot 29060 + 1,05 \cdot 8000 \cdot 0,565 + 5,5 \cdot 0,002^2 \cdot 3413,121 \cdot 0,565} \cdot 100\% = 15,857 \, \%.$$

Полученные значения η_{WM} , η_{CM} сводятся в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость минимальных потерь денежных средств при трансформации ЭЭ от относительной стоимости трансформации ЭЭ

№ п/п	η_{WM} %	η_{CM} %
1	0	0
2	27,277	15,857
3	42,861	27,329
4	52,944	36,014
5	60,002	42,817
6	65,217	48,291
7	78,936	64,878
8	84,882	73,267
9	88,200	78,331
10	90,314	81,720
11	91,778	84,147
12	92,849	85,971
13	93,667	87,391
14	94,311	88,529
15	94,830	89,461
16	97,177	93,909
17	97,909	95,491
18	98,222	96,303
19	98,364	96,796
20	98,421	97,128
21	98,429	97,366
22	98,406	97,546
23	98,362	97,686
24	98,304	97,799

Согласно полученным данным табл. 2, на рис. 2 построен график зависимости $\eta_{WM} = \eta_{WM}(\kappa_{WM})$. Согласно полученным данным табл. 2, на рис. 3 построен график зависимости $\eta_{CM} = \eta_{CM}(\kappa_{CM})$.

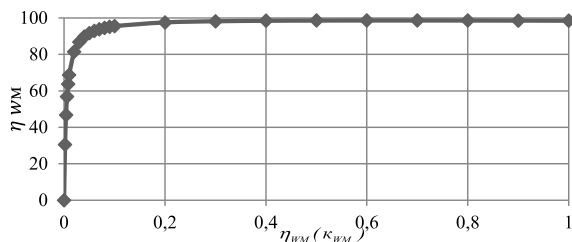


Рис. 2. Зависимость времени максимальных потерь от коэффициента загрузки трансформатора

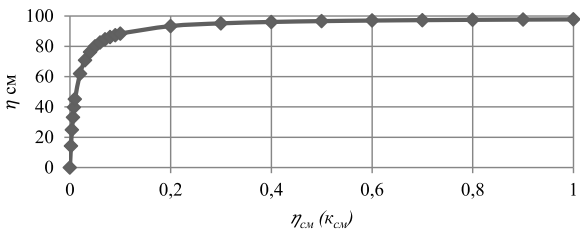


Рис. 3. Зависимость стоимости трансформации ЭЭ от коэффициента загрузки трансформатора

По формуле (7) определяется коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_{WM}^{OPT} = \sqrt{\frac{1,05 \cdot 8000}{5,5 \cdot 3413,121}} = 0,669 \text{ о.е.}$$

По выражению (10) определяется коэффициент загрузки трансформатора, определяемый из условия минимальной стоимости трансформации ЭЭ:

$$K_{CM}^{OPT} = \sqrt{\frac{0,161 \cdot 29060 + 0,565 \cdot 1,05 \cdot 8000}{0,565 \cdot 5,5 \cdot 3413,121}} = 0,943 \text{ о.е.}$$

После преобразования формул (7) и (10) получается зависимость:

$$K_{WM}^{OPT} = K_{WM}^{OPT}(T_M), K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(T_M),$$
$$K_{WM}^{OPT} = \sqrt{\frac{1,05 \cdot 8000}{5,5 \cdot 3413,121}} \cdot \frac{1}{(0,124 + \frac{8000}{10^4})} = 1,578 \text{ о.е.}$$
$$K_{CM}^{OPT} = \sqrt{\frac{0,161 \cdot 29060 + 0,565 \cdot 1,05 \cdot 8000}{5,5 \cdot 3413,121 \cdot 8760}} \cdot \frac{1}{(0,124 + \frac{8000}{10^4})} = 0,019 \text{ о.е.}$$

Далее считается зависимость $K_{WM}^{OPT} = K_{WM}^{OPT}(T_M)$; $K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(T_M)$ – 7 раз для каждого количества часов в расчетном периоде при определении объема потребления ЭЭ (T_M принимаем не менее 3000 ч с шагом 500 ч.).

Таблица 3

Зависимость $K_{WM}^{OPT} = K_{WM}^{OPT}(T_M)$, $K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(T_M)$

№ п/п	T_M , ч	K_{WM}^{OPT} , о. е.	K_{CM}^{OPT} , о. е.
1	3000	1,578	0,019
2	3500	1,411	0,015
3	4000	1,276	0,014
4	4500	1,165	0,013
5	5000	1,072	0,012
6	5500	0,992	0,011
7	6000	0,923	0,010

Согласно полученным данным табл. 3, на рис. 4 построен график зависимости $K_{WM}^{OPT} = K_{WM}^{OPT}(T_M)$.

Согласно полученным данным табл. 3, на рис. 5 построен график зависимости $K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(T_M)$.

После преобразования формул (7) и (10) получается зависимость

$$K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(C_Э) \quad K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(P_T)$$
$$K_{CM}^{OPT}(C_Э) = \sqrt{\frac{0,161 \cdot 29060 + 0,1 \cdot 1,05 \cdot 8000}{0,1 \cdot 5,5 \cdot 3413,122}} = 1,523 \text{ о.е.}$$
$$K_{CM}^{OPT}(P_T) = \sqrt{\frac{0,1 \cdot 29060 + 0,565 \cdot 1,05 \cdot 8000}{0,565 \cdot 5,5 \cdot 3413,122}} = 0,849 \text{ о.е.}$$

Зависимость $K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(C_Э)$ считается для 9 значений, зависимость $K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(P_T)$ считается для 6 значений ($C_Э$ принимается от 0,1 – 1,7 руб./кВт·ч с шагом 0,2 руб./кВт·ч; P_T принимается от 0,1 – 0,35 % с шагом 0,05 %).

Согласно полученным данным табл. 4, на рис. 6 построен график зависимости $K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(C_Э)$.

Согласно полученным данным табл. 4, на рис. 7 построен график зависимости $K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(P_T)$.

Согласно выражению (11), проведена оценка ущерба при отклонении коэффициента загрузки трансформатора K_{CM}^{OPT} , K_{WM}^{OPT} от оптимальных значений, для этого рассчитаны относительные потери энергии при значениях: 0,25; K_{WM}^{OPT} ; 0,9.

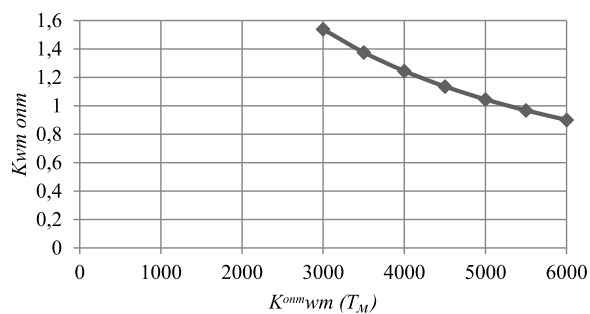


Рис. 4. Зависимость коэффициента загрузки трансформатора от количества часов в расчетном периоде при определении объема потребления ЭЭ

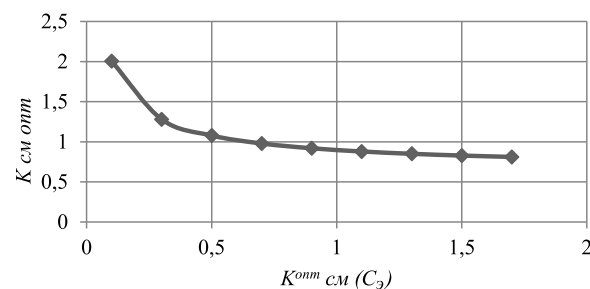


Рис. 6. Зависимость коэффициента загрузки от стоимости 1 кВт·ч ЭЭ

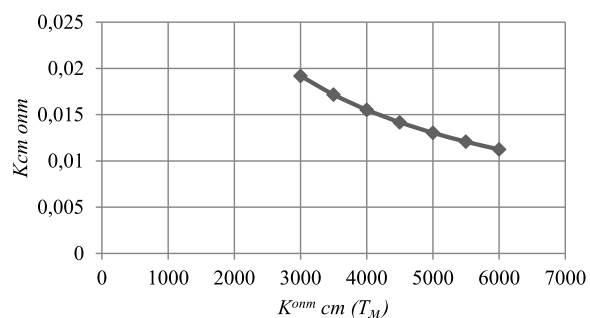


Рис. 5. Зависимость коэффициента загрузки от количества часов в расчетном периоде

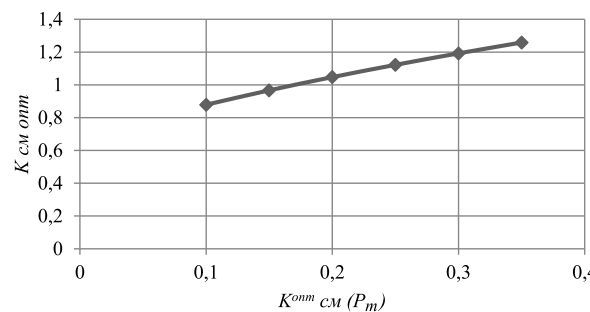


Рис. 7. Зависимость коэффициента загрузки, определяемого из условия минимальной стоимости трансформации ЭЭ от коэффициента дисконтирования

Таблица 4

Зависимость $K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(C_3)$, $K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(P_m)$				
№ п/п	C_3 , руб./кВт·ч	$K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(C_3)$, о.е.	P_m , %	$K_{CM}^{OPT} = K_{CM}^{OPT}(P_m)$, о.е.
1	0,1	1,523	0,1	0,849
2	0,3	1,035	0,15	0,926
3	0,5	0,906	0,2	0,997
4	0,7	0,845	0,25	1,064
5	0,9	0,809	0,3	1,126
6	1,1	0,785	0,35	1,185
7	1,3	0,769	-	-
8	1,5	0,756	-	-
9	1,7	0,746	-	-

$$\Delta W^* = \frac{1,05 \cdot 8000 + 5,5 \cdot 0,25^2 \cdot 3413,12}{400 \cdot 0,25 \cdot 0,8 \cdot 4923} = 0,024 \text{ тыс. кВт·ч.}$$
$$\Delta W^* = \frac{1,05 \cdot 8000 + 5,5 \cdot 0,669^2 \cdot 3413,12}{400 \cdot 0,669 \cdot 0,8 \cdot 4923} = 0,016 \text{ тыс. кВт·ч.}$$
$$\Delta W^* = \frac{1,05 \cdot 8000 + 5,5 \cdot 0,9^2 \cdot 3413,12}{400 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 4923} = 0,017 \text{ тыс. кВт·ч.}$$

Кроме того, определены относительные затраты на трансформацию электроэнергии при 0,25; K_{WM}^{OPT} ; 1 по выражению (12).

$$C_T^* (0,25) = 0,090 \text{ руб.};$$

$$C_T^* (K_{CM}^{OPT}) = 0,020 \text{ руб.};$$

$$C_T^* (1) = 0,023 \text{ руб.}$$

Выводы. 1. Оптимальный коэффициент загрузки трансформатора по критерию максимума интегрального КПД равен 0,669 о.е., оптимальный коэффициент загрузки трансформатора по критерию минимума затрат денежных средств на трансформацию ЭЭ равен 1,094, следовательно, в целях экономии затрат на трансформацию необходимо обеспечивать максимальную загрузку трансформатора.

2. При уменьшении количества часов при определении объема потребления ЭЭ (T_m) значение оптимальной загрузки трансформатора из условия минимальных потерь денежных средств при трансформации ЭЭ и оптимальная загрузка трансформатора из условия минимальной стоимости трансформации ЭЭ увеличиваются, например, при $T_m=4000$ часов, $K_{WM}^{OPT}=1,276$; $K_{CM}^{OPT}=0,014$, а при $T_m=4500$ ч, $K_{WM}^{OPT}=1,165$; $K_{CM}^{OPT}=0,013$. Что может говорить об экономической выгоде предприятия.

3. При увеличении стоимости ЭЭ величина K_{CM}^{OPT} уменьшается, при $C_3=0,1$ руб./кВт·ч оптимальный коэффициент загрузки становится равным 1,523 о.е., а при $C_3=0,3$ руб./кВт·ч $K_{CM}^{OPT}(C_3)=1,035$ о.е. С точки зрения энергетической и финансово-экономической эффективности завышение коэффициента загрузки против оптимальных значений гораздо предпочтительнее, чем их занижение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белицын И. В., Голомонзин Д.Ю. Компенсация реактивной мощности как средство повышения качества электрической энергии // Евразийское Научное Объединение. 2020. № 2. С. 84–86.
2. Севостьянов А. А. Способ анализа качества электрической энергии в трехфазной системе промышленного электроснабжения // Интеллектуальная электротехника. 2020. № 3. С. 4–5. DOI 10.46960/2658-6754_2020_3_4.
3. Сошинов А.Г., Айсина Т.Х. Наиболее часто встречающиеся нарушения нормативных показателей качества электрической энергии в электрических сетях // Оперативное управление в электроэнергетике: подготовка персонала и поддержание его квалификации. 2021. № 1. С. 28–32.
4. Коверникова Л.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Н. Качество электроэнергии в ЕЭС России: Текущие проблемы и необходимые решения // Электроэнергия: передача и распределение. 2016. № 2(35). С. 28–38.
5. Дворкин Д. В., Силаев М. А., Тульский В. Н., Палис Ш. Проблемы оценки вклада потребителя в искажение качества электроэнергии // Электричество. 2017. № 7. С. 12–18.

6. Ивакин В.Н., Ковалев В.Д., Магницкий А.А. Нормирование энергоэффективности распределительных трансформаторов // Энергия единой сети. 2017. № 5 (34). С. 20–31.

7. Коверникова Л.И., Серков А.В., Шамонов Р.Г. Об управлении качеством электрической энергии в России в прошлом, настоящем и будущем // Энергетическая политика. 2018. № 1. С. 75–85.

8. Ye G. Power Quality in Distribution Networks: Estimation and Measurement of Harmonic Distortion and Voltage Dips // Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven. 2017. Pp.155.

9. Качество электрической энергии: современное состояние, проблемы и предложения по их решению / Л.И. Коверникова, В.В. Суднова, Р.Г. Шамонов и др.; отв. ред. Н.И. Воропай. Новосибирск: Наука, 2017. 219 с.

10. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, in IEEE Std 519-2018. М., 2018. С. 1–29.

11. Ахметбаев Д.С., Ахметбаев А.Д. Системный подход к определению коэффициентов трансформации трансформаторов распределительных сетей // Управление качеством электрической энергии: сборник трудов Международной научно-практической конференции. (Москва, 05–07 декабря 2018 г.). М., 2018. С. 27–34.

12. Кулдин Н.А. Трансформаторы / Петрозаводский ГУ. Петрозаводск, 2011. 38 с.

13. Инструкция по организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям (утв. приказом Минэнерго РФ от 30 декабря 2008 г. № 326).

REFERENCES

1. Belicyn I. V., Golomonzin D.Ju. Reactive power compensation as a means of improving the quality of electrical energy. *Evrasijskoe Nauchnoe Obiedinenie* [Eurasian Scientific Association], 2020, no. 2, pp. 84-86. (in Russian)
2. Sevost'janov A. A. Method for analyzing the quality of electrical energy in a three-phase industrial power supply system. *Intellektual'naja jelektrotehnika* [Intelligent Electrical Engineering], 2020, no. 3, pp. 4-15. DOI 10.46960/2658-6754_2020_3_4. (in Russian)
3. Soshinov, A.G., Ajsina T.H. The most common violations of the normative indicators of the quality of electrical energy in electrical networks. *Operativnoe upravlenie v jelektroenergetike: podgotovka personala i podderzhanie ego kvalifikacii* [Operational management in the electric power industry: training of personnel and maintaining their qualifications], 2021, no. 1, pp. 28-32. (in Russian)
4. Kovernikova L.I., Tul'skij V.N., Shamonov R.N. Electricity quality in the UES of Russia: Current problems and necessary solutions. *Jelektroenergija: Peredacha i raspredelenie* [Electricity: transmission and distribution], 2016, no. 2(35), pp. 28–38. (in Russian)

5. Dvorkin D. V., Silaev M. A., Tul'skij V. N., Palis Sh. Problems of assessing the consumer's contribution to the distortion of the quality of electricity. *Elektrichestvo* [Electricity], 2017, no. 7, pp.12-18. (in Russian)
6. Ivakin V.N., Kovalev V.D., Magnickij A.A. Energy efficiency regulation of distribution transformers. *Jenergija edinoj seti* [Energy of a single network], 2017, no. 5 (34), pp. 20-31. (in Russian)
7. Kovernikova L.I., Serkov A.V., Shamonov R.G. On the management of the quality of electrical energy in Russia in the past, present and future. *Jenergeticheskaja politika* [Energy Policy], 2018, no. 1, pp. 75–85. (in Russian)
8. Ye G. Power Quality in Distribution Networks: Estimation and Measurement of Harmonic Distortion and Voltage Dips. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, 2017, p.155.
9. Kovernikova L.I., Sudnova V.V., Shamonov and all. *Kachestvo jelektricheskoy jenergii: sovremennoe sostojanie, problemy i predlozhenija po ih resheniju.; otv. red. N.I. Voropaj* [The quality of electrical energy: current state, problems and proposals for their solution / ed. N.I. Voropay]. Novosibirsk, Nauka, 2017. 219 p.
10. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, in IEEE Std 519-2018, 2018, pp.1-29.
11. Ahmetbaev D.S., Ahmetbaev A.D. A systematic approach to determining the transformation ratios of distribution network transformers. *Upravlenie kachestvom jelektricheskoy jenergii: Sbornik trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Moskva, 05–07.12. 2018)* [Electricity quality management: collection of proceedings of the International Scientific and Practical Conference. (Moscow, 05-07 December 2018)], 2018, pp. 27-34. (in Russian)
12. N. A. Kuldin. *Transformatory: Ucheb. Posobie* [Transformers: Tutorial]. Petrozavodsk, Petr GU, 2011. 38 p.
13. *Instrukcija po organizacii v Ministerstve jenergetiki Rossijskoj Federacii raboty po raschetu i obosnovaniju normativov tehnologicheskikh poter' jelektrojenergii pri ee peredache po jelektricheskim setjam (utv. prikazom Minjenergo RF ot 30 dekabrya 2008 g. N 326)* [Instructions for organizing in the Ministry of Energy of the Russian Federation work on the calculation and substantiation of standards for technological losses of electricity during its transmission through electric grids (approved by order of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. 326 dated December 30, 2008)].

Об авторах:

ЛУКОВЕНКО Антон Сергеевич

кандидат технических наук
электромонтер по обслуживанию ПС 220 кВ Тайга
Филиал ПАО «ФСК ЕЭС» – Красноярское
предприятие МЭС Сибири
660111, Россия, г. Красноярск,
ул. Пограничников, 105, стр. 5
E-mail: anlukov2.0@mail.ru

LUKOVENKO Anton S.

PhD, Maintenance Electrician at SS 220 kV Taiga
Branch of PJSC “FGC UES” - Krasnoyarsk enterprise
of backbone electrical networks
660111, Russia, Krasnoyarsk, Pogranichnikov str., 105, 5
E-mail: anlukov2.0@mail.ru

Для цитирования: Луковенко А.С. Методика оценки экономического ущерба при отклонении коэффициента загрузки трансформатора // Градостроительство и архитектура. 2021. Т.11, № 3. С. 168–175. DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.22.

For citation: Lukovenko A.S. Economic Damage Assessment Methodology in Case of Transformer Load Ratio Deviation. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 168–175. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2021.03.22.

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ

Прием статей для публикации в научно-техническом журнале «Градостроительство и архитектура» осуществляется в постоянном режиме.

1. В редакцию журнала необходимо вместе с рукописью статьи представить следующие документы:

Сопроводительное письмо, подписанное руководителем организации, откуда исходит рукопись. Для аспирантов, соискателей и работников СамГТУ сопроводительное письмо представлять не требуется. Выписка из протокола заседания кафедры о публикации статьи в журнале.

Экспертное заключение о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись.

Внешняя рецензия, заверенная по месту работы рецензента.

Лицензионный договор.

2. Общие требования к оформлению документа:

Формат страницы – А4, ориентация книжная

Шрифт текста рукописи – Times New Roman
Сур, размер 14pt

Междустрочный интервал – 1,5

Общий объем рукописи (включая иллюстрации и таблицы) – 8–15 страниц формата А4.

Формулы следует набирать с использованием редакторов формул MathType 6 или MS Equation 3.0. Формула не должна содержать промежуточные преобразования.

Иллюстрации выполняются черно-белыми (с хорошей проработкой деталей) в программах Corel Draw (с расширением *.cdr) или других редакторах (с расширением *.jpeg или *.tiff).

Библиографический список размещается в конце текста статьи, нумерация дается в порядке последовательности ссылок. На все литературные источники должны быть ссылки в тексте [в квадратных скобках]. При ссылках на нормативные документы (СНиПы, ГОСТы) номер и название документа указываются непосредственно в тексте статьи (в круглых скобках). Библиографический список должен быть оформлен по ГОСТ Р 7.0.5-2008.

3. Структура размещения основных частей статьи:

индекс УДК

инициалы, фамилии авторов

название статьи на русском языке

название статьи на английском языке

аннотация на русском языке (не менее 10 строк)

аннотация статьи на английском языке

ключевые слова на русском языке (до 10 словосочетаний)

ключевые слова на английском языке

текст статьи (предпочтительно с выводами)

библиографический список (не менее 5 наименований)

библиографический список на транслитерации (References)

полные сведения об авторе(ах) на русском языке: фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание, должность, контактные телефоны (с кодом города), e-mail автора(ов); наименование организации (с указанием почтового адреса учреждения), в которых работает автор(ы), на русском языке

полные сведения об авторе(ах) на английском языке (см. выше)

4. Рукописи, не соответствующие требованиям редакции, не рецензируются, не публикуются и не возвращаются авторам

5. Публикации в журнале подлежат только оригинальные статьи, соответствующие тематическим направлениям журнала и ранее не публиковавшиеся в других изданиях.

6. При положительном решении редакции об опубликовании научной статьи с автором(ами) заключается лицензионный договор. Вознаграждение (гонорар) за опубликованные научные статьи не выплачивается.

7. Редакция имеет право представлять материалы научных статей в российские и зарубежные организации, обеспечивающие индексы научного цитирования, а также размещать данные материалы на интернет-сайте журнала <http://journal.samgasu.ru>.

8. Авторский коллектив несет ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права или «ноу-хау» в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

9. Авторские права на каждый номер журнала (в целом) принадлежат учредителю журнала – СамГТУ. Перепечатка материалов журнала без разрешения редакции запрещена, ссылки на журнал при цитировании обязательны.

Материалы научной статьи (рукопись статьи и сопроводительные документы к ней в печатном виде) должны быть отправлены по почте или доставлены лично по адресу: Россия, 443001, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 194, Академия строительства и архитектуры, Самарский государственный технический университет. Редакция журнала «Градостроительство и архитектура» (каб. 307).

По всем вопросам, связанным с публикацией статей в журнале «Градостроительство и архитектура», обращаться к отв. секретарю Досковской Марии Сергеевне по тел. (846) 242-36-98, E-mail: vestniksgasu@yandex.ru, uc-arch@yandex.ru.