

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

ISSN 2542-0151

№ 3 Т. 9
2019

URBAN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



САМАРА

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

ISSN 2542-0151

ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

URBAN CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Т.9, № 3

САМАРА
2019

УДК 71+72

Градостроительство и архитектура=Urban construction and architecture. 2019. Т.9, № 3. 180 с.

Учредитель:

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия:

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

Н.Д. ПОТИЕНКО, к. арх., доцент
В.А. СЕЛЕЗНЕВ, д.т.н., профессор (Тольятти)
С.В. СТЕПАНОВ, д.т.н., доцент
А.И. ХЛЫСТОВ, д.т.н., профессор
К.Л. ЧЕРТЕС, д.т.н., профессор
Н.Г. ЧУМАЧЕНКО, д.т.н., профессор
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 STVUH 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

И.И. АРТЮКHOV, D. Eng., Prof. (Saratov)
Е.А. AKHMEDOVA, D. Arch., Prof.
Y.P. BOCHAROV, D. Arch., Prof. (Moscow)
A.L. VASILYEV D. Eng., Ass. Prof. (N. Novgorod)
V.V. VAKHINA, D. Eng., Prof. (Tolyatti)
S.Ya. GALITSKOV, D. Eng., Prof.
A.L. GELFOND, D. Arch., Prof. (N. Novgorod)
V.P. GENERALOV, PhD in Architecture, Prof.
A.I. DANILUSHKIN, D. Eng., Prof.
V.N. ELISTRATOV, D. Eng., Prof. (Sa. Petersburg)
V.N. ZENTSOV, D. Eng., Prof. (Ufa)
T.V. KARAKOVA, D. Arch., Prof.
A.A. KUDINOV, D. Eng., Prof.
I.V. LIPATOV, D. Eng., Ass. Prof. (N. Novgorod)
G.V. MURASHKIN, D. Eng., Prof. (Tolyatti)
V.D. NAZAROV, D. Eng., Prof. (Ufa)

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

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

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

в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций

на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

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

Каждой статье присваивается идентификатор цифрового объекта DOI

Индекс журнала в каталоге Агентства «Роспечать»: 70570

Научное издание

Редактор Г.Ф. Коноплина

Корректор М.В. Веселова

На обложке фото Евгения Нектаркина

Подписано в печать 27.09.2019 г. Формат 60х90 1/8. Бумага офсетная.

Печать офсетная. Печ. л. 22,5. Тираж 300 экз. Заказ № 1822

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

Телефоны: (846) 278-44-81, (846) 339-14-33

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

Отпечатано в типографии ООО «Слово»:

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

Содержание

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА		ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ		92	Михасек А. А., Малюгин Н. Р. Влияние фильтрации в теле активного берегозащитного сооружения на характеристики обтекающего потока
4	Алексеев В. Н., Жиленко О. Б. Прогнозная оценка сейсмостойкости незавершенных строительством объектов недвижимости	ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
12	Панфилов Д. А., Ильин Н. А., Мордовский С. С., Бузовская Я. А. Экспериментальная установка для испытания на изгиб железобетонных балочных элементов	99	Давиденко А. Ю., Попов В. П., Попов Д. В. Кинетические характеристики процессов разрушения как критерии долговечности бетона
17	Селяев В. П., Киселёв Н. Н., Дияскин О. В. Диаграммы деформирования вакуумных изоляционных панелей при сжатии	106	Зорина М. А., Рязанова Г. Н., Алпатов В. Ю. Оптимизация организационных и технологических решений при проектировании стройгенпланов на возведение и реконструкцию зданий в стесненных условиях строительной площадки
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ		АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
22	Дегтярёв К. Ю., Зотов Н. С., Минкина С. А., Черноброва Е. А. Выбор вида жидкого топлива для котельной	113	Вавилова Т. Я. Обзор современных зарубежных концепций экологизации среды жизнедеятельности
33	Осипова Н. Н., Бычкова И. М. Исследование тепловой интерференции элементов грунтового теплообменника в электролитической ванне	126	Володина Н. Н., Цацына Д. Е. Реконструкция и восстановление культурно-исторической основы территории, утратившей градообразующую функцию
40	Посашков М. В., Немченко В. И. Системный подход к моделированию автоматизированной системы контроля и учета тепловой энергии	135	Жданова И. В., Кузнецова А. А., Калинин Н. А. Современные тенденции очистки воздуха с помощью небоскрёбов
50	Сапарёв М. Е., Вытчиков Ю. С., Прилепский А. С., Урядов М. И. Исследование влияния плотности монолитного керамзитобетона на энергоэффективность зданий, эксплуатируемых в условиях переменного теплового режима	ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. ПЛАНИРОВКА СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ	
56	Чиркова Е. В. Использование теплоты солнечной энергии	143	Рыбакова Д. С., Федотов А. С. Рефункционализация как один из главных аспектов реабилитации городских территорий, нарушенных промышленной деятельностью
63	Ярцев Д. С., Цынаева А. А. Исследование работы систем вентиляции и кондиционирования торгового центра	151	Сембин М. С., Суранкулов Ш. Ж., Ахмедова Е. А. Проблемы модернизации развития городского сельского хозяйства в южных регионах России и Северного Казахстана
ВОДОСНАБЖЕНИЕ, КАНАЛИЗАЦИЯ, СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ		159	Филанова Т. В. Инновации в транспорте и пути решения транспортных и экологических проблем в крупных городах
74	Халтурина Т. И., Орлова И. М., Чурбакова О. В. Экспериментальные исследования по влиянию коагулянтов Polypacs-30 LF, Polypacs-F, Polypacs-PFS и реагента, полученного из шлака, на свойства смешанного осадка маслоэмульсионных и кислотно-щелочных сточных вод	ЭНЕРГЕТИКА	
СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ		ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ	
85	Хлыстов А. И., Исаев Д. И. Фосфатное связывание минеральных тонкокомолотых отходов промышленности	167	Данилушкин А. И., Данилушкин И. А., Данилушкин В. А. Повышение эффективности электротехнического комплекса установки охлаждения газа на основе модернизации системы управления
		175	Земцов А. И. Повышение эффективности электроснабжения газокompрессорного цеха за счет формирования микросети на основе генераторов собственных нужд газоперекачивающих агрегатов

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ



УДК 699.841:721:624.94

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.1

В. Н. АЛЕКСЕЕНКО
О. Б. ЖИЛЕНКО

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ НЕЗАВЕРШЕННЫХ СТРОИТЕЛЬСТВОМ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

FORECASTING SEISMIC RESISTANCE
OF REAL ESTATE UNFINISHED CONSTRUCTION

Рассматривается проблема завершения строительства зданий, находившихся в недостроенном состоянии в течение ряда лет. Такие объекты нуждаются в прогнозной оценке их технического состояния и остаточной сейсмостойкости, которая выявляет реальное состояние конструкций и необходимость разработки инженерных решений по их усилению. Начавшуюся коррозию стали остановить невозможно, если не удалить полностью с поверхности стальных элементов продукты коррозии, защитив их затем антикоррозийными составами. Состояние конструкций, которое на первый взгляд не должно вызывать опасений, с течением ряда лет может ухудшиться. Восстановление защитных покрытий начавшей ржаветь стали может замедлить процесс коррозии, но не остановить его. В статье представлены результаты обследования незавершенного строительством здания на Черноморском побережье с прогнозной оценкой остаточной сейсмостойкости. Разработаны рекомендации по усилению несущих конструкций здания, позволяющие завершить строительство.

Ключевые слова: восстановление, усиление, коррозия, конструкции, здание

The article deals with the problem of completing the construction of buildings that have been in an unfinished state for a number of years. Such objects need a predictive assessment of their technical condition and residual seismic resistance, which reveals the real state of structures and the need to develop engineering solutions for their strengthening. The onset of corrosion of steel cannot be stopped if the corrosion products are not completely removed from the surface of the steel elements, then they are protected with anti-corrosion compounds. For structures whose condition at first glance should not cause concern over the years may deteriorate. The restoration of protective coatings on steel that has started to rust may slow down the corrosion process, but not stop it. The article presents the results of a survey of the unfinished construction of a building on the Black Sea coast with a forecast estimate of residual seismic resistance. Recommendations to strengthen the supporting structures of the building, allowing to complete the construction are developed.

Keywords: restoration, strengthening, corrosion, structures, building

Прибрежные морские зоны Российской Федерации – привлекательный район для нового строительства. При этом не все новые объекты возводятся и принимаются в эксплуатацию в установленные сроки. По различным причинам некоторые здания остаются недостроенными

и незаконсервированными в течение ряда лет, что существенно снижает их сейсмостойкость. Воздействие агрессивной окружающей среды приводит к преждевременной коррозии металлических элементов и разрушению материалов несущих конструкций. Незавер-

шенные строительством здания нуждаются в прогнозной оценке изменений технического состояния, влияющей на принятие решения о целесообразности разработки инженерных решений по их усилению или демонтажу.

Целью работы является оценка технического состояния и сейсмостойкости незавершенного строительством здания.

Рассматриваемое здание расположено на Черноморском побережье. Рельеф – с перепадом высот до 4,5 м, обустроенным подпорными стенами. Объект находится в климатическом районе со следующими характеристиками (СП 20.13330.2014 «Нагрузки и воздействия»): по весу снегового покрова – 0,8 кПа; по ветровому давлению – 0,5 кПа; климатический район строительства – IVB; расчётная зимняя температура наружного воздуха – минус 11 °С. Участок, на котором расположено здание, относится к району с 8-балльной расчётной сейсмичностью (СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах»).

Объект (рис. 1, 2) представляет собой незавершенное строительством четырехэтажное здание. Высота помещений цокольного этажа – 3,04 м, высота помещений остальных этажей одинакова и составляет 3,35 м.

Несущая система обследуемого здания – монолитный железобетонный каркас с монолитными безбалочными перекрытиями.

Фундаменты здания выполнены в виде монолитной железобетонной плиты. Высота сечения плиты составляет 400 мм. Армирование плиты выполнено двумя сетками из стержней Ø14 А400С с шагом 200 мм. Глубина заложения фундаментной плиты 1300 мм от уровня планировочной отметки в нижней части цокольного этажа. Прочность бетона фундаментной плиты (в зонах ее определения) соответствует классу по прочности на сжатие В20, прочность бетона банкетов под колонны – В25.

При проведении обследовательских работ в мае 2017 г. в помещении цокольного этажа в осях 11-12/А-Б наблюдалась стоячая вода без запаха, плесени, не замутненная, с уровнем до 500 мм. Зондаж фундаментной плиты в смежном помещении выявил переувлажненную грунтовую засыпку. В течение непродолжительного времени зондаж также заполнился водой. Однако, согласно отчету о инженерно-геологических изысканиях, уровень грунтовых вод не подтвержден на глубине до 10 м. Видимых проявлений неравномерных осадок фундаментной плиты в период обследования не установлено. Техническое состояние фундаментов оценивается как ограниченно-работоспособное.

Колонны здания выполнены монолитными железобетонными. Сечение колонн

круглое диаметром 500 мм. Прочность бетона колонн различна и соответствует классам по прочности на сжатие от В7.5 до В25 (рис. 3). Повсеместно колонны повреждены трещинами стволов, расположенных горизонтально и вертикально к продольной оси стволов. Наблюдаются каверны и раковины на поверхностях, что свидетельствует о нарушениях технологической дисциплины при бетонировании. Наблюдаются повреждения сопряжений капителей и плит перекрытий из-за дефектов бетонирования. Подкладки фрагментов крупного щебня

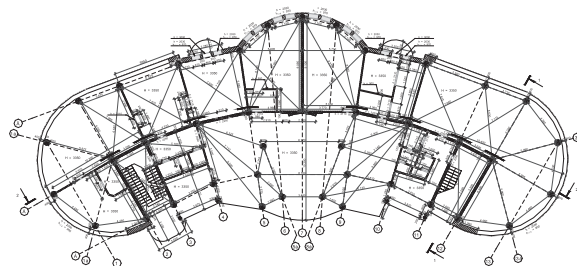


Рис. 1. План 1-го этажа незавершенного строительством здания



Рис. 2. Фрагмент фасада в осях А-В незавершенного строительством здания



Рис. 3. Вид колонн 3-го этажа незавершенного строительством здания

значительно ухудшили совместную работу элементов каркаса. Коррозия арматурных стержней отдельных колонн достигает 5 %. Вскрытие колонны первого этажа выявило стыковку арматурных стержней диаметром 28 и 25 мм при помощи коротышей и ручной дуговой сварки, что не допускается действующими нормами. В целях определения технической возможности подобной стыковки рабочих стержней колонн необходимо выполнить пространственный расчет несущей системы здания. Техническое состояние колонн диагностируется как ограниченно-работоспособное.

Перекрытия цокольного, первого и второго этажей выполнены монолитными железобетонными. Высота сечения перекрытия составляет от 194 до 200 мм. Прочность бетона, определенная неразрушающими методами, подтверждена контрольным испытанием методом отрыва со сколом. Выявлено соответствие прочности бетона верхней зоны плиты перекрытия цокольного и первого этажей классу по прочности на сжатие В15, второго этажа – В20. Прочность бетона нижней зоны перекрытия (в месте локального дефекта трещинообразованием и замачиванием) соответствует классу по прочности на сжатие В12.5-В15. Бетон «запесочен», что особенно явно наблюдается в нижней зоне монолитного перекрытия. Магнитоиндукционным методом и контрольными вскрытиями в зоне повреждения трещинами установлен диаметр рабочей арматуры Ø14 А400С, шаг 200 мм. Фактическое плечо внутренней пары сил (расстояние между центрами рабочей арматуры нижней и верхней арматурных сеток перекрытия) составляет 120 мм. Основным дефектом плит перекрытия является трещинообразование с шириной раскрытия трещин силового характера более допускаемой. Наблюдаются следы замачивания перекрытия атмосферными водами. Гигроскопичность железобетонного перекрытия, судя по значительным следам затекания атмосферных вод, в том числе через трещины, явно недостаточна. Кроме того, это свидетельствует о начале процессов сквозного нарушения целостности бетонного тела. Внешние ребра перекрытий повреждены вертикальными и горизонтальными трещинами, особенно явно это прослеживается в стене по оси В. Целесообразно в этих зонах заменить простенки из газобетона на монолитные железобетонные с устройством соединений с арматурными изделиями перекрытий. Техническое состояние перекрытий – ограниченно-работоспособное.

Стены здания выполнены кладкой из блоков автоклавного газобетона. Ширина сечения наружных стен составляет 400 мм. Продольные

наружные стены конструктивно устроены как ненесущее заполнение каркасной системы. На момент обследования следует констатировать отсутствие существенных физических повреждений этих стен. Однако визуально определяется отсутствие креплений к железобетонным конструкциям при помощи инвентарных цапф. Техническое состояние наружных стен – ограниченно-работоспособное.

Железобетонные диафрагмы выполнены из монолитного железобетона. Толщина диафрагм 200 мм, армирование выполнено двумя сетками из стержней Ø12 А400С, что в целом соответствует проектной документации. Прочность бетона диафрагм цокольного этажа соответствует классу по прочности на сжатие В20, первого этажа – В15, второго этажа – В20, третьего этажа – В20. Основным дефектом железобетонных диафрагм следует признать снижение проектной прочности бетона. Для оценки влияния этого дефекта на общую сейсмостойкость здания следует выполнить пространственный расчет несущей системы с учетом фактической прочности бетона конструкций, определенных обследованием. Техническое состояние диафрагм – ограниченно-работоспособное за исключением стены второго этажа по оси 3, находящейся в недопустимом состоянии (рис. 4).

Перегородки выполнены из кирпичной кладки толщиной 120 мм. Прочность кирпича соответствует марке по прочности на сжатие М75. Прочность цементно-песчаного раствора М50. Армирование перегородок установлено локально. Наблюдаются простенки, где армирование не обнаружено. Отсутствует закрепление перегородок к несущим железобетонным конструкциям цокольного этажа при помощи инвентарных цапф. Дверные проемы не обрамлены парными обоями из прокатной стали. Глубина опирания перемычек ряда дверных проемов менее допускаемых величин. Техническое состояние перегородок – ограниченно-работоспособное.

Внутренние лестницы в здании выполнены из монолитного железобетона. Ширина лестниц 1200 мм. Армирование лестниц, определенное магнитно-индукционным методом и подтвержденное визуальным контролем в зонах обнажения стержней, выявило соответствие проектной документации. Прочность бетона лестниц соответствует классу по прочности на сжатие В15. Основными дефектами лестниц следует признать дефекты бетонирования, определяемые некачественным вибрированием бетонной смеси: наличие каверн и пор на поверхности бетона; коррозия арматурных стержней в отдельных зонах достигает 7 %. Прочность бетона ниже заявленной в проек-

ной документации. Дефекты бетона в зонах сопряжений площадок и маршей в совокупности с коррозионными повреждениями арматурных стержней делают необходимым усиление лестничных конструкций устройством дополнительных косоуров из прокатной стали. Техническое состояние лестниц – ограниченно-работоспособное.

Для принятия взвешенного технического решения о способах усиления в целях дальнейшей достройки здания выполнен пространственный расчет несущей системы. В расчет введены фактические прочностные характеристики бетона и геометрические параметры конструкций здания, определенные в процессе проведения обследовательских работ. Исходные данные для расчета определены обследованием. Расчетами учтены железобетонная плита перекрытия третьего (мансардного) этажа (отсутствующая в период выполнения обследования) и легкая скатная крыша (также отсутствующая).

Расчет выполнен программным комплексом «ЛИРА-САПР 2014» (рис. 5). В основу расчета положен метод конечных элементов в перемещениях.

В результате расчета выявлены имеющиеся в несущей системе запасы армирования колонн круглого сечения. Усилению подлежат только колонны, имеющие прочность бетона менее класса В15.

Мозаики горизонтальных и вертикальных перемещений представлены на рис. 6–8.

Если в процессе достройки здания трещины в перекрытиях продолжают раскрываться, необходимо будет выполнить усиление подведением балок из стального проката. При этом следует особо подчеркнуть важность установки маяков и проведение ежедневных наблюдений за состоянием трещин после их залечивания.



Рис. 4. Вид коррозионного разрушения бетона стены второго этажа по оси 3 продуктами коррозии арматурных стержней незавершенного строительством здания

В обследуемом объекте равномерное распределение жесткостей по высоте здания разбалансировано возведением колонн первого этажа с меньшей прочностью бетона. Не соблюдается требование п.4.1 СП 14.13330.

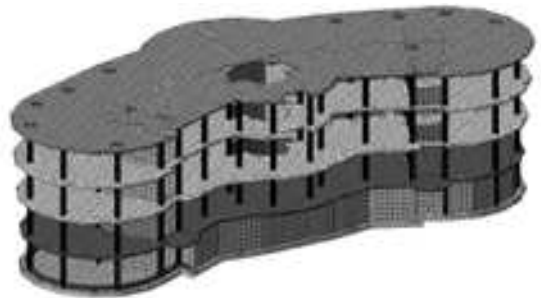


Рис. 5. Пространственная модель здания для расчета на статические и динамические нагрузки

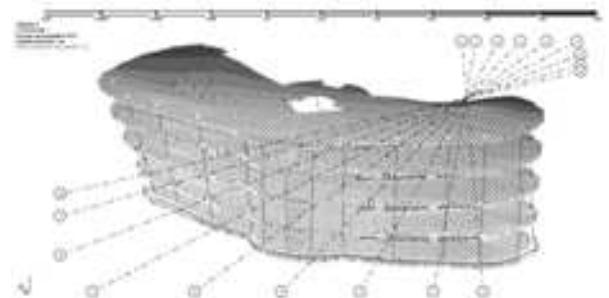


Рис. 6. Мозаика горизонтальных перемещений и перекосы этажей от сейсмических нагрузок по оси X

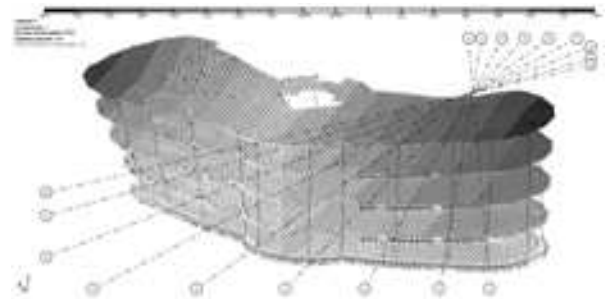


Рис. 7. Мозаика горизонтальных перемещений и перекосы этажей от сейсмических нагрузок по оси Y

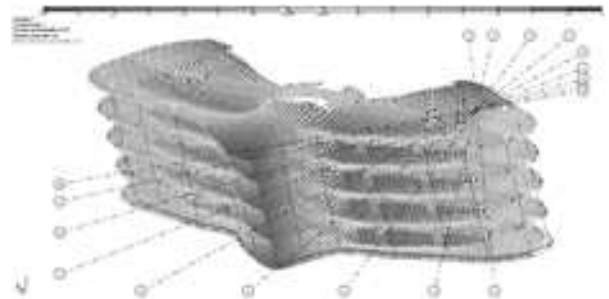


Рис. 8. Мозаика вертикальных перемещений и перекосы этажей от сейсмических нагрузок по оси Z

В соответствии с требованиями норм строительства в сейсмических районах (СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах) необходимо обеспечить пространственную жёсткость здания [1–5]. Для этого следует демонтировать фрагмент нависающего бетона перекрытия второго этажа в зоне оси 8/А. Откачать воду, затопившую помещение цокольного этажа в осях 11-12/А-Б. Установить режим наблюдения за приходом грунтовых вод в помещения цокольного этажа. Оценить дебет. Выполнить инженерно-геологическое бурение для оценки современного состояния уровня грунтовых вод и степени их фильтрации и оценить устойчивость склона с учетом реально существующего уровня грунтовых вод и их фильтрации. На основании полученных результатов уточнить технические решения по защите оснований здания от поверхностных и грунтовых вод. Принять взвешенное решение о способе удаления этих вод с прилегающей к зданию территории, а также удалить многолетние насаждения на расстоянии не менее 5 м от стен здания.

Трещины стволов колонн и перекрытий залечить при помощи состава «Кальмафлекс» или его аналогов. Необходимо организовать наблюдение за динамикой развития трещин в перекрытиях и колоннах при помощи марок или фотограмметрии. Зоны сопряжения капителей колонн и перекрытий, поврежденные дефектами бетонирования, освободить от легко отслаивающихся фрагментов бетона. Арматурные изделия обработать преобразователями ржавчины, тщательно промыть водой и вновь забетонировать мелкозернистыми полимербетонами или специальными ремонтными составами с прочностью на сжатие, соответствующей классу не менее В25. Усилить колонны цокольного, первого, второго и третьего этажей, в том числе в осях В/4; Б/3; А/5; А/4 постановкой металлических обойм из полосовой стали толщиной 8 мм и кольцевых бандажей из полосовой стали толщиной 5 мм с шагом 500 мм по высоте колонны. Кольцевой бандаж выполнить с предварительным напряжением до 200 кгс в каждом элементе. Усиленные колонны цокольного, первого, второго и третьего этажей оштукатурить цементно-песчаным раствором по металлической сетке.

В зонах трещин внешних ребер перекрытий заменить нижерасположенные простенки из блоков автоклавного газобетона на монолитные железобетонные. Предусмотреть связи арматурных изделий новых монолитных железобетонных простенков и существующих элементов перекрытий. Довести теплопроводность новых железобетонных простенков до

уровня теплопроводности блоков автоклавного газобетона толщиной 400 мм при помощи устройства дополнительной наружной и внутренней теплоизоляции.

Перекрытие первого этажа в осях 12-7/Б-В, 7-2/Б-В, 12-Б и Б-2 усилить подведением снизу балок из стального проката по соответствующим осям. Крепление балок предусмотреть в штрабы гнездового типа в диафрагмах и к стальным обоймам усиления колонн.

Стену второго этажа по оси 3, поврежденную трещинами, отремонтировать следующим образом. Удалить отслаивающиеся фрагменты бетона, расчистить арматурные стержни от коррозии и выполнить повторное бетонирование. При значительном повреждении стержней заменить их на новые при помощи вклеиваемых анкеров в неповрежденное тело бетона стены.

Плиты перекрытия у круглого проема в осях 5/А-8/А усилить подведением балок из стального проката снизу. Оконтурить ребра стальным прокатом, связать сваркой с существующими выпусками арматурных стержней.

Лестничные марши усилить подведением косоуров (компенсирующих дефекты бетонирования и коррозионные повреждения) из стального проката снизу. Связать их при помощи коротышей-накладок ручной дуговой сваркой с арматурными изделиями усиливаемых лестничных маршей и площадок.

Дверные проемы в перегородках из кирпичной кладки и блоков автоклавного газобетона обрамить двойными обоймами из прокатной стали.

Все наружные стены из блоков автоклавного газобетона закрепить к железобетонным перекрытиям и стойкам при помощи инвентарных цапф.

Все перегородки закрепить к железобетонным перекрытиям, сопрягаемым колоннам и стойкам при помощи инвентарных цапф. Перегородки армировать стальными вертикальными сетками с двух сторон. Связать стержни сеток со стальными обоймами обрамления дверных проемов. Оштукатурить цементно-песчаным раствором.

При принятии решения о бетонировании плиты перекрытия третьего этажа очистить выпуски арматурных стержней от отслаивающихся фрагментов стальными щетками. Обработать выпуски антикоррозионными составами. Тщательно промыть водой.

Диаграммы расчетных и допускаемых перемещений элементов каркаса, поврежденного дефектами, представлены на рис. 9–11. Сравнительный анализ областей деформаций позволяет наглядно и с большей достоверностью

прогнозировать изменение технического состояния объекта во времени (достройки и дальнейшей эксплуатации).

Поскольку основной причиной, определившей появление большинства дефектов в конструкциях, явилась коррозия бетона и арматуры, уместно учесть следующее: защита от коррозии арматурной стали, расположенной в бетоне, осуществляется благодаря тонкой защитной плёнке, которая образуется в результате реакции стали с содержащимися в бетонной массе щелочными растворами (гидроокиси кальция). При схватывании цемента около 25 % его массы переходит в гидроокись кальция, которая, растворяясь, оседает в поровых водах. Образование гидроокиси кальция является важнейшей предпосылкой долговечности железобетона, обеспечивающей защиту от коррозии арматуры. В результате реакции углекислого газа, имеющегося в воздухе, с гидроокисью кальция запас последней с течением времени истощается. Этот процесс, называемый карбонизацией, распространяется постепенно с внешней поверхности в глубину бетонного слоя. В карбонизированном бетоне коррозионная защита перестаёт действовать как только фронт карбонизации достигает арматурной стали. При этом интенсивность коррозии тем выше, чем лучше доступ к арматуре кислорода и влаги. Внешним признаком такой коррозии является белый налёт на поверхности конструкции в месте выхода воды, что и послужило основанием назвать этот вид коррозии «белой смертью бетона». По мере выщелачивания из бетона его механическая прочность снижается, при этом первоначальная потеря извести сказывается на прочности меньше, чем последующая. Выщелачивание первых 16 % извести приводит к потере 20 % прочности, а последующих 14 % – уже к потере 50 % прочности. Полное разрушение конструкций наступает при выщелачивании извести более 35–50 %.

Подчёркнём, что в отапливаемых сухих помещениях коррозионные разрушения встречаются редко даже в тех случаях, когда окружающий арматуру бетон карбонизировал. Наличие коррозии обнаруживается не сразу. Повреждение становится заметным, когда давление, вызванное образованием слоя ржавчины, превышает сцепление бетона с арматурой.

Наряду с обычной коррозией стали в результате окисления её кислородом, существует водородная коррозия. Известно, что контакт водорода со сталью повышает хрупкость последней и снижает её прочность. Такая коррозия может происходить только во влажной среде. Процесс развивается аналогично процессам,

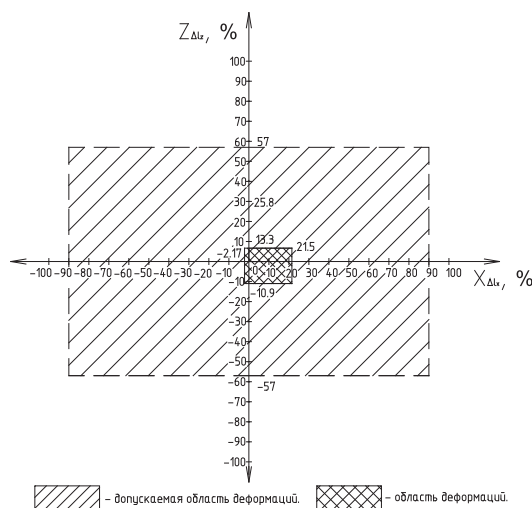


Рис. 9. Область расчетных деформаций при сейсмическом воздействии в плоскости Z-X

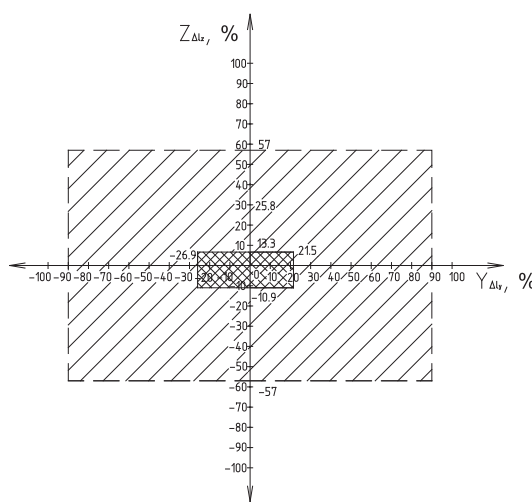


Рис. 10. Область расчетных деформаций при сейсмическом воздействии в плоскости Z-Y

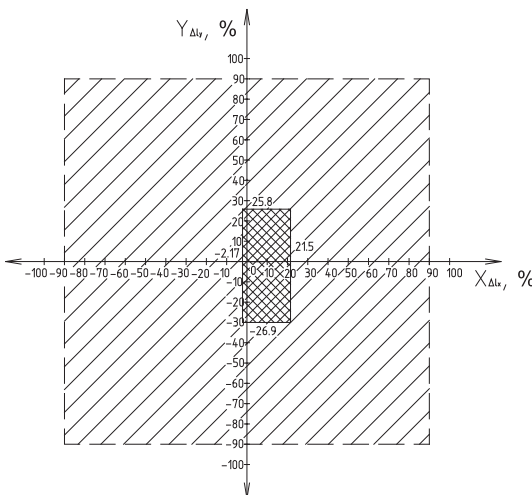


Рис. 11. Область расчетных деформаций при сейсмическом воздействии в плоскости X-Y

протекающим в гальваническом элементе. Вода (водяные пары) выполняет функции электролита между двумя материалами, из которых один корродирует, а другой остаётся без изменения. При этом электролит разлагается на водород и кислород. Кислород участвует в процессе коррозии стали, а водород, реагируя с кислородом, вновь переходит в воду. Часть свободного водорода проникает в корродирующую стальную арматуру и создаёт в ней водородную хрупкость, которая по своему влиянию на прочность стали выходит далеко за рамки действия обычной коррозии. Увеличение содержания водорода вызывает образование трещин и даже разрушение стали.

В заключение следует подчеркнуть, что начавшуюся коррозию стали остановить невозможно, если не удалить полностью с поверхности стальных элементов продукты коррозии, защитив их затем антикоррозийными составами. В существующем здании выполнить это нереально. Поэтому для конструкций, состояние которых сегодня на первый взгляд не должно вызывать опасений, с течением ряда лет может ухудшиться. Восстановление защитных покрытий начавшей ржаветь стали может замедлить процесс коррозии, но не остановить его.

Выводы. 1. Воздействие агрессивной окружающей среды приводит к преждевременной коррозии металлических закладных деталей и арматурных изделий и разрушению несущих конструкций. Незавершенные строительством здания, расположенные на прибрежной территории, нуждаются в прогнозной оценке их технического состояния, которая выявляет не только реальное состояние конструкций, но и степень необходимого инженерного вмешательства в несущую систему.

2. Основными причинами появления дефектов несущих конструкций являются: заниженная прочность бетона (по сравнению с заявленной в проектной документации), многолетнее замачивание атмосферными водами и процессы коррозионных повреждений конструкций и их соединений.

3. Прогнозную оценку остаточной сейсмостойкости в процентном соотношении рекомендуется выполнять путем анализа соотношений, допускаемых нормами, и расчетных деформаций несущей системы с дефектами, при потенциальном сейсмическом воздействии. Целесообразно дифференцировать деформации несущей системы в трех плоскостях.

4. Необходима корректировка существующих рекомендаций, позволяющих взвешенно принимать технические решения конструктивного повышения сейсмостойкости объектов

недвижимости с учетом пространственной работы элементов несущей системы в неупругой стадии деформирования.

5. Следует учитывать не только приведенные затраты на выполнение проектных и строительных работ, но и прогнозируемые затраты обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации усиленного объекта.

5. Целесообразна формализация принятия сложных, системных решений о демонтаже или усилении поврежденных дефектами объектов недвижимости. Этим будет обеспечиваться нивелировка влияния как волюнтаристских, так и эмоциональных воздействий.

6. Прогнозное изменение сейсмостойкости несущих систем следует оценивать факторами продолжительности исчерпания остаточного ресурса конструкций не только по первой, но и по второй группе предельных состояний с учетом пространственной работы элементов несущей системы в неупругой стадии деформирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент Украины 71144, МПК Е 04 G 23/00. Способ усиления простенков стен зданий / Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б.; заявитель и патентовладелец НАПКС. – № u201113119; заявл. 07.11.2011 ; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13.
2. Патент Украины 62243, МПК Е 04 С 2/00. Способ повышения сейсмостойкости зданий / Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б.; заявитель и патентовладелец НАПКС. – № u201014808; заявл. 10.12.2010 ; опубл. 25.08.2011, Бюл. № 16.
3. Патент № 164221 Рос. Федерация: МПК E04G23/00 (2006.01) Узел соединения элементов крупноблочной кладки / Алексеенко В.Н., Чепурная Е.А.; патентообладатель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»; заявл. № 2016108212/ 03 от 09.03.2016, опубл. 4.08.2016 г.
4. Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б., Ал Али М. Несущая способность вклеиваемых анкеров в кладке стен из природного известняка // Инженерно-строительный журнал. 2018. № 5(81). С. 52–63.
5. Алексеенко В.Н., Чепурная Е.А. Особенности капитального ремонта и реконструкции объектов образования Республики Крым // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2016. Т.2. № 2. С.17–20.

REFERENCES

1. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B., e.a. *Sposob usileniya prostenkov sten zdaniy* [The way to strengthen the walls of the buildings]. Patent UA, no. 71144, МПК Е 04 G 23/00, 2012.

2. Alekseenko V.N., Zhilenko O.B., e.a. *Sposob povysheniya seysmostoykosti zdaniy* [The way to increase the earthquake resistance of buildings]. Patent UA, no. u201014808, 2011.

3. Alekseenko V.N., Chepurnaya E.A., e.a. *Uzel soyedineniya elementov krupnoblochnoy kladki* [Large block masonry joint]. Patent RF, no. 164221, 2016.

4. Alekseenko, V.N., Zhilenko, O.B., Al Ali, M. Bearing capacity of pasted anchors in the masonry walls of natural limestone. *Magazine of Civil Engineering*, 2018, no. 81(5). Available at: <https://engstroy.spbstu.ru/article/2018.82.6/> (Accessed 06.09.2019).

5. Alekseenko V.N., Chepurnaya E.A. Features of overhaul and reconstruction of educational facilities of the Republic of Crimea. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii* [Bulletin of Science and Education of the North-West of Russia]. 2016, T.2. no. 2, pp.17–20. (in Russian)

Об авторах:

АЛЕКСЕЕНКО Василий Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры геотехники и конструктивных элементов зданий Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Академия строительства и архитектуры
295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь,
ул. Киевская, 181
E-mail: AVN108@mail.ru

ALEKSEENKO Vassily N.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Geotechnics and Building Elements Chair Crimean Federal University
Academy of Construction and Architecture
295493, Russia, Republic of Crimea, Kievskaya str., 181
E-mail: AVN108@mail.ru

ЖИЛЕНКО Оксана Борисовна

кандидат технических наук, доцент кафедры геотехники и конструктивных элементов зданий Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского
Академия строительства и архитектуры
295493, Россия, Республика Крым, г. Симферополь,
ул. Киевская, 181
E-mail: o.b.zhilenko@mail.ru

ZHILENKO Oksana B.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Geotechnics and Building Elements Chair Crimean Federal University
Academy of Construction and Architecture
295493, Russia, Republic of Crimea, Kievskaya str., 181
E-mail: o.b.zhilenko@mail.ru

Для цитирования: *Алексеенко В.Н., Жиленко О.Б.* Прогнозная оценка сейсмостойкости незавершенных строительством объектов недвижимости // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 4–11. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.1.

For citation: *Alekseenko V.N., Zhilenko O.B.* Forecasting Seismic Resistance of Real Estate Unfinished Construction // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 4–11. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.1.

Д. А. ПАНФИЛОВ
Н. А. ИЛЬИН
С. С. МОРДОВСКИЙ
Я. А. БУЗОВСКАЯ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НА ИЗГИБ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

EXPERIMENTAL TEST INSTALLATION OF BENDING REINFORCED CONCRETE BEAM ELEMENTS

В статье представлено новое устройство экспериментальной установки для проведения экспериментальных исследований параметров прочности и деформативности железобетонных балочных элементов в условиях статического изгиба. Экспериментальная установка включает в себя сборно-разборный стенд, нагружающий механизм, силоизмерительное устройство, упорный элемент и хомуты-тяги. Упорный элемент выполнен составным и содержит основание в виде швеллера и усилительный элемент в виде двутавра. Хомуты-тяги выполнены в виде туго закрепленных анкерных тяжей, оборудованных катковыми опорами. В качестве нагружающего устройства применены домкраты, установленные в ручей-паз швеллера и закрепленные установочными винтами к основанию упорного элемента. Предложенная экспериментальная установка, компактная, простая и легкая, характеризуется повышенной надежностью работы силового устройства, натяжных хомутов и катковых опор испытываемого на изгиб железобетонного образца.

Ключевые слова: железобетонные балочные элементы, исследовательские испытания на изгиб, экспериментальная установка, сборно-разборный стенд, нагружающий механизм, упорный элемент установки, хомуты-тяги

Испытания железобетонных конструкций осуществляются в значительных объемах и с разнообразными целями. По назначению испытания конструкции подразделяют на контрольные, вновь запроектированные, эксплуатационные, научно-исследовательские [1–3].

Контрольные испытания конструкций проводятся при серийном изготовлении конструкций и изделий. Цель испытания – контроль заводской продукции по ГОСТ 8829 [1, 4].

Испытания вновь запроектированных конструкций осуществляются с целью проверки соответствия новых конструкций проектным и нормативным требованиям по несущей спо-

The article outlines a new technical solution related to the field of construction, in particular to the testing technique, the testing of materials and structures, and the application for conducting experimental studies of the strength and deformability parameters of reinforced concrete beam elements under static bending conditions. The experimental installation includes a pre-assembled booth, a loading mechanism, a force measuring device, a thrust element and a strap clamp. In this case, the stand contains a stop element, jacks, tensioning clamps, test specimen. The supporting element is composite and contains a base in the form of a channel and an amplifier in the form of a two-lobe. Clamping hooks are made in the form of tight fastened anchorages, equipped with roller supports. As a loading device, jacks are installed in the crevice-slot of the channel and secured by mounting screws to the base of the thrust element. The compact, simple and easy experimental installation with the increased reliability of the power device, tensioning clamps and roller bearings of the subject under bending of the concrete sample is offered.

Keywords: reinforced concrete beam elements, bending research tests, experimental installation, assembly and assembly boom, loading mechanism, thrust element of installation, clamping joints

собности, жесткости, трещиностойкости и огнестойкости. На эти испытания разрабатываются программы с обоснованием принятых рабочих схем опирания и загрузки железобетонных конструкций [5–8].

Испытания эксплуатационных железобетонных конструкций проводятся для выяснения фактической несущей способности, жесткости, трещиностойкости и огнестойкости при необходимости увеличения нагрузки на несущие конструкции или при их повреждении, ремонте, усилении [6, 9, 10].

Научно-исследовательские испытания проводятся для экспериментального изучения

на образцах конструкций положений по совершенствованию теории и методики расчета новых железобетонных конструкций. Исследовательские испытания являются составной частью экспериментально-теоретических и проектно-конструкторских разработок [1, 3, 4].

В процессе эксперимента изучается взаимная работа бетона и арматуры, влияние количества, качества и расположения арматуры на несущую способность, деформации, трещиностойкость, огнестойкость и огнесохранность конструкций, напряженное состояние в сечениях элементов, влияние стыковых соединений сборных элементов на выбор расчетной схемы и другие вопросы [3, 4, 10].

Научно-исследовательские испытания предусматривают разработку специальной рабочей программы испытаний, изготовление новой измерительной аппаратуры, стенов и необходимого оборудования [4, 5, 9].

Испытательные стенды относятся к основным видам при статических испытаниях железобетонных конструкций на изгиб. Различают стенды временные сборно-разборные и стационарные [4, 11].

К сборно-разборным стендам для испытания балочных элементов на изгиб относят простейшие стенды, которые содержат две опоры (в пределах пролета располагают страховочные опоры), высота опор 60–100 см, испытательная нагрузка – кирпич, бетонные изделия. Загрузка является трудоемкой работой. При испытании на изгиб возможно нагружение конструкций гидродомкратами [1, 2, 4].

Стационарные стенды применяются при испытаниях на изгиб двух видов – стенды с вертикальным или горизонтальным расположением испытываемой железобетонной конструкции [7, 8].

Основной частью испытательной установки является массивная железобетонная силовая плита, которая воспринимает усилие плиты от гидродомкрата. Усилие развивается тяговым домкратом, передается через тязи и траверсы на испытываемую конструкцию.

В целях снижения трудоемкости испытания конструкций применяются многоручьевые механизированные стенды [1, 3, 4].

В результате проведенного тематического патентного поиска по устройству стенов для испытания железобетонных конструкций на изгиб проведен анализ следующих патентов на изобретения и полезные модели: № 72 761 [12]; № 100855 [13], № 143 660 [14]; № 2 436 063 [15]; № 2 511 712 [16]; № 2530 470 [17].

В настоящей статье предложена компактная, простая и легкая экспериментальная

установка с повышенной надежностью работы силового устройства, натяжных хомутов и катковых опор испытываемого на изгиб железобетонного образца. Установка включает в себя сборно-разборный стенд, нагружающий механизм, силоизмерительное устройство, упорный элемент и хомуты-тяги.

Каждая шарнирная опора содержит каток в виде отрезка круглого сечения диаметром 20–40 мм, длиной $l_k \geq l_0$ (здесь l_0 – ширина испытываемого образца, мм) и стальную опорную пластинку толщиной 6–10 мм, шириной 30–50 мм, укладываемую на испытываемый образец на строительном растворе. Круглый стальной стержень катковой неподвижной опоры испытываемого образца прикреплен к стальной опорной пластине при помощи одностороннего сварного шва. Гидродомкраты приняты облегченными грузоподъемностью 50–100 кН каждый. Гидродомкраты установлены и закреплены в пазу-ручье швеллера, который является основанием составного упорного элемента установки.

Переносной сборно-разборный стенд обеспечивает возможность проведения исследовательского испытания образца как в горизонтальном, так и вертикальном положении установки.

Компактная автономная и универсальная экспериментальная установка для испытания на изгиб железобетонных балочных образцов изготовлена без использования силового пола, упорный элемент установки выполнен составным из эффективных элементов стального проката (швеллер и двутавр), расстояние между упорным элементом и испытываемым образцом принято минимальным в зависимости от высоты облегченных гидродомкратов малой грузоподъемности (50–100 кН), с заглублением домкрата в паз-ручей основания упорного элемента (швеллера). Передача нагрузки на испытываемый образец осуществляется непосредственно от гидродомкратов вместо специально сконструированной системы катков [4]. Применение натяжного хомута, тязи которого проходят через направляющие трубки, приваренные попарно к основанию упорного элемента, повышает надежность работы экспериментальной установки.

Экспериментальная установка для исследовательского испытания на статический изгиб железобетонного балочного элемента включает в себя стальную хомут 2, стопорные гайки натяжения 3, пружинные шайбы 4, направляющие стальные трубки 5, сварные швы 6, упорные гайки 7, подвижные катковые опоры 8, испытываемый образец 9, неподвижную катковую опору

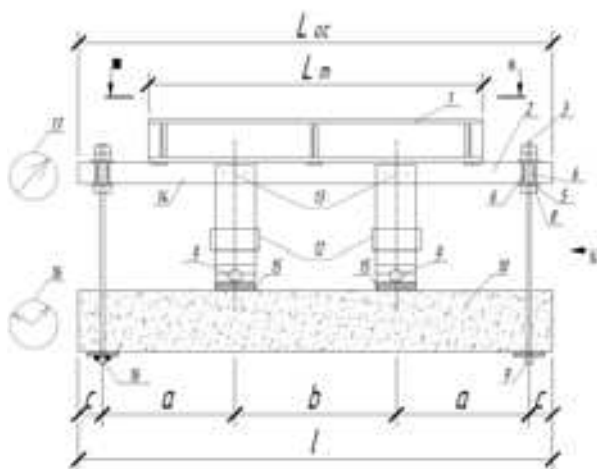


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследовательского испытания железобетонного балочного элемента на изгиб. Вид спереди

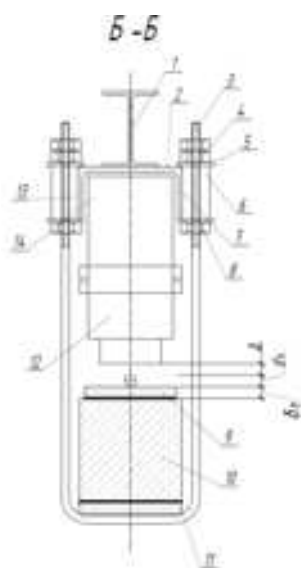


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для испытания на изгиб железобетонного балочного элемента. Вид сбоку (условные обозначения приведены на рис.1)

ру 10, гидродомкраты 11, установочные винты 12, ограничители 13, систему элементов для передачи нагрузки на испытываемый образец, металлические опорные пластины 14 и катки из круглой стали 8, 10 (рис. 1, 2).

Экспериментальная установка для испытания образца на изгиб работает следующим образом. На боковую поверхность испытываемого образца 9 и на торцы катковых опор 8, 10 наносят центрирующие риски 17. В пазы швеллера упорного элемента 1 устанавливают гидродомкраты 11 и закрепляют их установочными винтами 12; на опорные части тяжей хомутов 2 устанавливают испытываемые об-

разцы 9, натяжными хомутами 2 огибают испытываемый образец с упорным элементом 1 экспериментальной установки; навинчиванием стопорных натяжных 3 и упорных 7 гаек плотно прижимают хомуты 2 к упорному элементу 1 и испытываемому образцу 9; на образец прикладывается нагрузка, регулируемая по ее величине и скорости нагружения; прочностные и деформативные параметры образца 9 измеряют в заданном интервале времени.

Детали составного упорного элемента экспериментальной установки приведены на рис. 3.

Выводы. 1. Компактная автономная и универсальная экспериментальная установка для испытания на изгиб железобетонных балочных образцов изготовлена без использования силового пола. Упорный элемент установки выполнен составным из эффективных элементов стального проката (швеллер и двутавр). Расстояние между упорным элементом и испытываемым образцом принято минимальным в зависимости от высоты облегченных

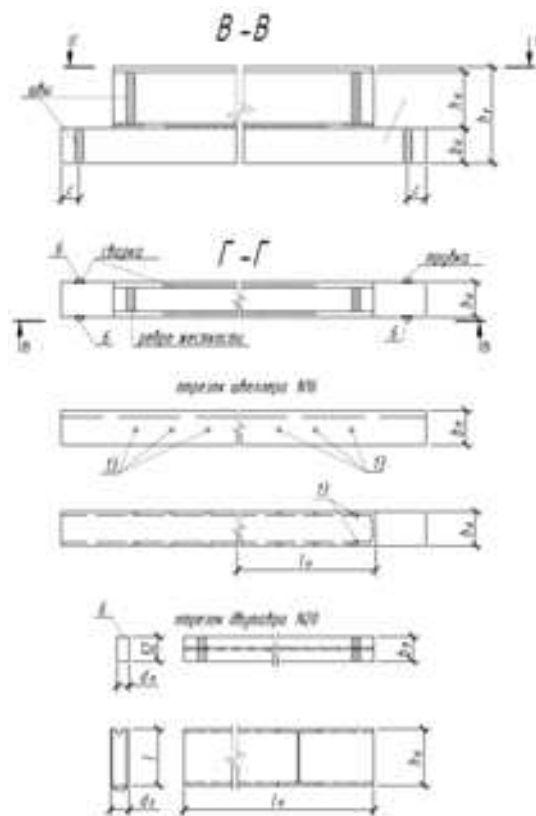


Рис. 3. Детали составного упорного элемента экспериментальной установки:

h – высота двутавровой балки; b – ширина полки двутавра; l_t – длина отрезка двутавровой балки, мм; h_m – высота швеллера; b_m – ширина полки швеллера; l_m – длина швеллера, мм; 5 – направляющая трубка

гидродомкратов малой грузоподъемности (50–100 кН), с заглублением домкрата в паз-ручей основания упорного элемента (швеллера).

2. Применение натяжного хомута, тяжи которого проходят через направляющие трубки, приваренные попарно к основанию упорного элемента, повышает надежность работы экспериментальной установки.

3. Предложенный вариант экспериментальной установки, в отличие от известных, не требует наличия силового пола, имеет упрощенную конструкцию упорного элемента и системы подачи нагрузки на испытываемый образец, наиболее близко моделирует действительную работу испытываемых элементов за счет конструкции натяжного хомута.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Обследование и испытание сооружений / под ред. О.В. Лужина. М., 1987. 212 с.
2. Патент № 2351910 RU, МПК G1 № 3/10. Экспериментальная установка для испытания балочных конструкций / В.И. Колчунов, Е.А. Скобелева, заяв. Орел ГТУ: 13.11.2007, опублик. 10.04.2009. Бюл. № 10.
3. Золотухин Ю.Д., Юарбакадзе В.Ш., Герасимов И.Д., Страбахин Н.И. Испытание сооружений / под общ. ред. Ю.Д. Золотухина. Минск: Высшая школа, 1992. 272 с.: ил.
4. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н. Мониторинг возводимых и эксплуатируемых железобетонных конструкций неразрушающими методами: монография. Минск: БНТУ, 2016. 331 с.
5. Гроздов В.Т. Техническое обследование строительных конструкций, зданий и сооружений. СПб.: Издательский дом КН+, 2000. 140 с.
6. Гучкин И.С. Диагностика повреждений и восстановление эксплуатационных качеств конструкций. М.: АСВ, 2001. 173 с.
7. Добромислов А.Н. Оценка надежности зданий и сооружений по внешним признакам. М.: АСВ, 2008. 72 с.
8. Balaýssac J.-P., Garnier V. (Eds.) Non-destructive Testing and Evaluation of Civil Engineering Structures ISTE Press – Elsevier, 2018. 369 p/ (structures Durability in Civil Engineering Set).
9. Малахова А.Н., Малахов Д.Ю. Оценка несущей способности строительных конструкций при обследовании технического состояния зданий. М.: МИСИ – МГСУ, 2017. 200 с.
10. Юдина Л.В. Испытание и исследование строительных материалов. М.: АСВ, 2010. 200 с.
11. Матюнин В.М. Оперативная диагностика механических свойств конструкционных материалов. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 100 с.
12. Патент на полезную модель RU № 72 761, G 01 N 3/00. Стенд для испытания на трехточечный изгиб и сжатие /Костанов А.С., Иванов В.Н., Поспелов А.Б., заяв. 12.12.07; опублик. 07.04.08. Бюл № 12.

13. Патент на ПМ RU № 100 255, G 01 N 3/00. Стенд для испытания ж/б элементов на поперечный изгиб / Плевков В.С., Балдин И.В., Уткин Д.Г. и др., заяв. 23.04.2010, опублик. 10.12.10. Бюл. № 22.

14. Патент на ПМ RU № 143 660, G 01 N 3/08. Стенд для статических испытаний железобетонных элементов на изгиб / Плевков В.С., Однокопылов Г.И., Кудачков К.Х., и др., заяв. 07.04.14; опублик. 27.07.14. Бюл. № 21.

15. Патент RU № 2 436 063, G 01 N 3/20. Стенд для испытания образцов при многоточном изгибе/ Лодус Е.В., Накифоров А.В., Полухин О.А., заяв. 02.08.10, опублик. 10.12.11. Бюл. № 34.

16. Патент RU № 2 511 718, G 01 N 3/20. Стенд для испытания длинномерных образцов при изгибе /Лодус Е.В., Цирель С.В., заяв. 07.08.12; опублик. 10.04.14. Бюл. № 10.

17. Патент RU № 2 530 470, G 01 N 3/20 (3/32). Способ испытания конструкций и установка для его осуществления / Анпилов С.М., Мурашкин В.Г., Латышева Е.В., и др., заяв. 09.01.13; опублик. 10.10.14. Бюл. № 28.

REFERENCES

1. Luzhin O.V., Zlochevsky A.B., Gorbunov I.A., Volokhov V.A. *Obsledovaniye i ispytaniye sooruzheniy* [Inspection and testing of buildings]. Moscow, 1987, 264 p.
2. Kolchunov V.I., e.s. *Eksperimental'naya ustanovka dlya ispytaniya balochnykh konstruktсий* [Experimental installation for testing beam structures]. Patent RF, no. 2351910, 2009.
3. Zolotukhin Yu.D., Yuarbakadze V.sh., Gerasimov I.D., Strabakhin N.I. *Ispytaniye sooruzheniy* [Testing facilities]. Minsk, High School Publ, 1992. 272 p
4. Snezhkov D.Yu., Leonovich S.N. *Monitoring vozvodimyykh i ekspluatiruyemykh zhelezobetonnykh konstruktсий nerazrushayushchimi metodami* [Monitoring of constructed and operated reinforced concrete structures by non-destructive methods]. Minsk, BNTU, 2016. 331 p.
5. Grozdov V.T. *Tekhnicheskoye obsledovaniye stroitel'nykh konstruktсий, zdaniy i sooruzheniy* [Technical inspection of building structures, buildings and structures], 2000. 140 p.
6. Guchkin I.S. *Diagnostika povrezhdeniy i vosstanovleniye ekspluatatsionnykh kachestv konstruktсий* [Diagnosis of damage and restoration of performance of structures]. Moscow, 2001.173p.
7. Dobromyslov A.N. *Otsenka nadezhnosti zdaniy i sooruzheniy po vneshnim priznakam* [Assessment of the reliability of buildings and structures on external signs]. Moscow, 2008. 72p.
8. Balaýssac J.-P., Garnier V. (Eds.) Non-destructive Testing and Civil Engineering ISTE Press - Elsevier, 2018. 369 p.
9. Malakhova A.N., Malakhov D.Yu. *Otsenka neshchey sposobnosti stroitel'nykh konstruktсий pri obsledovanii tekhnicheskogo sostoyaniya zdaniy* [Assessment of the bearing capacity of building structures in the inspection of the technical condition of buildings]. Moscow, MISI - MGSU, 2017. 200 p.

10. Yudina L.V. *Ispytaniye i issledovaniye stroitel'nykh materialov* [Testing and research of building materials]. Moscow, 2010. 200 p.

11. Matyunin V.M. *Operativnaya diagnostika mekhanicheskikh svoystv konstruksionnykh materialov* [Operational diagnostics of mechanical properties of structural materials]. Moscow, Publishing House MEL, 2006. 100 p.

12. Kostanov A.S., e.s. *Stend dlya ispytaniya na trekh-tochechnyy izgib i szhatiye* [Three-point bending and compression test bench]. Patent RF, no. 72761, 2008.

13. Plevkov V.S., e.s. *Stend dlya ispytaniya zh/b elementov na poperechnyy izgib* [Test bench for reinforced concrete elements for transverse bending]. Patent RF, no. 100255, 2010.

14. Plevkov V.S., e.s. *Stend dlya staticheskikh ispytaniy zhelezobetonnykh elementov na izgib* [Stand for static tests of reinforced concrete elements for bending] Patent RF, no. 143 660, 2014.

15. Lodus E.V., e.s. *Stend dlya ispytaniya obraztsov pri mnogotochnom izgibe* [Multi-bend test bench]. Patent RF, no. 2436063, 2011.

16. Lodus E.V., Tsirel S.V. *Stend dlya ispytaniya dlin-nomernykh obraztsov pri izgibe* [Stand for testing long bending specimens]. Patent RF, no. 2511718, 2014.

17. Anpilov S.M., e.s. *Sposob ispytaniya konstruksiy* [Method of testing structures and installation for its implementation]. Patent RF, no. 2530470, 2014.

Об авторах:

ПАНФИЛОВ Денис Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (909) 343-19-86

PANFILOV Denis A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (909) 343-19-86

ИЛЬИН Николай Алексеевич

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

ILIYIN 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
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846)339-14-71

МОРДОВСКИЙ Сергей Сергеевич

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846)339-56-35

MORDOVSKY Sergey S.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Building Structures Chair Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846)339-56-35

БУЗОВСКАЯ Яна Александровна

магистрант Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (937) 792-29-44

BUZOVSKAYA Yana A.

Master's Degree Student Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (937) 792-29-44

Для цитирования: 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.

For citation: Panfilov D.A., Iliyina N.A., Mordovskiy S.S., Buzovskaya Ya.A. Experimental Test Installation of Bending Reinforced Concrete Beam Elements // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 12–16. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.2.

В. П. СЕЛЯЕВ
Н. Н. КИСЕЛЕВ
О. В. ЛИЯСКИН

ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ВАКУУМНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ ПРИ СЖАТИИ

DIAGRAMS OF VACUUM INSULATING PANEL DEFORMATION DURING COMPRESSION

Рассмотрена возможность применения вакуумных изоляционных панелей (VIP) с зернистым наполнителем для изготовления трёхслойных ограждающих стеновых панелей, плит перекрытия и покрытия. Показаны результаты экспериментальных исследований вакуумных изоляционных панелей, проведенных с целью аналитического описания диаграмм деформирования VIP панелей при действии сжимающей нагрузки. Установлено: деформативные свойства вакуумных изоляционных панелей с зернистым наполнителем не зависят от крупности частиц наполнителя, но зависят от объёмного содержания наполнителя; диаграмму деформирования, описывающую зависимость между напряжениями и относительными деформациями при сжатии вакуумной изоляционной панели с зернистым наполнителем, можно аппроксимировать функцией Г.Б. Бюльфингера. Полученные результаты дают возможность расчетным путём определить напряженное состояние в плоских листах обшивки при местной передаче нагрузки.

Ключевые слова: теплоизоляция, панель, вакуум, зернистый наполнитель, диаграмма деформирования, сжатие, напряжение, деформация

Решение проблемы энергосбережения при строительстве зданий и сооружений зависит от доступности и качества высокоэффективных теплоизоляционных материалов и изделий [1, 2]. В последние годы интенсивно ведутся поиски и разработки новых теплоизоляционных материалов и изделий, альтернативных традиционно применяемым: минеральной вате, пенополистиролу, пенополиуретану, которые не отвечают современным требованиям по экологии, долговечности, огнестойкости [3, 4].

Анализ публикационной активности по этой теме показывает, что все большее внимание учёных и практиков привлекают исследования, направленные на создание теплоизоляционных изделий типа VIP – вакуумных изоляционных панелей [5–8]. Панели VIP представляют собой плоские элементы, выполненные из многослойной воздухо непроницаемой

The possibility of using vacuum insulation panels (VIP) with a granular filler for the manufacture of three-layer enclosing wall panels, floor slabs and coatings is considered. The results of experimental studies of vacuum insulation panels, carried out with the aim of analytically describing the deformation diagrams of VIP panels under the action of a compressive load, are presented. It has been established: deformative properties of vacuum insulation panels with granular filler do not depend on the size of the filler particles, but depend on the volume content of the filler; a deformation diagram describing the relationship between stresses and relative deformations during compression of a vacuum insulating panel with a granular filler can be approximated by the function G. B. Bülfinger. The results obtained make it possible by calculation to determine the stress state in flat plating sheets during local load transfer.

Keywords: thermal insulation, panel, vacuum, granular filler, deformation diagram, compression, stress, deformation

оболочки, наполненной зернистым и волокнистым наполнителем. В качестве зернистого наполнителя применяется аморфный микрокремнезём, представленный минералом опал, поровая структура которого формируется в виде иерархически выстроенной масштаб-но-инвариантной системы из отдельных глобулярных частиц, отдельных и ассоциативных кластеров. Квазиопаловая структура зернистой системы обеспечивает высокие теплоизоляционные свойства [2, 9]. Для поддержания формы изделия VIP при вакуумировании вводится волокнистый минеральный наполнитель. Сопротивление теплопередаче вакуумной панели в пять-десять раз выше, чем у традиционных утеплителей, что подтверждено теоретически и экспериментально [1, 10].

Изделие VIP можно применять для изготовления трёхслойных плит покрытий и пере-

крытий, ограждающих конструкций. Панели для стен и покрытий (перекрытий) зданий состоят из двух наружных обшивок из прочного листового материала и среднего слоя – утеплителя [2]. Для внешней обшивки можно применять плоские или профилированные листы из алюминия, стекла, латонита. Для внутренних обшивок можно применять листовые материалы не только из металла и стекла, но и из древесины, высокопрочного бетона и других конструкционных материалов. Для обеспечения прочности и жесткости трехслойные панели рассчитывают по двум предельным состояниям: прочности и деформативности. При расчете на поперечный изгиб трёхслойные панели рассматриваются как плиты, свободно опертые по двум сторонам или опертые по контуру. При расчете трёхслойных панелей необходимо соблюдение условий:

$$E_{np}/G \leq 10000; 200 \geq h_0/\delta \geq 4; l/h_0 \geq 10, \quad (1)$$

где E_{np} – приведенный модуль упругости материала обшивок, равный $E_{np} = E/(1-\mu)$; E и μ – модули Юнга и Пуассона материала обшивок; h_0 – высота среднего (теплоизоляционного) слоя; G – модуль сдвига среднего слоя; δ – толщина обшивки; l – пролет панели; $h = h_0 + \delta$ – высота поперечного сечения панели с листовыми внешними обшивками.

При определении напряжений от местной нагрузки в верхнем слое обшивки и в среднем слое, обшивка рассматривается как бесконечная пластина на упругом основании (роль упругого основания играет средний слой) с коэффициентом постели $K = 2E_1/h_0$, где E_1 – модуль упругости теплоизоляционного материала ($E_1 = E_k$).

Следовательно, для расчета трёхслойных панелей с утеплителем VIP необходимо знать механические характеристики изделия VIP (E_1 и G).

Целью предлагаемой работы является экспериментальное определение модуля упругости (Юнга) E_1 и аналитическое описание диаграммы деформирования при сжатии изделия VIP (среднего слоя трёхслойной плиты).

Для экспериментального определения модуля упругости были изготовлены вакуумные панели размером 100x100x10 мм. В качестве наполнителя применяли белую сажу марки БС-100, диатомит Атемарского карьера, базальтовые волокна. Оболочка образцов выполнялась из двухслойного пластика (PET/PE; PA/PE). Плотность образцов составляла 170 и 260 кг/м³ соответственно, наполнитель – микрокремнезем и диатомит.

Для сравнения произведены аналогичные испытания изделия VIP китайского производства в металлизированной оболочке.

При проведении эксперимента ставилась задача оценить влияние количества наполнителя и волокна на механические характеристики вакуумных изоляционных панелей. Для этого был реализован двухфакторный эксперимент по плану Кифера–Коно, который позволил получить полиномиальную модель зависимости уровня напряжений (y_i) при 10 % деформации от количества порошка (x_1) и волокна (x_2) вида:

$$y_1 = 0,236 + 0,037x_1 + 0,015x_2 - 0,013x_1^2 - 0,003x_1x_2 - 0,018x_2^2, \quad (2)$$

$$y_2 = 0,224 + 0,032x_1 + 0,09x_2 - 0,004x_1^2 - 0,019x_1x_2 - 0,047x_2^2. \quad (3)$$

Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рис. 1, 2.

Из анализа уравнений (2), (3) и графических зависимостей (см. рис. 1, 2) следует, что крупность частиц микрокремнезема БС-100 (нанометровая размерность) и диатомита (микрометровая размерность) практически не влияет на уровень напряжений сжатия при 10 % относительной деформации.

Диаграммы деформирования имеют вид, характерный для самоуплотняющихся материалов (рис. 3–5).

На рисунках представлены диаграммы деформирования, полученные при сжатии вакуумных панелей: рис. 3 – китайский аналог; рис. 4 – зернистый наполнитель диатомит; рис. 5 – зернистый наполнитель микрокремнезем БС-100.

Для аналитического описания диаграммы деформирования VIP изделия при сжатии наиболее приемлемой является функция Г.Б. Бюльфингера в относительных координатах вида:

$$\sigma/\sigma_u = \alpha(\varepsilon/\varepsilon_u)^\beta, \quad (4)$$

где σ_u – предельно допустимое значение напряжений; ε – относительная деформация, соответствующая σ_u ; α и β – коэффициенты, определяемые по экспериментальным данным.

Для этого произведем путем логарифмирования линеаризацию уравнения (4) и тогда β определим по формуле

$$\beta = (\ln(\sigma_1/\sigma_u) - \ln(\sigma_2/\sigma_u)) / (\ln(\varepsilon_1/\varepsilon_u) - \ln(\varepsilon_2/\varepsilon_u)). \quad (5)$$

На рис. 6 в двойных логарифмических координатах построены графики зависимости σ - ε по экспериментальным данным, представленным на рис. 5 (принято $\sigma_u = 5$ МПа). Значения $\ln(\sigma/\sigma_u) - \ln(\varepsilon/\varepsilon_u)$ хорошо ложатся на прямые линии, которые сходятся в начале координат.

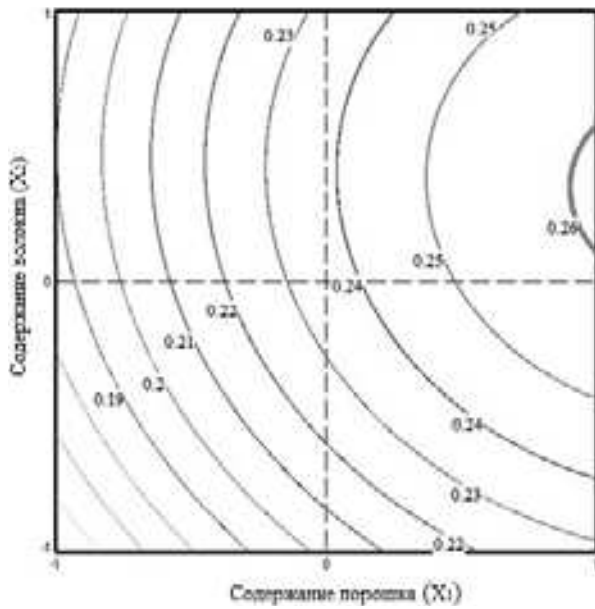


Рис. 1. Графическая зависимость напряжения (y_1) при $\epsilon = 10\%$ от количества наполнителя: x_1 – белая сажа; x_2 – минеральное волокно

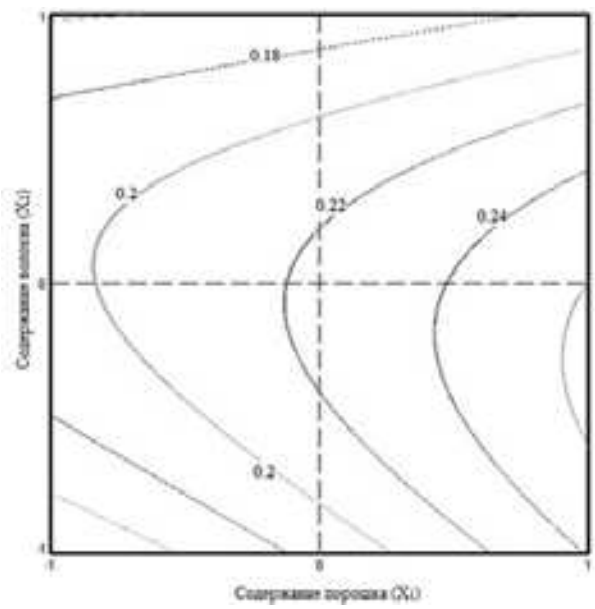


Рис. 2. Графическая зависимость напряжения (y_2) при $\epsilon = 10\%$ от количества наполнителя: x_1 – немодифицированный атемарский диатомит; x_2 – минеральное волокно

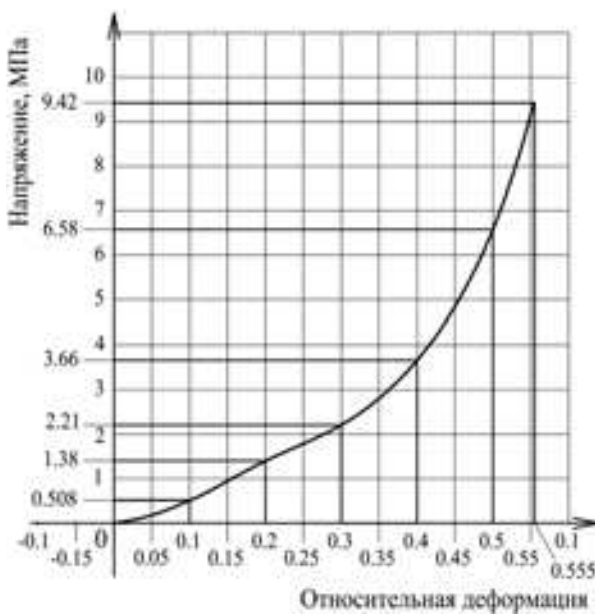


Рис. 3. Диаграмма, полученная при испытании китайского образца вакуумной теплоизоляции

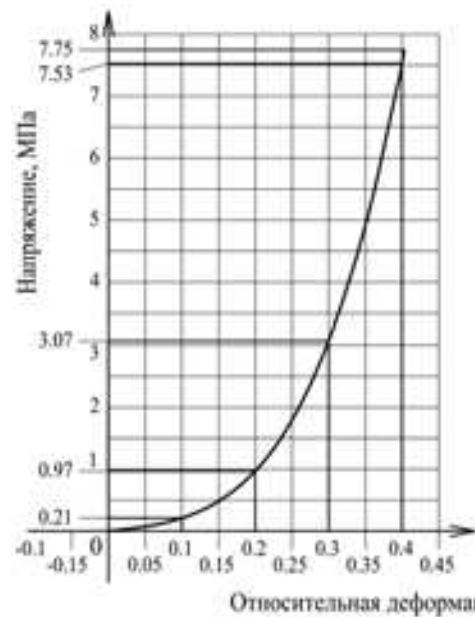


Рис. 4. Диаграмма, полученная при испытании вакуумной теплоизоляции на основе диатомита

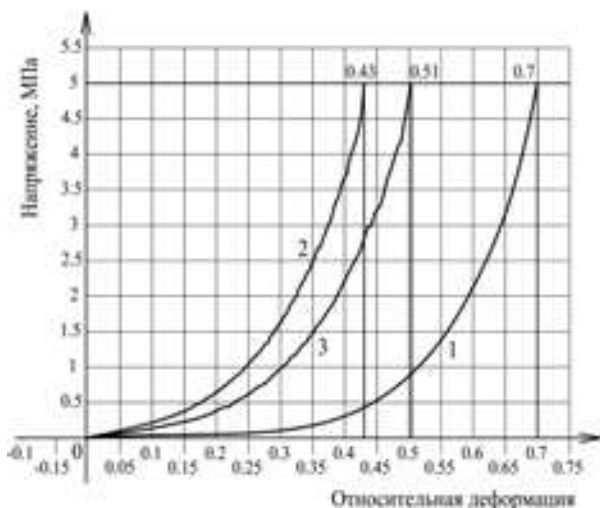


Рис. 5. Диаграммы деформирования при сжатии панели VIP с зернистым наполнителем БС-100: 1, 2, 3 – содержание наполнителя в частях – относительных единицах (по возрастанию)

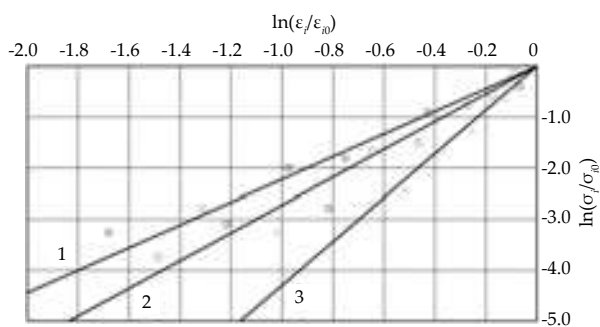


Рис. 6. Линеаризация экспериментальных данных, представленных на рис. 5

Следовательно, коэффициент $\alpha = 1$. По формуле (5) определены значения коэффициентов β , которые составляют $\beta_1 = 5,25$; $\beta_2 = 2,3$; $\beta_3 = 3,2$.

С учетом полученных экспериментальных данных модуль упругости теплоизоляционного материала зависит от количества зернистого наполнителя в панели VIP и от уровня сжимающих напряжений. Зависимость модуля упругости зернистой системы VIP предлагается определять по формуле вида:

$$E_1 = \partial\sigma/\partial\varepsilon = \sigma_u \beta_i (\varepsilon^{\beta_i-1}/\varepsilon_u^{\beta_i}), \quad (6)$$

где $\beta_i = 5,25(1); 2,3(2); 3,2(3)$.

Выводы. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено: деформативные свойства вакуумных изоляционных панелей с зернистым наполнителем не зависят от крупности частиц наполнителя, но зависят от объемного содержания наполнителя. Диаграмму деформирования, описы-

вающую зависимость между напряжениями и относительными деформациями при сжатии вакуумной изоляционной панели с зернистым наполнителем, можно аппроксимировать функцией Г.Б. Бюльфингера.

Полученные результаты дают возможность расчетным путем определить напряженное состояние в плоских листах обшивки при местной передаче нагрузки.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ № 18-48-130001/18 «Оптимизационное моделирование свойств теплоизоляционных функционально-градиентных изделий на основе минеральных порошков оксида кремния, синтезированного из природного диатомита».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дульнев Г.Н., Сигалова Г.В. Теплопроводность моно- и полидисперсных зернистых материалов // Строительная теплофизика. М.; Л.: Энергия, 1966. С. 40–47.
2. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе вакуумированных дисперсных порошков микрокремнезема и диатомита : монография / В.П. Селяев, В.А. Неверов, А.К. Осипов [и др.]. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. 220 с.
3. Возможность создания теплоизоляционных материалов на основе наноструктурированного микрокремнезема из диатомита / В.П. Селяев, А.К. Осипов, Л.И. Куприяшкина, А.А. Седова, Е.Л. Кечуткина, Л.А. Супонина // Наука: 21 век. 2011. № 3(15). С. 76–86.
4. Селяев П.В., Киселев Н.Н., Лияскин О.В. Принципы создания порошковой теплоизоляции на основе микрокремнезема // Региональная архитектура и строительство. 2016. № 3 (28). С. 55–59.
5. Bofago F.E. & al, Structure of vacuum insulation panel in building system//11th International Vacuum Insulation Symposium, Switzerland, 2013, pp. 69–70.
6. Страница Vacuum-insulated prefabricated elements in construction 09/2007: BINE Information Service. – <http://www.bine.info> (дата обращения: 01.04.2019).
7. Schupp H.B. & al, VIP im Mauerwerksbau Vakuumgedämmter Mauerstein Vakuumgedämmter Mauerziegel // VIP – Bau, Fachtagung, Rostock-Warnemünde, 10–11. Juli 2003.
8. Возможность применения хлопкового волокна для производства вакуумных теплоизоляционных панелей / В.П. Селяев, А.М. Данилов, П.В. Селяев, Н.Н. Киселев, О.Г. Маштаев, Е.Л. Кечуткина // Технология текстильной промышленности. 2017. № 1. С. 112–118.
9. Свойства микрокремнезема из природного диатомита и его применение в производстве вакуумных теплоизоляционных панелей / В.П. Селяев, В.А. Неверов, О.Г. Маштаев, А.В. Колотушкин // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 7. С. 15–25.

10. Васильев Л.Л. Теплопроводность неметаллических зернистых систем // Строительная теплофизика. М.; Л.: Энергия, 1966. С. 48–56.

REFERENCES

1. Dulnev G.N., Sigalova G.V. Thermal conductivity of mono- and polydisperse granular materials. *Stroitel'naya teplofizika* [Building Thermophysics], Moscow, Leningrad, Energiya Publ., 1966, pp. 40–47. (in Russian)

2. Selyaev V.P., Neverov V.A., Osipov A.K. [and other] *Teploizolyatsionnyye materialy i izdeliya na osnove vakuumirovannykh disperstnykh poroshkov mikrokremnezema i diatomita* [Thermal insulation materials and products based on vacuum silica dispersible powders of silica fume and diatomite] Monograph, Saransk, Publisher Mordovia University, 2013. 220 p.

3. Selyaev V.P., Osipov A.K., Kupriyashkina L.I., Sedova A.A., Kechutkina E.L., Suponina L.A. The possibility of creating heat-insulating materials based on nanostructured silica fume from diatomite. *Nauka: 21 vek* [Science: 21st Century], 2011, no. 3(15), pp. 76–86. (in Russian)

4. Selyaev P.V., Kiselev N.N., Liyaskin O.V. Principles for the creation of powder thermal insulation based on silica fume. *Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo* [Regional architecture and construction], 2016, no. 3 (28), pp. 55–59. (in Russian)

5. F.E. Bofago & al, Structure of vacuum insulation panel in building system. 11th International Vacuum Insulation Symposium, Switzerland, 2013, pp. 69–70.

6. Vacuum-insulated prefabricated elements in construction 09/2007: BINE Infomation Sevice. Available at: <http://www.bine.info> (accessed 1 April 2019)

7. H.B. Schupp & al, VIP im Mauerwerksbau Vakuumgedämmter Mauerstein Vakuum Gedämmter Mauerziegel. VIP – Bau, Fachtagung, Rostock-Warnemünde, 10–11. Juli 2003.

8. Selyaev V.P., Danilov A.M., Selyaev P.V., Kiselev N.N., Mashtaev O.G., Kechutkina E.L. Possibility of using cotton fiber for the production of vacuum thermal insulation panels. *Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [Textile Technology], 2017, no. 1, pp. 112–118. (in Russian)

9. Selyaev V.P., Neverov V.A., Mashtaev O.G., Kolotushkin A.V. Properties of silica fume from natural diatomite and its application in the manufacture of vacuum thermal insulation panels. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal* [Civil Engineering Journal], 2013, no. 7, pp. 15–25. (in Russian)

10. Vasiliev L.L. Thermal conductivity of non-metallic granular systems. *Stroitel'naya teplofizika* [Building thermophysics], Moscow, Leningrad, Energiya Publ., 1966, pp. 48–56. (in Russian)

Об авторах:

СЕЛЯЕВ Владимир Павлович

академик РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных конструкций Мордовский государственный университет 430000, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68, тел.: (8342)47-71-56
E-mail: ntorm80@mail.ru

SELYAEV Vladimir P.

Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Building Structures Chair Ogarev Mordovia State University 443000, Russia, Saransk, Bolshevistskaya str., 68, tel. (8342)47-71-56
E-mail: ntorm80@mail.ru

КИСЕЛЕВ Николай Николаевич

инженер кафедры строительных конструкций Мордовский государственный университет 430000, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68, E-mail: nicolay1992@mail.ru

KISELEV Nikolay N.

Engineer of the Building Structures Chair Ogarev Mordovia State University 443000, Russia, Saransk, Bolshevistskaya str., 68, E-mail: nicolay1992@mail.ru

ЛИЯСКИН Олег Викторович

аспирант кафедры строительных конструкций Мордовский государственный университет 430000, Россия, г. Саранск, ул. Большевикская, 68, E-mail: oliyaskin@mail.ru

LIYASKIN Oleg V.

Postgraduate Student of the Building Structures Chair Ogarev Mordovia State University 443000, Russia, Saransk, Bolshevistskaya str., 68, E-mail: nicolay1992@mail.ru

Для цитирования: Селяев В.П., Киселев Н.Н., Лияскин О.В. Диаграммы деформирования вакуумных изоляционных панелей при сжатии // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 17–21. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.3.

For citation: Selyaev V.P., Kiselev N.N., Liyaskin O.V. Diagrams of Vacuum Insulating Panel Deformation During Compression // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 17–21. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.3.

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ



УДК 662.75: 665.75

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.4

**К. Ю. ДЕГТЯРЕВ
Н. С. ЗОТОВ
С. А. МИНКИНА
Е. А. ЧЕРНОБРОВА**

ВЫБОР ВИДА ЖИДКОГО ТОПЛИВА ДЛЯ КОТЕЛЬНОЙ

SELECTION OF LIQUID FUEL TYPE FOR BOILER ROOM

Проведен сравнительный анализ основных видов резервного топлива для котельных, включая мазут, дизельное топливо и сжиженные углеводородные газы. Проанализированы основные технологические аспекты и особенности построения топливных хозяйств. Рассмотрены экономические аспекты использования различных видов резервного топлива. Оценены тепловые и стоимостные затраты на хранение и сжигание топлив. Выполнен расчет выбросов в атмосферу вредных веществ, включая диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, бензапирен, диоксид серы, сажу. Определены массы выбрасываемых веществ, их концентрации в долях ПДК, расстояния, на которых наблюдается максимальная концентрация выбросов. Обоснована перспективность использования сжиженных углеводородных газов и технологии «Propane-Air».

Ключевые слова: котельная, резервное топливо, мазут, дизельное топливо, сжиженные углеводородные газы, выбросы загрязняющих веществ, затраты

The article presents a comparative analysis of the main types of reserve fuel for boilers, including fuel oil, diesel fuel and liquefied petroleum gases. The main technological aspects and features of construction of fuel farms are analyzed. The economic aspects of the use of different types of reserve fuel are considered. The thermal and cost costs of fuel storage and combustion are estimated. The calculation of emissions into the atmosphere of harmful substances, including nitrogen dioxide, nitrogen oxide, carbon monoxide, benzopyrene, sulfur dioxide, soot. The masses of emitted substances, their concentration in fractions of MPC, distances at which the maximum concentration of emissions is observed are determined. The prospects of using liquefied hydrocarbon gases and «Propane-Air» technology are substantiated.

Keywords: boiler room, reserve fuel, fuel oil, diesel fuel, liquefied hydrocarbon gases, emissions of pollutants, costs

Традиционно в Российской Федерации для генерации тепловой энергии для нужд промышленных комплексов и гражданского населения используются разнообразные энергоресурсы – от дров до ядерного топлива. Выбор конкретного вида топлива для теплогенерирующих установок различного назначения определяется с учетом его наличия в регионе, возможностей доставки, стоимости хранения и топливоподачи, а также экологических факторов. Приоритетным топливом для котельных в настоящее время является природный газ. Он поставляется к потребителю централизованно через сеть га-

зопроводов (СП 62.13330.2011. Газораспределительные системы. Актуализированная редакция СНиП 42-01-2002). Однако при возникновении аварийной ситуации [1] в сети газоснабжения котельные переводятся на резервное топливо. Как правило, используется жидкое и твердое топливо. Твердое топливо в силу ряда экономических, технологических и экологических аспектов имеет строго ограниченную сферу применения. В качестве основных видов используемого в котельных жидкого топлива можно выделить топочный мазут, дизельное топливо (ДТ) и сжиженные углеводородные газы (СУГ) [2, 3].

Целью настоящей статьи является сравнительный анализ экономических и экологических факторов использования различных вариантов резервного топлива.

Рассмотрим технологический комплекс для каждого из видов топлива и рассчитаем экономические затраты резервного топливного хозяйства на примере паровой производственной котельной, расположенной в Самаре, в которой установлены три паровых жаротрубных котлоагрегата ТЕРМОТЕХНИК ТТ200 типа 6/12-196. В расчете будут учитываться цена резервного топлива и тепловые затраты для подготовки топлива на один год его содержания. Запас топлива рассчитан на трое суток непрерывного сжигания. Приняты следующие допущения. Не учитываются:

- энергозатраты, связанные с электропитанием насосов, средств контроля и управления и др.;
- исходные капиталовложения на оборудование для топливного хозяйства;
- стоимость доставки топлива;
- амортизация котельного оборудования.

Мазут. Жидкое топливо подается в топку котла через форсунки, поэтому для качественного распыления и сжигания мазута, практически без недожога, необходимо, чтобы условная вязкость перед подачей его в форсунки была не более $6,8^\circ$ условной вязкости (ГОСТ 10585-2013. Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия). Этого можно достигнуть при температуре мазута $100\text{--}110^\circ\text{C}$. При этом в резервуарах для хранения мазута должна обеспечиваться температура $60\text{--}90^\circ\text{C}$ для поддержания жидкотекучего состояния и требуемых параметров,

необходимых для непрерывной рециркуляции мазута во избежание его застывания в трубопроводах. Данные технологические операции требуют значительных эксплуатационных расходов. Кроме того, при горении мазута образуются окислы серы и появляется возможность образования серной кислоты, что отрицательно влияет на экологическую обстановку окружающей среды. Принципиальная схема мазутного топливного хозяйства представлена на рис. 1.

Необходимое количество тепла на подогрев мазута определяется формулой [4]:

$$Q_1 = G \cdot (1,736 + 0,00251 \cdot (t_2 + t_1)/2) \times (t_2 - t_1)/4,187, \text{ ккал}, \quad (1)$$

где G – количество топлива, требующее обогрева, кг; t_1, t_2 – температура до и после подогрева, $^\circ\text{C}$.

Для мазута нужно учесть подогреватель в резервуаре, греющий топливо до 70°C при начальной температуре 10°C . Следует отметить, что температура в резервуаре должна поддерживаться постоянно, вне зависимости от того, сжигается топливо или нет, поэтому нужно учитывать этот подогрев на протяжении всего времени работы котельной (350 суток). Распыление мазута через форсунки осуществляется с помощью парового дутья. Количество тепла, вносимого в топку с паровым дутьем, определяется формулой [4]:

$$Q_2 = 0,3 \cdot G \cdot (i_{\text{н.п.}} - 2400)/4,187, \text{ ккал}, \quad (2)$$

где $i_{\text{н.п.}}$ – энтальпия пара, идущего на дутье или распыление топлива, кДж/кг.

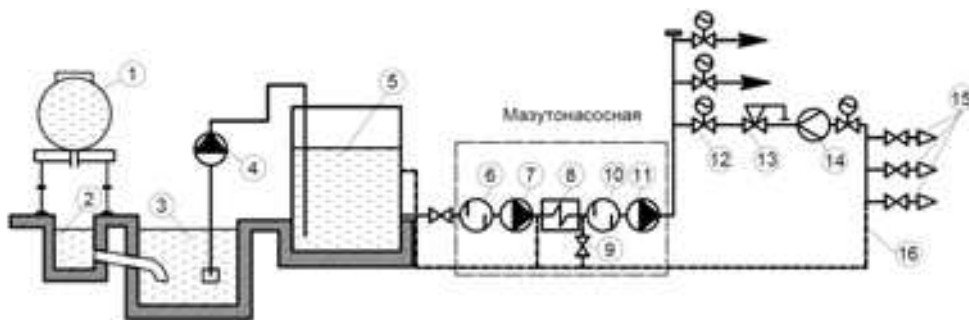


Рис. 1. Принципиальная схема мазутного хозяйства:

- 1 – цистерна; 2 – канал (лоток); 3 – приемный бак; 4 – насос перекачки из приемного бака; 5 – основной резервуар; 6, 10 – фильтры грубой и тонкой очистки; 7, 11 – насосы I и II ступеней; 8 – подогреватель мазута; 9 – линия рециркуляции мазутной насосной; 12 – аварийные задвижки; 13 – регулятор давления мазута; 14 – расходомер мазута; 15 – форсунки котла; 16 – рециркуляционный мазутопровод из котельной в мазутную насосную

Дизельное топливо. ДТ не требует затрат на хранение и подогрев, так как его марка зависит от температуры окружающего воздуха в диапазоне от минус 5 до минус 45°C (ГОСТ 305-

2013. Топливо дизельное. Технические условия). Состав продуктов сгорания ДТ аналогичен тому, который будет при сжигании мазута, однако концентрация вредных веществ значительно ниже.

Весомым недостатком является цена на ДТ и ее активный рост вслед за подорожанием моторного топлива. При расчете стоимости эксплуатации

котельной для этого варианта учитывают лишь цену ДТ. Принципиальная схема топливного хозяйства на ДТ представлена на рис. 2.

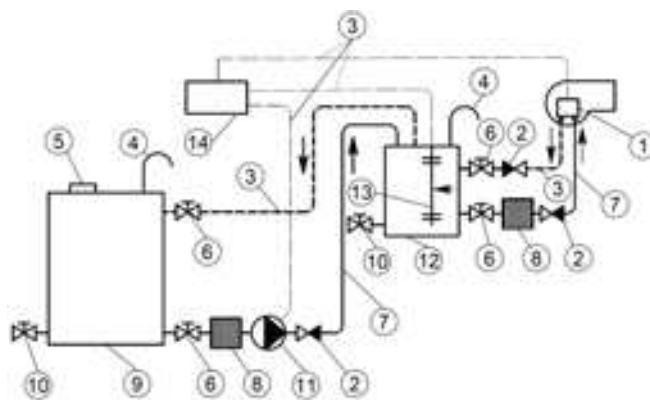


Рис. 2. Принципиальная схема топливного хозяйства на ДТ:

- 1 – топливный насос; 2 – обратный клапан; 3 – обратный трубопровод; 4 – вентиляционный штуцер;
5 – заливная горловина; 6 – запорный кран; 7 – подающий трубопровод; 8 – фильтр; 9 – основной бак;
10 – кран для слива топлива; 11 – насос перекачки топлива; 12 – расходный бак; 13 – датчик уровня топлива;
14 – блок управления

Сжиженные углеводородные газы. Основными компонентами СУГ являются пропан и бутан, также в виде примесей могут присутствовать легкие и более тяжелые предельные и непредельные углеводороды. Температура кипения сжиженного пропана составляет минус 42,1 °С, а бутана – минус 0,5 °С [5], следовательно, за счет изменения объемной доли компонентов в смеси можно регулировать характеристики топлива, обеспечивая требуемые параметры хранения, которые задаются территориальными климатическими условиями. СУГ перед сжиганием переводятся в газообразное состояние, поэто-

му перед подачей топлива на горелки сжиженная фаза подается в испарительную установку, в которой образуется паровая фаза. Также в резервуаре происходит естественная регазификация СУГ, позволяющая подавать образовавшийся насыщенный пар в обход испарительной установки, тем самым осуществляется снижение затрат тепла на искусственную регазификацию СУГ [6]. Сжигание этого вида топлива происходит с большей полнотой сгорания и практически отсутствием вредных выбросов в атмосферу.

Принципиальная схема подачи СУГ приведена на рис. 3.

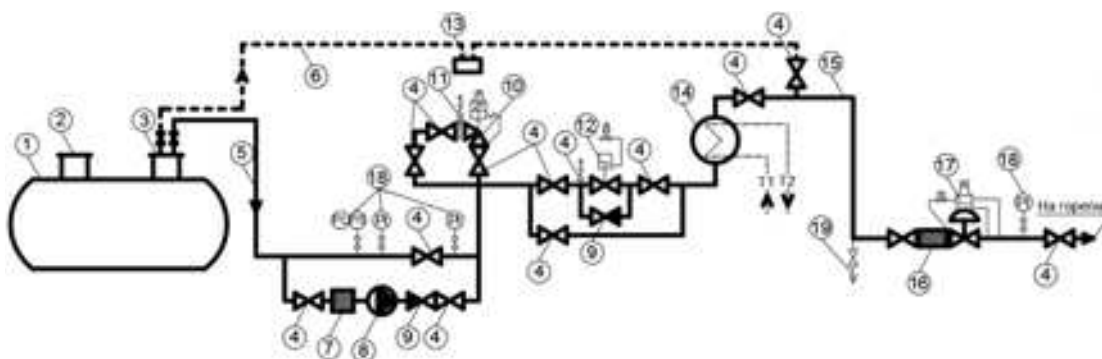


Рис. 3. Принципиальная схема подачи СУГ:

- 1 – резервуар СУГ; 2 – люк-лаз; 3 – арматурный узел резервуара; 4 – запорная арматура; 5 – трубопровод с жидкой фазой СУГ; 6 – трубопровод с паровой фазой; 7 – фильтр для жидкой фазы СУГ; 8 – насос;
9 – обратный клапан; 10 – регулятор давления жидкой фазы; 11 – пружинный клапан безопасности;
12 – нормально-закрытый пневматический запорный клапан; 13 – конденсатосборник; 14 – жидкостный испаритель; 15 – трубопровод паровой фазы; 16 – фильтр паровой фазы; 17 – регулятор давления паровой фазы; 18 – датчики давления; 19 – штуцер для отбора пробы паровой фазы СУГ

Для сжиженных углеводородных газов затраты тепла связаны с искусственной регазификацией, осуществляемой в водяном испарителе Azeovaire A640W [7]:

$$Q_3 = 3 \cdot 24 \cdot 0,75 \cdot L_T \cdot (T_1 - T_2) \cdot \rho, \text{ ккал/кг}, \quad (3)$$

где 0,75 – коэффициент, характеризующий естественное испарение СУГ в резервуаре;

L_T – расход теплоносителя в испарителе, 17,04 м³/ч;

T_1, T_2 – температура теплоносителя до и после испарителя, принимается 90 и 40 °С соответственно;

ρ – средняя плотность теплоносителя, принимается 978 кг/м³.

Необходимо учитывать следующий факт, что переход с основного вида топлива на резервное осуществляется после непосредственной остановки котельного агрегата. Это связано с соплом горелки, размер которого определяется по теплотворной способности природного газа. Поскольку данная характеристика у СУГ сильно отличается от природного газа, для обеспечения нормальной работы горелки необходимо произвести замену сопла. Помимо этого нужно произвести настройку горелки по давлению топлива перед котлом и отрегулировать подачу воздуха на горение. Время, затраченное на данные операции, зависит от конструктивных особенностей горелочного устройства и квалификации рабочего персонала. При использовании резервного топлива – СУГ нужно также учесть, что будет затрачено такое же время при переходе с резервного топлива на основное. Практически избежать простоя, связанные с переходом на резервное топливо и обратно, возможно лишь с остановкой котельных агрегатов [8].

В последнее время развитые западные страны успешно реализовали технологию «Propane-Air». Данный технологический метод позволяет получать синтетический природный

газ (SNG – synthetic natural gas) – смесь воздуха и паровой фазы СУГ. Данная смесь, при верном соотношении СУГ с воздухом, по энергетическим характеристикам практически идентична природному газу [8]. Эта система позволяет значительно повысить уровень автоматизации перехода на резервное топливо, что особенно актуально для предприятий, где необходима бесперебойная подача тепла для производственного процесса, а также для потребителей первой категории. Для получения газозоудной смеси применяются два типа смесителей: смесительный клапан (рис. 4) и трубки Вентури (рис. 5).

Первый вариант позволяет регулировать состав газозоудной смеси в автоматическом режиме для обеспечения требуемого температурного режима эксплуатации, давления на входе и выходе, необходимой производительности, режима эксплуатации, свойств природного газа и других параметров. Данная установка чаще всего применяется, когда условия эксплуатации нестабильны при получении высокого давления SNG. Поэтому стоимость установки на смесительном клапане значительно выше, чем трубки Вентури.

Трубки Вентури по сравнению со смесительным клапаном не обладают данным уровнем автоматизации, однако для условий котельной это и не требуется, так как большинство паровых и водогрейных котельных работают на низком и среднем давлении. Состав SNG регулируется подачей воздуха с помощью ручного воздушного дроссельного клапана (рис. 5, поз. 8). Если в газгольдерах произойдет разделение пропан-бутановых фракций, то калориметр сигнализирует о изменении состава смеси (рис. 6), следовательно, необходимо изменить положение дроссельного клапана [8].

Расчет затрат. Результаты расчета затрат тепла для рассмотренных вариантов применения жидкого топлива для сжигания в котельных приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вид топлива	Теплота сгорания, МДж/кг	КПД, %	Расход топлива котельной, т/ч	Общий запас топлива G, т	Тепловые затраты на подогрев топлива Q, ккал/кг	
					хранение	сжигание
Мазут	40,53	0,85	1,3	90,5	835176858	2494487
ДТ	42,62	0,875	1,2	83,6	-	-
СУГ/SNG	46,1	0,9	1,0	75,2	-	37232460

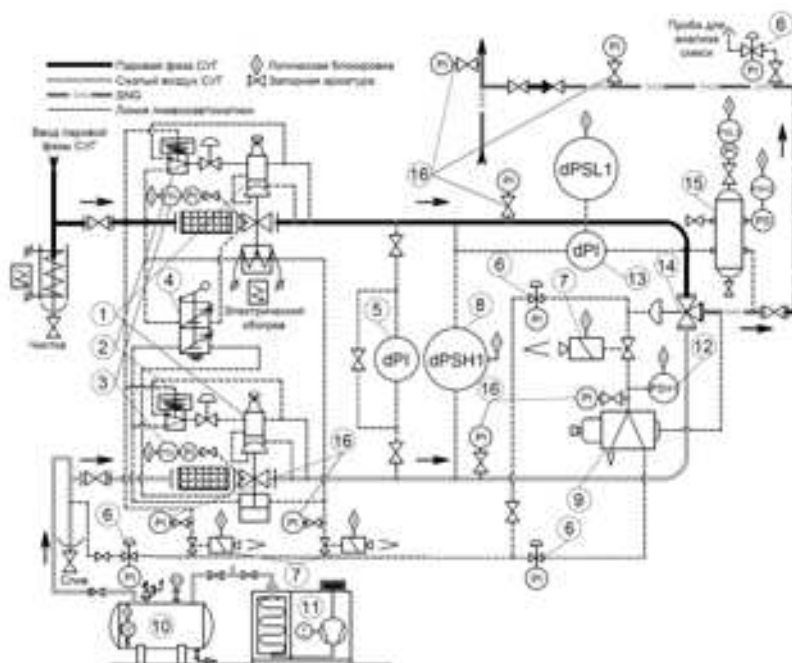


Рис. 4. Принципиальная схема SNG на базе смесительного клапана:

- 1 – регулятор давления; 2 – пневматический трехходовой клапан; 3 – редуктор с электрическим переключателем; 4 – двойной трехходовой клапан; 5 – датчик дифференциального давления; 6 – регулятор давления с фильтром; 7 – электромагнитный клапан; 8 – переключатель дифференциального давления; 9 – устройство для управления смесительным клапаном; 10 – осушитель воздуха; 11 – воздушный компрессор; 12 – переключатель давления; 13 – пневматический регулятор с электрическим переключателем; 14 – смесительный клапан; 15 – трубопровод паровой фазы; 16 – манометр



Рис. 5. Принципиальная схема SNG на базе трубок Вентури:

- 1 – газовый фильтр; 2 – регулятор давления; 3 – датчик расхода и давления; 4 – электромагнитный клапан; 5 – пневматический клапан (СУГ); 6 – воздушный обратный клапан; 7 – пневматический клапан (воздух); 8 – дроссельный клапан с датчиком давления; 9 – воздушный фильтр; 10 – корпус трубки Вентури; 11 – переключатель с датчиком давления; 12 – резервный переключатель давления; 13 – ресивер; 14 – сбросной клапан; 15 – манометр

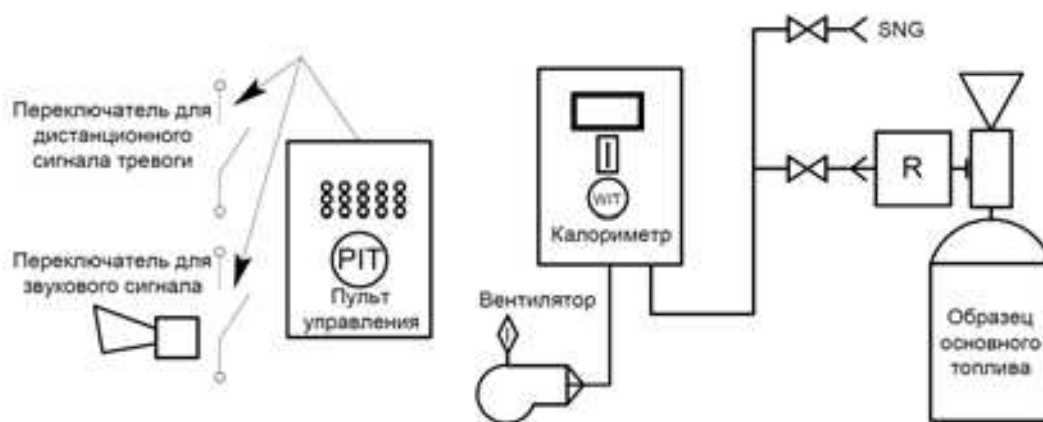


Рис. 6. Принципиальная схема анализа газовой смеси

Расчет общей стоимости складывается из затрат на технологические издержки и стоимости полной заправки топлива:

$$Z = Z_1 + Z_2 \text{ тыс. руб.}, \tag{4}$$

$$Z_1 = G + G_T \text{ тыс. руб.}, \tag{5}$$

где G_T – средняя рыночная цена топлива, руб./т.

$$Z_2 = \sum Q_i \cdot y \cdot 10^{-6}, \text{ тыс. руб.}, \tag{6}$$

где y – средний тариф тепловой энергии по Самарской области, руб./Гкал.

Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Расчет выбросов продуктов сгорания. Наряду с экономическими аспектами, суще-

ственным фактором, определяющим выбор тех или иных видов топлива, является номенклатура и концентрации загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при сжигании топлива. Расчет выделений загрязняющих веществ для рассмотренных видов резервного топлива выполнен в соответствии с «Методикой определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час (с учетом методического письма НИИ Атмосфера № 335/33-07 от 17 мая 2000 г.)» (М., 1999). Составы исследуемых топлив представлены в табл. 3; результаты расчетов – в табл. 4. В расчете присутствует

Таблица 2

Вид топлива	Цена топлива C_T тыс. руб./т	Стоимость полной заправки топлива Z_1 , тыс. руб.	Средний тариф тепловой энергии y , тыс. руб./Гкал	Стоимость технологических издержек Z_2 , тыс. руб.		Общая стоимость Z , тыс. руб.
				хранение	сжигание	
Мазут	19,1	1728,8	1,73	1444,9	4,3	3177,9
ДТ	46,5	3888,1		-	-	3888,1
СУГ/SNG	27,1	2039,0		-	64,4	2103,4

Таблица 3

Вид сжигаемого топлива	Плотность ρ , кг/м ³	Объемная доля элементарного состава топлива, %										
		C	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	N ₂	H ₂	O ₂	CO ₂	S	Ar
Природный газ – Оренбург-Совхозное	0,883	-	91,4	4,1	1,9	0,6	0,2	1,1	-	0,7	-	-
Мазут М100	990	84,65	-	-	-	-	0,07	11,7	0,03	-	0,5	0,14
Дизельное топливо	850	86,3	-	-	-	-	-	13,4	0,1	-	0,2	0,025
СУГ	587	-	-	-	50	50	-	-	-	-	-	-
SNG	1,851	-	-	-	28,35	28,35	34,21	-	9,09	-	-	-

природный газ как эталон наиболее «чистого» топлива для качественной оценки количественных характеристик загрязняющих веществ.

Диаграммы, иллюстрирующие выброс загрязняющих веществ, приведены на рис. 7, а их концентрации – на рис. 8.

Таблица 4

Вид топлива	Наименование	Масса выброса, г/с	Макс. концентрация, мг/м ³
Природный газ	Диоксид азота	0,5529	0,18
SNG		0,5529	0,075
СУГ		0,5529	0,075
ДТ		1,2786	0,18
Мазут		1,2786	0,18
Природный газ	Оксид азота	0,08985	0,006
SNG		0,08985	0,006
СУГ		0,08985	0,006
ДТ		0,2079	0,015
Мазут		0,2076	0,015
Природный газ	Углерод оксид	1,2981	0,006
SNG		0,6489	0,003
СУГ		1,2978	0,006
ДТ		2,5287	0,015
Мазут		5,8971	0,033
Природный газ	Бензапирен	0,0000006	0,003
SNG		0,0000003	0,003
СУГ		0,0000003	0,003
ДТ		0,0000027	0,024
Мазут		0,000003	0,024
ДТ	Сера диоксид	1,1937	0,066
Мазут		5,3328	0,303
ДТ	Сажа	0,3177	0,177
Мазут		0,3969	0,225

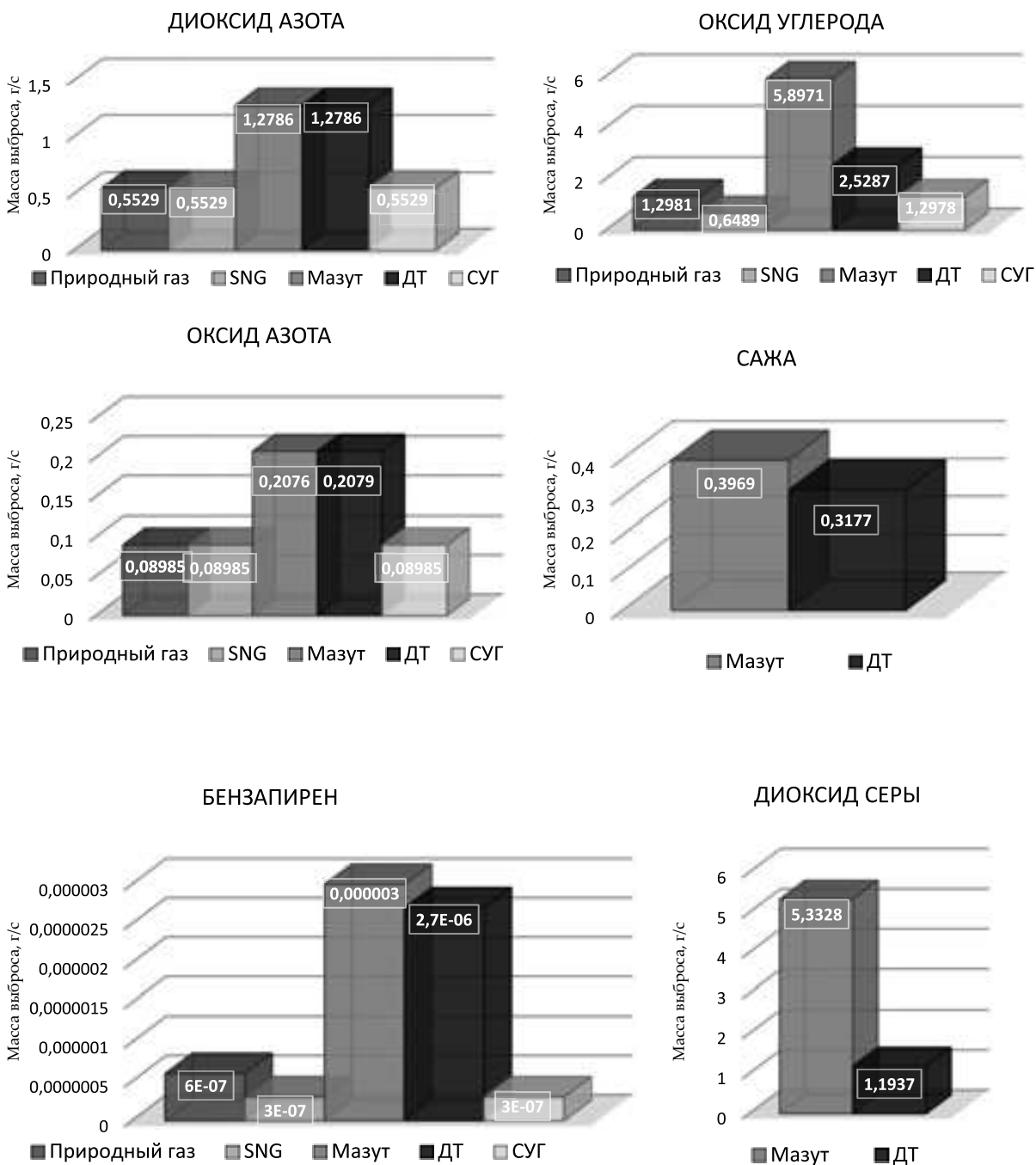


Рис. 7. Результаты расчета выброса

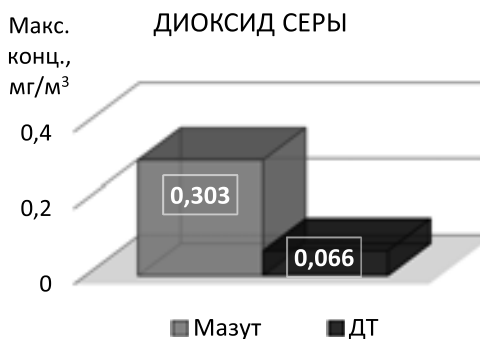
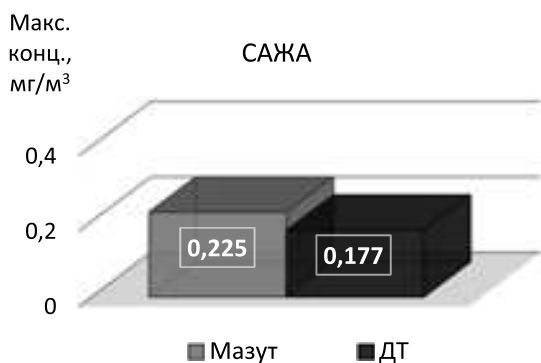
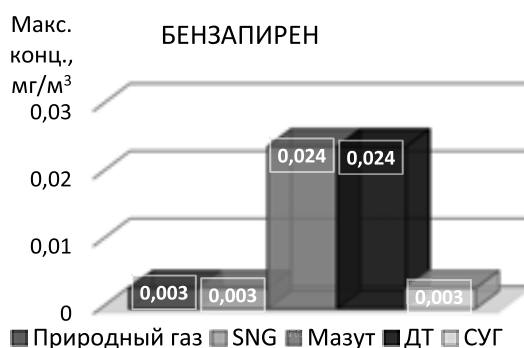
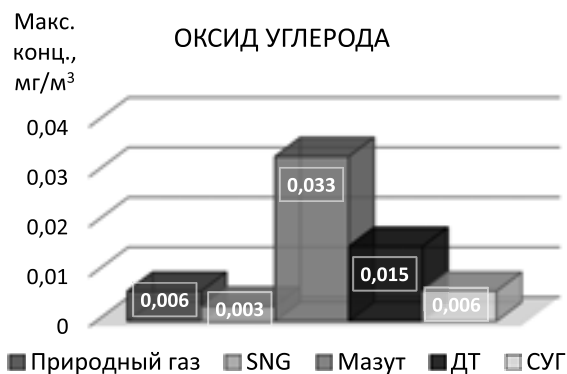
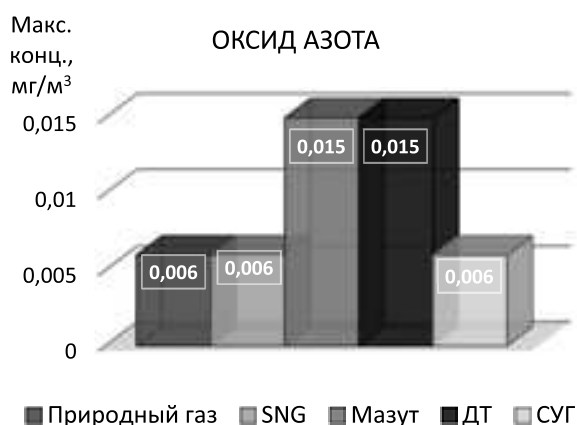
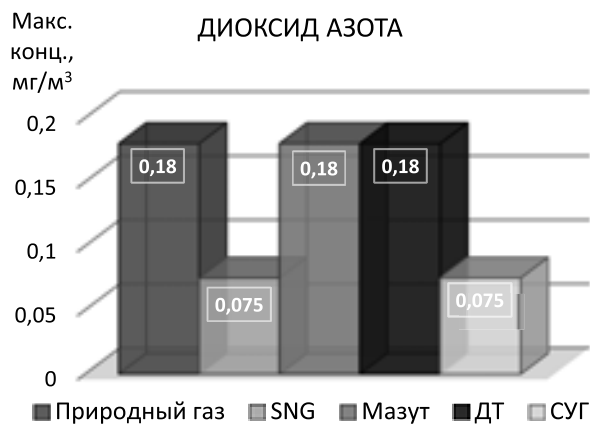


Рис. 8. Результаты расчета концентрации

По результатам расчетов можно сделать **вывод**, что наиболее экономичным из рассмотренных вариантов является применение сжиженных углеводородных газов, так как они дешевле ДТ почти в 2 раза и в 1,5 раза дешевле мазута. Кроме того, использование СУГ (SNG) является наиболее экологичным вариантом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тарасенко В.И., Шацкая К.В. Анализ причин аварий в газовом комплексе // NovaInfo.Ru. 2014. № 24. С. 1–8.
2. Карякин Е.А. Сжиженные углеводородные газы в качестве резервного топлива котельных // Новости теплоснабжения. М., 2015. № 11. С. 24–27.
3. Маркин В.В. Проблемы резервного топлива // Новости теплоснабжения. М., 2006. № 11(75). С. 24–27.
4. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод. Изд. 3-е перераб и доп. СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. 258 с.
5. Стаскевич Н.Л., Вигдорчик Д.Я. Справочник по сжиженным углеводородным газам. Л.: Недра, 1986. 549 с.
6. Шнайдер А. Справочник по автономному и резервному газоснабжению. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Газтехника, 2015. 362 с.
7. Карякин Е.А. Промышленное газовое оборудование: справочник. 6-е изд., перераб. и доп. Саратов: Газовик, 2013. 1280 с.
8. Минкина С.А., Дегтярев К.Ю. Возможности автоматизации перехода на резервное топливо на основании технологии Propane-Air для работы котельной // Механизация и автоматизация строительства [Электронный ресурс]: сборник статей / под ред. С.Я. Галицкова, М.В. Шувалова, Т. е. Гордеевой, Н.Г. Чумаченко, А.К. Стрелкова. Самара: СамГТУ, 2018. С. 159–164.

Об авторах:

ДЕГТЯРЕВ Константин Юрьевич

магистрант 2-го курса гр. МС-77
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: asus740m@gmail.com

ЗОТОВ Николай Сергеевич

магистрант 1-го курса гр. МТ-81
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: trhju6tuyj7i7uyjt@mail.ru

REFERENCES

1. Tarasenko V.I., Shatskaja K.V. Analysis of the causes of accidents in the gas complex. NovaInfo.Ru, 2014, no. 24, pp.14-20. (in Russian)
2. Karjakin E.A. Liquefied petroleum gas as a backup fuel for boilers. *Novosti teplosnabzhenija* [News of Heat Supply], 2015, no.11 (183), pp. 24-27. (in Russian)
3. Markin V.V. Problems of reserve fuel. *Novosti teplosnabzhenija* [News of Heat Supply], 2006, no. 11 (75), pp. 32-35. (in Russian)
4. *Teplovooy raschet kotlov. Normativnyj metod* [Thermal calculation of boilers. Standard method]. Sankt-Peterburg, NPO CKTI, 1998. 258 p.
5. Staskevich N.L., Vigdorchik D.Ja. *Spravochnik po szhizhennym uglevodorodnym gazam* [Handbook of liquefied petroleum gas]. Leningrad, Nedra, 1986. 549 p.
6. Snayder A. *Spravochnik po avtonomnomu i rezervnomu gazosnabzheniju* [Guide to autonomous and backup gas supply]. Sankt-Peterburg, Gaztehnika, 2015. – 362 p.
7. Karjakin E.A. *Promyshlennoe i gazovoe oborudovanie: spravochnik* [Industrial gas equipment: reference book]. Saratov, Gazovik, 2013. 1280 p.
8. Minkina S.A., Degtjarev K.Ju. Automation possibilities of switching to backup fuel for the technology of Propane-Air for the boiler room. *Mehanizatsija i avtomatizatsija stroitel'stva: sbornik statej* [Mechanization and Automation of Construction: collection of articles]. Samara, State Tech. Univers., 2018, pp. 159-164. (in Russian)

DEGTJAREV Konstantin Yu.

Master's Degree Student
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: asus740m@gmail.com

ZOTOV Nikolay S.

Master's Degree Student
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: trhju6tuyj7i7uyjt@mail.ru

МИНКИНА Светлана Абрамовна

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

MINKINA Svetlana A.

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

ЧЕРНОБРОВА Екатерина Александровна

магистрант 2-го курса гр. МС-74
Самарский государственный технический
университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: iekatierina.chiernobrova@mail.ru

CHERNOBROVA Ekaterina A.

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

Для цитирования: *Дегтярев К.Ю., Зотов Н.С., Минкина С.А., Черноброва Е.А.* Выбор вида жидкого топлива для котельной // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 22–32. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.4.
For citation: *Degtyarev K.Yu., Zotov N.S., Minkina S.A., Chernobrova E.A.* Selection of Liquid Fuel Type for Boiler Room // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 22–32. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.4.

Уважаемые читатели!

Испытательный центр «Самарастройиспытания» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

- проведение сертификационных испытаний строительной продукции в соответствии с закреплённой областью аккредитации
- испытание экспериментальных образцов строительной продукции
- испытание опытных образцов при постановке промышленной продукции на производство
- испытание зданий и сооружений в процессе приемки и эксплуатации
- испытание серийно выпускаемой продукции
- периодические испытания образцов, взятых в торговле
- контроль качества строительной продукции
- периодическая проверка состояния производства
- обследование зданий и сооружений
- выполнение судебных экспертиз в области строительства
- анализ состояния производства продукции
- разработка технических условий
- проведение аттестаций испытательных строительных лабораторий
- испытания по признанию иностранных сертификатов соответствия
- совершенствование методик испытаний
- освоение и внедрение новых стандартных методов испытаний
- организация повышения квалификации и аттестации сотрудников строительных предприятий и организаций
- участие в разработке нормативных документов

Руководитель *Зубков Владимир Александрович*

Контакты:

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 315
тел./факс (846) 242-50-87, 242-32-84
E-mail: samstroyisp@gmail.com

**Н. Н. ОСИПОВА
И. М. БЫЧКОВА**

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА В ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ВАННЕ

**STUDY OF THERMAL INTERFERENCE OF ELEMENTS OF THE UNDERGROUND
HEAT EXCHANGER IN ELECTROLYTIC BATH**

Проведено исследование взаимного теплового влияния трубных элементов грунтовых теплообменников. Определено, что количество трубных элементов грунтового теплообменника наибольшим образом влияет на величину притока тепла из грунтового массива. Установлено, что размещение трубных элементов на расстоянии одного диаметра друг от друга обуславливает значительное уменьшение притока тепла к грунтовому теплообменнику. Увеличение расстояния между трубами снижает тепловую интерференцию элементов. Найдены значения коэффициентов тепловой интерференции при различных конфигурациях грунтовых теплообменников, которые в зависимости от количества труб и расстояния между ними варьируются от 0,621 до 0,99.

Ключевые слова: грунтовый теплообменник, тепловая интерференция, экспериментальные исследования, взаимное тепловое влияние, аналогия, коэффициент

Теоретическое обоснование моделирования. При размещении в котловане грунтового теплообменника, состоящего из нескольких параллельно расположенных трубопроводов, возникает их взаимное тепловое влияние (тепловая интерференция), наличие которой снижает теплоприток к каждому элементу и ко всему грунтовому теплообменнику в целом.

Снижение теплопритока к грунтовому теплообменнику вследствие тепловой интерференции его элементов обуславливает снижение его расчетной паропроизводительности.

Если принять теплоприток к одиночному трубопроводу как Q_o , а теплоприток к трубопроводу, работающему в составе группы $Q_{гр}$, то снижение притока можно определить как

$$\mu = \frac{Q_{гр}}{Q_o}. \quad (1)$$

Анализ литературных источников показывает, что задача тепловой интерференции достаточно просто решается методом электротепловой аналогии [1–4].

A study was made of the mutual thermal effect of the tube elements of soil heat exchangers. It was determined that the number of pipe elements of the soil heat exchanger has the greatest effect on the amount of heat influx from the soil mass. It is established that when placing the pipe elements at a distance of one diameter from each other, it causes a significant decrease in the heat influx to the soil heat exchanger. Increasing the distance between the pipes reduces the thermal interference of the elements. The coefficients of thermal interference are found for various configurations of ground heat exchangers, which depending on the number of pipes and the distance between them vary from 0.621 to 0.99.

Keywords: underground heat exchanger, thermal interference, experimental studies, mutual thermal influence, analogy, coefficient

К преимуществам метода электротепловой аналогии относят: простоту и наглядность проведения эксперимента; минимальное влияние внешних источников, связанных с изменением температуры и влажности окружающей среды; легкую управляемость процессом при изменении и измерении физических параметров.

Сформулируем основные теоретические положения метода электротепловой аналогии применительно к конкретной задаче моделирования теплового взаимодействия группы элементов грунтового теплообменника сжиженного газа с окружающей грунтовым массивом в электролитической ванне [5, 6].

Для решения объемной задачи используем ванну, заполненную водопроводной водой, в которой как в полуограниченном массиве теплопроводностью λ имеется ряд элементов, размеры и конфигурация которых соответствуют размерам и конфигурации элементов грунтового теплообменника сжиженного газа.

Тепловой поток, проходящий через любую поверхность F_n , рассчитываем по уравнению Фурье:

$$Q = -\lambda \int_F \frac{dt}{dn}, \quad (2)$$

где dt/dn – температурный градиент по нормали к изотермической поверхности, при условии

$$dt/dn = 0, \quad (3)$$

где n – нормаль к поверхности F_n .

Используем безразмерную температурную функцию

$$T = \frac{t - t_{то}}{t_{гр} - t_{то}}, \quad (4)$$

где $t_{пов}$ – температура на поверхности массива $F_{пов}$, °С;

$t_{то}$ – температура на поверхности трубы грунтового теплообменника $F_{то}$, °С;

t – температура в любой точке массива, °С.

Функция T непрерывна и принимает значения на граничных поверхностях 0 и 1.

Выразим из (4) температуру массива t и продифференцируем полученное выражение. Найдем первую производную температуры массива по нормали к поверхности F_n :

$$\frac{dt}{dn} = \frac{dT}{dn} (t_{гр} - t_{то}), \quad (5)$$

тогда условие (3) трансформируется в условие

$$\frac{dT}{dn} = 0. \quad (6)$$

Для исследования взаимного влияния элементов грунтовых теплообменников различной конфигурации предположим, что в полуграниченном массиве электропроводностью γ имеется ряд полостей, ограниченных поверхностями $f_{то}$. На поверхности массива $f_{гр}$ поддерживается потенциал $V_{гр}$. На поверхностях полостей $f_{то}$ поддерживается потенциал $V_{то}$ и реализуется граничное условие

$$\frac{dV}{d\delta} = 0. \quad (7)$$

Электрический ток, проходящий через любую эквипотенциальную поверхность массива f_n , включая поверхности $f_{гр}$ и $f_{то}$, рассчитываем по закону Ома:

$$Y = -\gamma \int_F \frac{dV}{d\delta}, \quad (8)$$

где $dV/d\delta$ – градиент потенциала по нормали к эквипотенциальной поверхности.

По аналогии с (4) введем безразмерную функцию U для электрического поля, выразим потенциал в любой точке электрического поля через безразмерную функцию, возьмем первую

производную от потенциала электрического поля по нормали к поверхности f_n и получим:

$$\frac{dU}{d\delta} = 0. \quad (9)$$

Подставим (6) и (9) в выражения (2) и (8). В результате получим:

$$Q = -\lambda (t_{гр} - t_{то}) \int_F \frac{dT}{dn}, \quad (10)$$

$$Y = -\gamma (V_{гр} - V_{то}) \int_F \frac{dU}{d\delta}. \quad (11)$$

Если электрическая модель геометрически подобна тепловому оригиналу $n/\delta = k$, выражение (9) примет следующий вид:

$$\frac{dU}{d\delta} = \frac{dU}{d(n/k)} = \frac{dU}{dn} = 0. \quad (12)$$

С учетом (12) трансформируем формулу (1) и запишем выражение для коэффициента тепловой интерференции:

$$\mu = \frac{Q_{гр}}{Q_o} = \frac{-\lambda (t_{гр} - t_{то}) \left[\int_F \frac{dT}{dn} \right]_{гр}}{-\lambda (t_{гр} - t_{то}) \left[\int_F \frac{dT}{dn} \right]_o} = \frac{\left(\frac{dT}{dn} \right)_{гр}}{\left(\frac{dT}{dn} \right)_o}. \quad (13)$$

Аналогично для электрической модели:

$$\frac{Y_{гр}}{Y_o} = \frac{-\gamma (V_{гр} - V_{то}) k \left[\int_F \frac{dU}{dn} \right]_{гр}}{-\gamma (V_{гр} - V_{то}) k \left[\int_F \frac{dU}{dn} \right]_o} = \frac{\left(\frac{dU}{dn} \right)_{гр}}{\left(\frac{dU}{dn} \right)_o} = \mu. \quad (14)$$

Таким образом, коэффициент μ , полученный на электрической модели, сохраняет свое численное значение при переходе к тепловому оригиналу при условии геометрического подобия теплового и электрического полей.

Описание экспериментальной установки. Для исследования взаимного влияния элементов трубной решетки грунтового теплообменника была сконструирована экспериментальная установка электротеплового моделирования (рис. 1).

В качестве аналога грунтового массива использовалась электролитическая ванна, заполненная водопроводной водой. Как показывают многочисленные опыты по электротепловому моделированию, использование воды как электролита вполне допустимо [7–12]. Исследования проводились в ванне размером 0,4x0,6x0,4 м, внутренние поверхности ванны

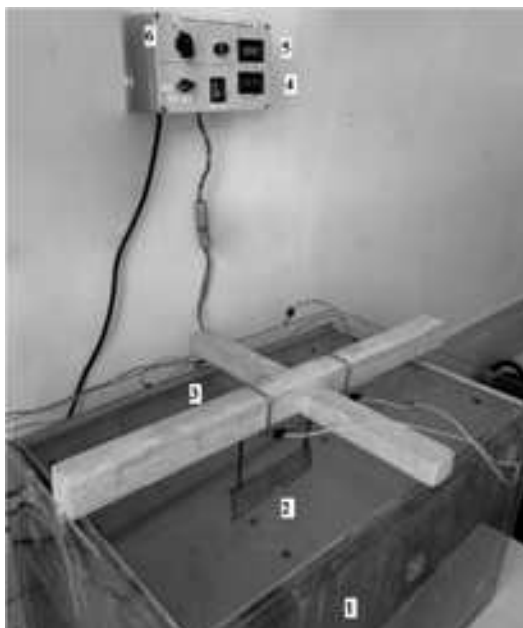


Рис.1. Общий вид экспериментальной установки для моделирования конфигурации грунтовых теплообменников:

- 1 – электролитическая ванна;
- 2 – исследуемый грунтовый теплообменник;
- 3 – рабочий экран;
- 4 – миллиамперметр;
- 5 – милливольтметр;
- 6 – лабораторный автотрансформатор

выполнены из оргстекла. Свободная поверхность грунтового массива имитировалась листовым алюминием на одной из боковых стенок ванны. Электроды, имитирующие различные конфигурации грунтовых теплообменников, закреплялись на перекладине – удаленной от поверхности грунтового массива в соответствии с масштабом расстояния, имитирующего заглубление в грунтовой массив. Различные конфигурации грунтовых теплообменников моделировались из медной проволоки диаметром $d = 3,2$ мм, выполненные геометрически подобными тепловым оригиналам – грунтовым теплообменникам в форме прямоугольной трубной решетки, змеевика, шестиугольной трубной решетки, как представлено на рис. 2.

Питание модели осуществлялось от сети постоянного тока 50 Гц через лабораторный автотрансформатор. Измерение разности потенциалов между электродами и экраном $V_{то} - V_{гр}$ и величины электрического тока проводилось многопредельными приборами AC 80.0-300.0 V 0.01-100 A и DC 0-3.0000 A с классом точности 0,5.

Проведение исследований и анализ полученных результатов. Моделирование полуограниченного грунтового массива в ванне

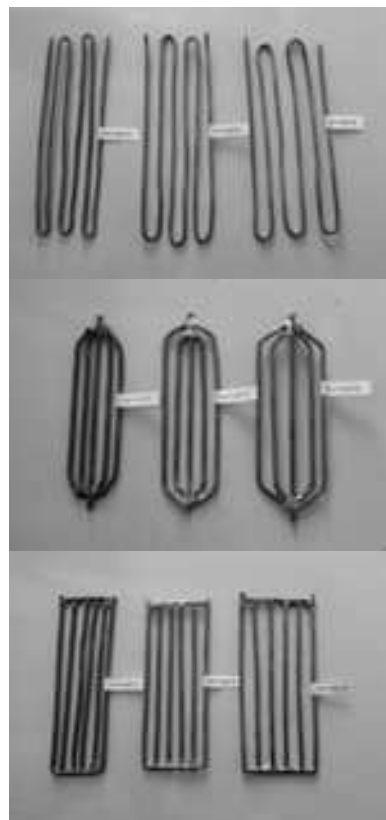


Рис. 2. Общий вид исследуемых электродов

конечных размеров вносит определенную погрешность в результаты исследований.

Для снижения влияния поверхностей ванны на результаты эксперимента используют полупроводящие покрытия стенок ванны в виде токопроводящей резины, металлических решеток или пространственных сеток специально подобранных сопротивлений [6]. Недостатком таких устройств является сложность изготовления. Наиболее простым решением является учет влияния конечных размеров ванны по методу двойного измерения [5].

В основе метода лежит проведение двух опытов при двух граничных условиях на стенках экспериментальной установки:

- все стенки ванны, исключая рабочий экран, являются электроизоляторами, для чего стенки ванны и ее днище закрывались в рабочей области съемными экранами из поливинилхлорида;

- все стенки модели, включая рабочий экран, являются токопроводящими, для чего все стенки ванны и ее днище закрывались в рабочей области съемными экранами из листового алюминия.

Проведенные замеры силы тока при различных граничных условиях позволили оценить влияние конечных размеров ванны на результаты соответствующих измерений.

В качестве примера исследовалась система второго типа (змеевик) из 6 труб с расстоянием между осями труб 4d. Указанный вариант реализует наибольшие размеры исследуемой системы, а значит и максимальную погрешность от влияния стенок ванны на результаты эксперимента (табл.1).

Как следует из табл.1, максимальные расхождения результатов измерений составляют 2,01 %. Учитывая незначительное влияние конечных размеров модели, в последующих опытах измерения силы тока проводились только при токопроводящих стенках ванны.

Таблица 1

Оценка влияния конечных размеров ванны на результаты исследований

Вид грунтового теплообменника	Разность потенциалов $\Delta V, В$	Сила тока при граничных условиях		Погрешность измерений $\delta = \frac{Y_э - Y_n}{Y_n} 100\%$
		Стенки ванны с экраном $Y_э, А$	Стенки ванны без проводящих экранов $Y_n, А$	
Второй тип (змеевик), 6 труб, расстояние между осями труб 4d	1,2460	0,0102	0,0101	0,98
	2,5667	0,0139	0,0137	1,44
	3,9411	0,0145	0,0142	2,01
	6,0557	0,0154	0,0151	1,95
	8,4069	0,0161	0,0158	1,86
	9,9878	0,0164	0,0162	1,22

Исследуемый электрод, имитирующий одну из конфигураций грунтового теплообменника, крепился на деревянной перекладке, погружаясь в электролит на равноудаленные расстояния от стенок, и размещался на заданном расстоянии h от рабочего экрана. Расстояние h принималось с учетом коэффициента подобия модели в соответствии с размером дополнительного слоя $H_{доп}$ [13, 14].

Задавая разность потенциалов $V_{то} - V_{гр}$ измеряем соответствующие значения тока Y_0 . Зная значение приложенного напряжения ΔV и силу тока Y_0 для одиночного электрода, имитирующего одиночный трубопровод, величину удельного электрического тока, приходящуюся на единицу приложенного напряжения, можно определить по формуле

$$\mu_0 = \frac{Y_0}{\Delta V}. \quad (15)$$

Аналогично задаем разность потенциалов между электродами и экраном $V_{то} - V_{гр}$ и проводим замеры силы тока $Y_{гр}$ для теплообменников различной конфигурации, состоящих из нескольких труб.

Величина удельного электрического тока, проходящего между экраном и всеми электродами при данной конфигурации теплообменника, определялась по формуле

$$\mu_n = \frac{Y_{гр}}{\Delta V}. \quad (16)$$

Для исключения промаха при проведении экспериментальных исследований значения μ_0 и μ_n вычислялись как среднее по результатам 6 измерений разности потенциалов и силы тока.

Учитывая, что отношение (15) для одиночного электрода принимается за единицу, определим величину коэффициента m , который учитывает уменьшение электрического тока к исследуемому электроду при конфигурации с групповым размещением элементов:

$$m = \frac{\mu_n}{n\mu_0}, \quad (17)$$

где n – число трубных элементов в конструкции грунтового теплообменника.

Определение численного значения коэффициента m при выборе конфигурации грунтового теплообменника проводилось при расстояниях между ними в осях S , равных 2d, 3d, 4d.

Результаты исследований коэффициента тепловой интерференции m , в зависимости от числа трубных элементов в конструкции грунтового теплообменника n и типа его конфигурации и расстояния между элементами, представлены в табл.2.

Как видно из табл. 2, коэффициент m уменьшается с увеличением количества трубных элементов n в группе и с сокращением расстояния S между элементами. Так, например, при расстоянии S , равном 2d, коэффициент m изменяется от 0,89 (теплообменник из двух труб) до 0,621 (теплообменник из 6 трубных элементов). Аналогично для шестиугольной

Таблица 2

Значение коэффициента тепловой интерференции трубных элементов
грунтового теплообменника m

Конфигурация грунтового теплообменника	Количество элементов в группе n	Расстояние между трубными элементами S		
		2d	3d	4d
Шестиугольная решётка	2	0.890	0.9702	0.999
	3	0.751	0.922	0.991
	4	0.679	0.8915	0.996
	5	0.655	0.865	0.989
	6	0.647	0.842	0.979
Змеевик	2	0.840	0.9485	0.993
	3	0.732	0.908	0.991
	4	0.671	0.8907	0.996
	5	0.648	0.842	0.993
	6	0.63	0.835	0.969
Прямоугольная решётка	2	0.826	0.940	0.999
	3	0.732	0.909	0.997
	4	0.6616	0.8903	0.984
	5	0.6372	0.830	0.992
	6	0.621	0.825	0.979

решетки при количестве трубных элементов $n=3$ коэффициент m изменяется от 0,991 (при расстоянии 4d) до 0,751 (при расстоянии 2d).

Выводы. Конструктивное исполнение грунтового теплообменника и расстояние между трубами оказывают значительное влияние на величину притока тепла из грунтового массива. Полученные в работе значения коэффициентов тепловой интерференции позволят корректно определять паропроизводительность грунтовых теплообменников, что значительно повышает точность инженерных расчетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин В.М., Бойков Г.П., Видин Ю.В. Основы технической теплофизики. М.: Машиностроение-1, 2004. 172 с.
2. Иоссель Ю.Я. Расчет потенциальных полей в энергетике. Л.: Энергия, 1978. 350 с.
3. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. Т. I. Изд. 12. М.: ДМК-Пресс, 2007. 942 с.
4. Измайлов В.В., Чаплыгин С.А. Электротепловая аналогия и расчет проводимости дискретного контакта деталей машин // Интернет-журнал «Науковедение». 2016. Т.8, № 2. <http://naukovedenie.ru/PDF/26TVN216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/26TVN21
5. Гребер Г. Основы учения о теплообмене. М.: Изд-во иностр. лит., 1958. 561 с.
6. Никитин Н.И., Курицын Б.Н. Тепловая интерференция подземных резервуаров сжиженного газа при групповом размещении // Использование газа в народном хозяйстве: сб. науч. тр. ГипроНИИгаз. Саратов: Изд-во «Коммунист», 1969. Вып. 8. 149 с.

7. Осипова Н.Н. Тепловая интерференция подземных резервуаров сжиженного газа при групповом размещении в грунте // Разработка современных технологий и материалов для обеспечения энергосбережения, надежности и безопасности объектов архитектурно-строительного и дорожного комплекса: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2010. С.137–142.

8. Рулев А.В., Усачев А.П., Шурайц А.Л., Усачева Т.А. Электротепловое моделирование теплообмена в системе: трубчатые электронагреватели – испарительный змеевик СУГ, заплавленные в алюминиевый массив с цилиндрической полостью в его центральной части // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2009. Т. 1. № 1(37). С. 130–134.

9. Усачев А.П., Рулев А.В., Фролов А.Ю., Усачева Т.А. Электротепловая аналогия и ее применение к решению задачи теплообмена в змеевиковом испарителе сжиженного углеводородного газа с твердотельным теплоносителем // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2007. Т.1, № 2(23). С. 127–132.

10. Курицын Б.Н., Осипова Н.Н. К моделированию тепловой интерференции подъемных резервуаров сжиженного газа в электролитической ванне // Межвузовский научный сборник. Саратов, 2000. С. 29–34.

11. Рулев А.В., Усачев А.П., Курицын Б.Н., Шурайц А.Л., Бессонова С.А. Исследования теплообмена между трубчатыми электронагревательными элементами и испарительным трубопроводным змеевиком, расположенными в цилиндрическом массиве из алюминия, на основе метода электротепловой аналогии // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения. Саратов: СГТУ, 2010. Т. 1. № 1 (4). С. 103–123.

12. Курицын Б.Н., Кузнецов С.С., Бычкова И.М. Тепловая интерференция элементов трубных решеток в грунтовом массиве // Международный научно-исследовательский журнал. Екатеринбург, 2014. № 1–1(20). С. 37–40.

13. Иoffee И.А. О стационарном температурном поле в полуграниченном массиве с внутренними цилиндрическими источниками тепла // Журнал технической физики. Л.: Изд-во ЛФТИ, 1958. № 5. т.28. С. 1084–1088.

14. Курицын Б.Н., Осипова Н.Н., Максимов С.А., Седяев А.А. Моделирование теплообмена при хранении сжиженного газа в подземных резервуарных установках под воздействием естественных температур грунта и наружного воздуха // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. Воронеж, 2012. № 2(26). С. 35–45.

REFERENCES

1. Fokin V.M., Boykov G.P., Vidin Yu.V. *Osnovy tekhnicheskoy teplofiziki* [Fundamentals of engineering Thermophysics]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2004. 172 p.

2. Iossel' Yu.Ya. *Raschet potentsial'nykh poley v energetike* [Calculation of potential fields in energy]. Leningrad, Energiya Publ., 1978. 350 p.

3. Tittse U., Shenk K. *Poluprovodnikovaya skhemotekhnika* [Solid state circuitry]. Vol. I., ed. 12. Moscow, DMK-Press Publ., 2007. 942 p. ISBN 5940741487.

4. Izmaylov V.V., Chaplygin S.A. The electrothermal analogy and the calculation of the conductivity of the discrete contact of machine parts. *Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE»* [Online journal «SCIENCE»]. Vol. 8, no. 2, 2016. Available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/26TVN216.pdf> DOI: 10.15862/26TVN21

5. Greber G. *Osnovy ucheniya o teploobmene* [Fundamentals of the doctrine of heat]. Moscow, Izdatel'stvo inostrannoy literatury Publ., 1958. 561 p.

6. Nikitin N.I., Kuritsyn B.N. Thermal interference of underground tanks of liquefied gas in group accommodation. *Ispol'zovanie gaza v narodnom khozyaystve: Sbornik nauchnykh trudov Giproniigaz* [The use of gas in the national economy: a Collection of scientific papers Giproniigaz]. Saratov, Kommunist Publ., 1969. i. 8. 149 p. (in Russian)

7. Osipova N.N. Thermal interference of underground liquefied gas tanks at group placement in the ground. *Razrabotka sovremennykh tekhnologiy i materialov dlya obespecheniya energosberezheniya, nadezhnosti i bezopasnosti ob"ektov arkhitekturno-stroitel'nogo i dorozhnogo kompleksa: sbornik nauchnykh trudov* [Development of modern technologies and materials for energy saving, reliability and safety of objects of architectural and road complex: collection of scientific works]. Saratov, SGTU Publ., 2010. Pp.137–142. (in Russian)

8. Rulev A.V., Usachev A.P., Shurayts A.L., Usacheva T.A. Electrothermal modeling of heat transfer in the system: tubular electric heaters-evaporative coil LPG,

melted into an aluminum array with a cylindrical cavity in its Central part. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov State Technical University]. Saratov, SGTU Publ., 2009. Vol. 1, no. 1 (37). Pp. 130-134. (in Russian)

9. Usachev A.P., Rulev A.V., Frolov A.Yu., Usacheva T.A. Electrothermal analogy and its application to solving the problem of heat transfer in a coil evaporator of liquefied hydrocarbon gas with a solid-state coolant. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Saratov State Technical University]. Saratov, SGTU Publ., 2007. Vol. 1, no. 2 (23). Pp. 127-132. (in Russian)

10. Kuritsyn B.N., Osipova N.N. Modeling of thermal interference of underground liquefied gas reservoirs in an electrolytic bath. *Mezhdunarodnyy nauchnyy sbornik* [Interuniversity Scientific Collection]. Saratov, 2000. Pp. 29-34. (in Russian)

11. Rulev A.V., Usachev A.P., Kuritsyn B.N., Shurayts A.L., Bessonova S.A. Studies of heat transfer between tubular electric heating elements and evaporative pipeline coil located in a cylindrical array of aluminum, based on the method of electrothermal analogy. *Nauchno-tekhnicheskie problemy sovershenstvovaniya i razvitiya sistem gazoenergostonabzheniya* [Scientific and technical problems of improvement and development of gas supply systems]. Saratov, SGTU Publ., 2010. Vol. 1, no. 1 (4). Pp. 103-123. (in Russian)

12. Kuritsyn B.N., Kuznetsov S.S., Bychkova I.M. Thermal interference of the elements of the tube sheet in soil. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* [International Research Journal]. Yekaterinburg, 2014, no. 1-1 (20). Pp. 37-40. (in Russian)

13. Ioffe I.A. On a stationary temperature field in a semi-bounded array with internal cylindrical heat sources. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki* [Journal of Technical Physics]. Leningrad, LFTI Publ., 1958, no. 5, vol. 28. Pp. 1084-1088. (in Russian)

14. Kuritsyn B.N., Osipova N.N., Maksimov S.A., Sedyev A.A. Modeling of heat transfer during storage of liquefied gas in underground tank installations under the influence of natural temperatures of soil and outside air. *Nauchnyy vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Scientific Bulletin of the Voronezh state University of Architecture and Construction. Construction and Architecture.]. Voronezh, 2012, no. 2 (26). Pp. 35-45. (in Russian)

Об авторах:

ОСИПОВА Наталия Николаевна

доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Институт урбанистики, архитектуры и строительства
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
тел. (8452)99-88-93
E-mail: osnat75@mail.ru

OSIPOVA Natalia N.

Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Head of the Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Hydro-Gas Dynamics Yury Gagarin State Technical University of Saratov Institute of Urban Studies, Architecture and Construction
410054, Russia, Saratov, Polytekhnikeskaya str., 77
tel. (8452) 99-88-93
E-mail: osnat75@mail.ru

БЫЧКОВА Ирина Михайловна

аспирант кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водообеспечения и прикладной гидрогазодинамики Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А. Институт урбанистики, архитектуры и строительства
410054, Россия, г. Саратов, ул. Политехническая, 77
тел. (8452)99-88-93
E-mail: bychkovaim@mail.ru

BYCHKOVA Irina M.

Postgraduate Student of the Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Applied Hydro-Gas Dynamics Yury Gagarin State Technical University of Saratov Institute of Urban Studies, Architecture and Construction
410054, Russia, Saratov, Polytekhnikeskaya str., 77
tel. (8452) 99-88-93
E-mail: bychkovaim@mail.ru

Для цитирования: *Осипова Н.Н., Бычкова И.М.* Исследование тепловой интерференции элементов грунтового теплообменника в электролитической ванне // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 33–39. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.5.

For citation: *Osipova N.N., Bychkova I.M.* Study of Thermal Interference of Elements of the Underground Heat Exchanger in Electrolytic Bath // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 33–39. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.5.

Уважаемые читатели!

Гидрохимическая лаборатория приглашает к сотрудничеству.

Руководитель *Гульнева Ирина Владимировна*

Контакты:

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 173
тел. (846) 339-14-85
E-mail: labvv173@mail.ru

М. В. ПОСАШКОВ
В. И. НЕМЧЕНКО

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЁТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

SYSTEM APPROACH TO THE MODELING OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS AND THERMAL ENERGY METERING

Предложен алгоритм формирования структуры автоматизированной системы контроля и учёта тепловой энергии, представляющий собой многоуровневую иерархическую модель. В работе сформировано восемь трёхуровневых линейных автоматизированных систем контроля и учёта тепловой энергии. Для выбора наилучшей структуры автоматизированной системы контроля и учёта тепловой энергии, при многообразии на рынке измерительных и вычислительных приборов, отличающихся способами измерения и передачи информации, использован метод многокритериального оценивания системной эффективности структур. Полученные результаты позволяют провести сравнительный анализ структур и выполнить выбор наилучшей с учётом приоритетов лица, принимающего решение.

Ключевые слова: системный анализ, коммерческий учёт, теплосчетчик; преобразователи расхода, температуры, давления; граф, иерархическая модель

Введение. В условиях постоянного роста стоимости энергоносителей, низкой платежеспособности потребителей, высокого износа тепловых энергоустановок систем централизованного теплоснабжения энергоснабжающие предприятия обязаны выполнять требования Федерального закона № 190-ФЗ «О теплоснабжении» в части обеспечения надёжного и бесперебойного теплоснабжения потребителей [1]. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок [2] требуют от энергоснабжающего предприятия поддержания договорных давления с отклонением не более $\pm 0,2$ кгс/см² и температуры на границе балансовой ответственности в подающем трубопроводе в пределах ± 3 °С от установленной температурным графиком. Правила коммерческого учёта тепловой энергии теплоносителя [3] также требуют от энергоснабжающего предприятия обеспечение контроля и поддержания у потребителя требуемого располагаемого напора и температуры.

An algorithm for the formation of the structure of an automated system for monitoring and accounting for thermal energy, which is a multi-level hierarchical model, is proposed. Eight three-level linear automated systems for control and accounting of thermal energy are formed in the work. To select the best structure of the automated system for monitoring and accounting for thermal energy, with a variety of measuring and computing devices on the market that differ in measuring and transmitting information, the method of multi-criteria evaluation of the system efficiency of structures is used. The obtained results allow a comparative analysis of the structures and the selection of the best one, taking into account the priorities of the decision maker.

Keywords: system analysis, commercial account, heat meter; flow, temperature, pressure transducers; graph, hierarchical model

Для выполнения всех вышеперечисленных требований энергоснабжающая организация вынуждена организовывать автоматизированные системы контроля и учёта энергоресурсов (АСКУЭ): количества тепловой энергии, расходов, располагаемого давления и температуры теплоносителя, поставляемых потребителю.

Основными элементами системы АСКУЭ являются теплосчетчики, устанавливаемые на границе балансовой и эксплуатационной ответственности между энергоснабжающей организацией и потребителем. Обоснованный выбор модели теплосчетчика обеспечит надёжное исполнение своих договорных обязательств как поставщика, так и потребителя энергоресурсов.

Также важную роль играет выбор способа передачи информации с теплосчётчика как с позиции надёжности, так и затрат на создание и последующую эксплуатацию структуры системы АСКУЭ.

Для разработки системы АСКУЭ предприятия, функционирующего в рыночных условиях, требуется формирование структур управления, способных к самоуправлению и саморазвитию. Создание таких структур возможно посредством комплексной оценки эффективности функционирования системы АСКУЭ предприятия с использованием методов системного анализа. Системный подход позволяет выполнить комплексную оценку эффективности функционирования системы АСКУЭ предприятия с учетом многих факторов: энергетических, экономических, экологических, потребительских, организационных, нормативно-правовых и других, характеризующих его ретроспективную и текущую деятельность, а также сформировать в условиях рыночной экономики комплекс стратегических мероприятий, обеспечивающих быстрое реагирование на изменение факторов внешней среды.

Целью исследования является разработка системного подхода к формированию и выбору оптимальных схем систем АСКУЭ, обеспечивающих постоянный мониторинг качества теплоснабжения потребителей и своевременного выявления утечек.

В соответствии с целью поставлены следующие задачи:

- Разработка алгоритма формирования многоуровневой иерархической модели выбора оборудования для систем АСКУЭ.

- Проведение сравнительного анализа систем АСКУЭ с учётом приоритетов лица, принимающего решение.

Рассмотрим принцип формирования и выбора наилучшего варианта многоуровневой системы АСКУЭ на примере системы теплоснабжения производственного объекта.

Описание существующей системы коммерческого учета тепловой энергии производственного объекта

Система теплоснабжения промышленной площадки включает в себя источник тепловой энергии, тепловую сеть и системы теплоснабжения 45 потребителей. Источник тепловой энергии – блочная модульная котельная. Тепловая энергия используется потребителями для нужд отопления, горячего водоснабжения и вентиляции.

Структура существующей трёхуровневой системы контроля и учета тепловой энергии и теплоносителя представлена в виде графа G_0 [1] на рис. 1. Вершина a_1 графа G_0 – инженер, который производит ручной сбор данных при обходе каждого теплового пункта, а также занимается обработкой и анализом этих данных и передает их лицу, принимающему решение по результатам учета – a_0 ; b_1 – b_{45} – теплосчетчики, осуществляющие автоматическое измерение параметров теплоснабжения и расчет количества тепловой энергии, установленные в индивидуальных тепловых пунктах потребителей. Аналитическое представление трёхуровневого графа имеет вид

$$G_0 = \{a_0, a_1, b_1, \dots, b_{45}\}. \quad (1)$$

Данная структура обладает рядом существенных недостатков: низкая оперативность управления теплоснабжением промплощадки из-за длительного процесса сбора и передачи полученной информации на верхний уровень. Кроме того, существующие теплосчетчики, установленные в тепловых пунктах потребителей, не соответствуют требованиям Правил [2] и нуждаются в модернизации.

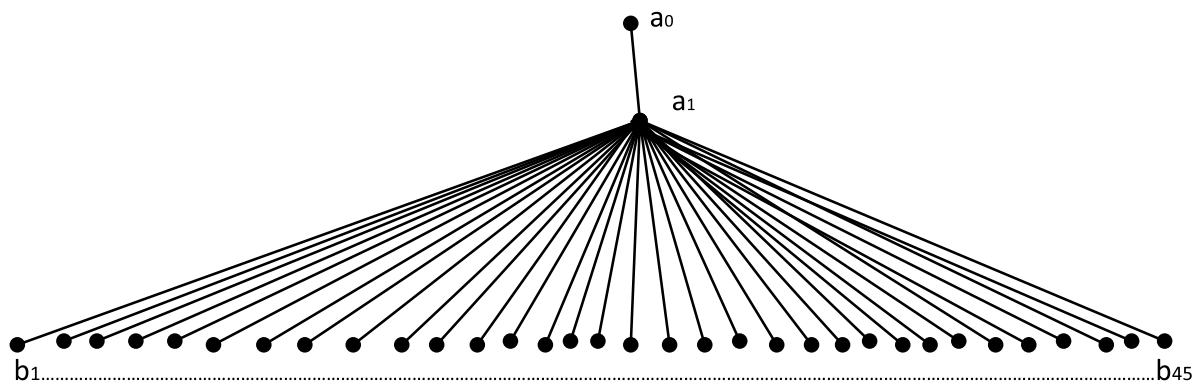


Рис. 1. Структура существующей системы учета тепловой энергии и теплоносителя – G_0

Модернизированная система АСКУЭ упрощит сбор информации о выработке, распределении и потреблении тепловой энергии, обеспечит большую надежность, оперативность получения информации и ее постоянный мониторинг.

Алгоритм формирования структуры АСКУЭ представлен на рис. 2. На основе анализа существующей структуры и параметров учета тепловой энергии и теплоносителя на промплощадке формулируются требования к комплектам теплосчетчиков.

На основе технологических и структурных требований осуществляется выбор группы теплосчетчиков, наиболее полно удовлетворяющих этим требованиям. На следующем этапе производятся расчеты метрологических характеристик и показателей надежности приборных комплектов. Затем строятся и моделируются трехуровневые структуры АСКУЭ. Осуществляется выбор наилучшей структуры.

Выбор оборудования для комплектов теплосчетчиков

Для модернизации существующей системы учета были рассмотрены теплосчетчики четырех производителей: ЗАО «Взлет», ООО «Промсервис», ООО «Теплоком» и ООО «Карат». Для закрытых систем теплоснабжения с зависимым подключением

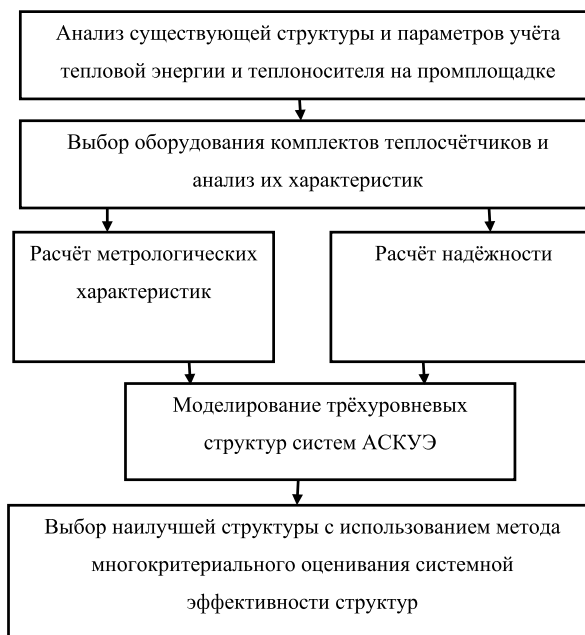


Рис. 2. Алгоритм формирования структуры

систем теплоснабжения в состав комплекта теплосчетчика входит: тепловычислитель, два термопреобразователя сопротивления, два преобразователя избыточного давления и два преобразователя расхода.

Таблица 1

Комплекты теплосчетчиков для АСКУЭ

Наименование оборудования	Схемы							
	G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇	G ₈
	«Взлет»		«Теплоком»		«Промсервис»		«Карат»	
Тепловычислитель	ТСР-024М		ВКТ-7М-01		СПТ943		КАРАТ-307-6V6T6P-RS485	
Термопреобразователь	ТСП		КТСП-Н		КТС-Б		КТС-Б	
Расходомер	МР УРСВ-520Ц		ПРЭМ		ЭМИР ПРАМЕР		КАРАТ 551	
Датчик давления	СДВ		СДВ		СДВ		СДВ	
Кабель FTP 4x2x0,52	+	-	-	+		+	+	-
Кабель КИПЭВ 4x2x0,6	+	+	+	+	+	+	+	+
Коммутатор 8-портовый EDS-208A	+	-	-	+	-	+	+	-
Преобразователь NPORT 5450	+	-	-	+	-	+	+	-
Модем ONCELL G3150A-LTE-EU	-	+	+	-	+	-	-	+

Комплекты теплосчётчиков подбирались с учетом передачи информации с использованием двух типов связи: проводной Ethernet и беспроводной по GSM каналу. Варианты подобранных комплектов теплосчётчиков приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что комплекты приборов с проводной передачей, кроме самого теплосчётчика, включают в себя коммутатор 8-портовый EDS-208A и преобразователь NPORT 5450, а с беспроводной передачей – модем ONCELLG3150A-LTE-EU.

Оборудование выбранных производителей внесено в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Для проверки соответствия Правилам учета тепловой энергии [2] подобранных теплосчетчиков, согласно Методике [3], определены значения погрешностей с использованием эксплуатационных инструкций оборудования, размещённых на официальных сайтах производителей. Результаты расчёта погрешностей представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что наименьшая погрешность у комплекта теплосчётчика ЗАО «Взлет» – $\pm 2,37\%$, а наибольшая у комплекта ООО «Карат» – $\pm 2,81\%$, что не превышает допустимой $\pm 4\%$. У теплосчётчиков ООО «Теплоком» и ООО «Промсервис» погрешности примерно равны и составляют $\pm 2,72\%$ и $\pm 2,73\%$ соответственно. Все рассматриваемые комплекты теплосчётчиков соответствуют требованиям Правил [4].

Теплосчетчики ООО «Промсервис» и ООО «Теплоком» устанавливались в каждом тепловом пункте потребителя из-за ограниченного расстояния (до 50 м) передачи сигнала от датчиков к вычислителю. Теплосчётчики ЗАО «Взлет» и ООО «Карат» устанавливались на двух-трех тепловых пунктах из-за возможности передачи сигнала с датчиков на вычислитель до 200 м. На следующем этапе выполняется оценка надежности теплосчетчиков.

Расчет доли негодных теплосчётчиков на основе статистических данных

Руководствуясь статистическими данными [5] о количестве негодных приборов из комплектов теплосчетчиков марок ЗАО «Взлет», ООО «Теплоком», ООО «Промсервис» и ООО «Карат», при помощи эталонных установок проводилась поверка комплектов оборудования. По результатам поверки были получены доли негодных приборов: тепловычислителей – $P_{ТВ} = 0,228$, преобразователей расхода – $P_P = 0,1848$, преобразователей температуры – $P_T = 0,109$, преобразователей избыточного давления – $P_A = 0,197$. Доли негодных комплектов для определенного набора теплосчетчика рассчитывались по следующим формулам:

– для теплосчетчиков ООО «Промсервис» и ООО «Теплоком» на одного потребителя, в составе: тепловычислитель, два датчика давления, два расходомера и согласованная пара термопреобразователей сопротивления:

$$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 2P_P^2 + 2P_T^2 + 2P_A^2} = 0,4714; \quad (2)$$

– для теплосчетчиков ЗАО «Взлет» на двух потребителей в составе: тепловычислитель, четыре датчика давления, четыре расходомера и два комплекта согласованных пар термопреобразователей сопротивления:

$$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 4P_P^2 + 4P_T^2 + 4P_A^2} = 0,6262; \quad (3)$$

– для теплосчетчиков ЗАО «Взлет» и ООО «Карат» на трёх потребителей в составе: тепловычислитель, шесть датчиков давления, шесть расходомеров и три комплекта согласованных пар термопреобразователей сопротивления:

$$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 6P_P^2 + 6P_T^2 + 6P_A^2} = 0,7497. \quad (4)$$

Таблица 2

Расчёт погрешностей приборов

Производитель	Погрешность приборов, %			
	вычислитель	термопреобразователь	расходомер	теплосчётчик
ЗАО «Взлет»	$\pm 0,53$	$\pm 0,58$	$\pm 1,26$	$\pm 2,37$
ООО «Теплоком»	$\pm 0,55$	$\pm 0,65$	$\pm 1,52$	$\pm 2,72$
ООО «Промсервис»	$\pm 0,58$	$\pm 0,73$	$\pm 1,42$	$\pm 2,73$
ООО «Карат»	$\pm 0,58$	$\pm 0,73$	$\pm 1,5$	$\pm 2,81$
Допустимая величина погрешности прибора	-	-	$\pm 3,5$	± 4

По результатам расчета можно сделать вывод, что с повышением количества оборудования в составе теплосчетчика повышается и доля негодных комплектов. Надежность сравниваемых комплектов теплосчетчиков значительно отличается, но не превышает максимального предельного значения, равного 1.

Моделирование многоуровневых структур АСКУЭ

Многоуровневые АСКУЭ, согласно [6], имеют следующую структуру:

1) нижний уровень – приборы, которые осуществляют измерения по местам учета – комплекты теплосчетчиков, установленные в индивидуальных тепловых пунктах;

2) средний уровень – устройства сбора и передачи информации, позволяющие осуществлять круглосуточный сбор данных по учету, накопление, обработку и передачу на следующие уровни на автоматизированное рабочее место (АРМ) отдела энергоснабжения; АРМ службы энергоснабжения (ЭВС), АРМ диспетчерской службы (филиала), сервер базы данных (SQL);

3) верхний уровень – персональные компьютеры, осуществляющие обработку, отображение, архивирование и анализ данных учета АРМ главного энергетика.

С использованием методологии теории графов [1] смоделированы восемь многоуров-

невых схем автоматизированных систем учета тепловой энергии и теплоносителя.

Во всех структурах информация о расходе, температуре и давлении от датчиков g_1-g_n к тепловычислителям f_1-f_n передается по кабелю КИПЭВ $4 \times 2 \times 0,6$.

В структурах G_1, G_4, G_6, G_7 отличающихся комплектами теплосчетчиков, приведенными в табл. 1, реализована проводная передача информации. В структуре G_1 , приведенной на рис. 3, с датчиков g_1-g_{270} передается информация на 18 тепловычислителей ТСП-024М ЗАО «Взлёт» f_1-f_{18} и по интерфейсу RS485 с использованием кабеля FTP $4 \times 2 \times 0,52$ на 8-портовые коммутаторы EDS-208A. Из-за значительного удаления потребителей друг от друга и возможности передачи сигнала по интерфейсу RS485 до 1500 м размещается на промплощадке шесть 8-портовых коммутаторов EDS-208A – e_1-e_6 . К каждому коммутатору подключается по три тепловычислителя. После каждого коммутатора EDS-208A устанавливаются преобразователи MOXANPORT 5450 для преобразования интерфейса RS485 в Ethernet.

Размещаются коммутаторы и преобразователи интерфейсов в существующих зданиях на территории промплощадки. Затем информация с каждого из шести преобразователей MOXANPORT 5450 передается на четыре коммутатора EDS-208A c_1-c_4 установленных в сер-

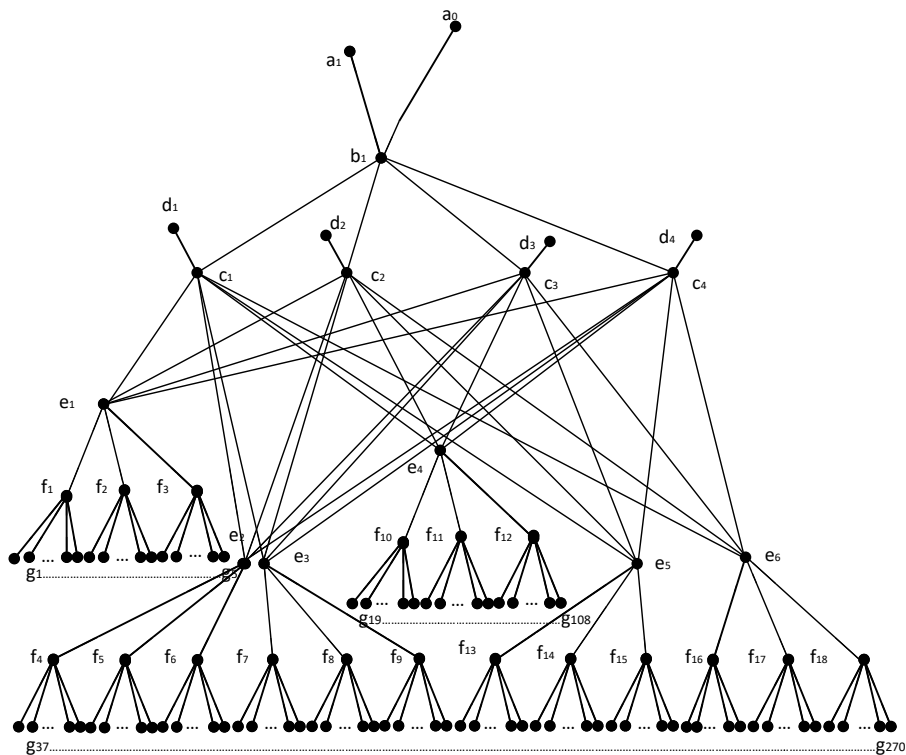


Рис. 3. Структура АСКУЭ с передачей данных по RS485/Ethernet – G_1

верной СЭРБа промплощадки, к которым по локальной сети подключены компьютеры: d_1 – АРМ отдела энергоснабжения; d_2 – АРМ службы энергоснабжения (ЭВС), АРМ диспетчерской службы (филиала), d_4 – сервер базы данных (SQL). На верхний уровень – АРМ главного энергетика a_0 и a_1 – АРМ диспетчерской службы (дочернего общества) информация передается посредством коммутатора EDS-208A – b_1 по сети Ethernet из серверной промплощадки с четырёх коммутаторов EDS-208A – c_1 – c_4 .

Графы структур G_4, G_6, G_7 отличаются от G_1 количеством вычислителей: 45 – G_4, G_6 и 15 – G_7 . Математическая запись структур графов представлена в зависимостях (5), (6), (7) и (8).

$$G_1 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{18}, f_1 \dots f_{18}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (5)$$

$$G_4 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{15}, f_1 \dots f_{45}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (6)$$

$$G_6 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{15}, f_1 \dots f_{45}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (7)$$

$$G_7 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{15}, f_1 \dots f_{15}, g_1 \dots g_{270}\}. \quad (8)$$

В структурах G_2, G_3, G_5, G_8 представлены модели систем с дистанционным типом передачи информации при помощи подключенного к теплосчетчику GSM-модема.

В структуре G_2 , представленной на рис. 3, число датчиков g_1 – g_{270} и принцип передачи сигналов на вычислители f_1 – f_{18} аналогичен схеме G_1 , так как используется такая же модель – TCP-024M

ЗАО «Взлёт». Информация с вычислителей передается 18 GSM-модемами ONCELLG3150A – e_1 – e_{18} в серверную, где принимается модемами b_1, c_1 – c_4 и передается на компьютеры работников: d_1 – АРМ отдела энергоснабжения, d_2 – АРМ службы ЭВС, d_3 – АРМ диспетчерской службы (филиала), d_4 – сервер базы данных (SQL).

На всех рассматриваемых в работе схемах вершина a_0 обозначает АРМ главного энергетика, a_1 – АРМ диспетчерской службы (дочернего общества), g_1 – g_{270} – датчики расхода, давления и температуры, установленные на трубопроводах тепловых сетей.

Структуры G_3, G_5, G_8 отличаются от G_2 количеством вычислителей: 45 – G_3, G_5 и 15 – G_8 . Математическая запись структур графов представлена в зависимостях (9), (10), (11) и (12).

$$G_2 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{18}, f_1 \dots f_{18}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (9)$$

$$G_3 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{45}, f_1 \dots f_{45}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (10)$$

$$G_5 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{45}, f_1 \dots f_{45}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (11)$$

$$G_8 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{15}, f_1 \dots f_{15}, g_1 \dots g_{270}\}. \quad (12)$$

Выбранные комплекты теплосчетчиков соответствуют Правилам [2]. Величина погрешности теплосчетчиков не коррелируется с их надёжностью в процессе эксплуатации. Наименьшая погрешность у теплосчетчиков ЗАО «Взлёт» ($\pm 2,37$) при самой низкой надёжности (0,7497).

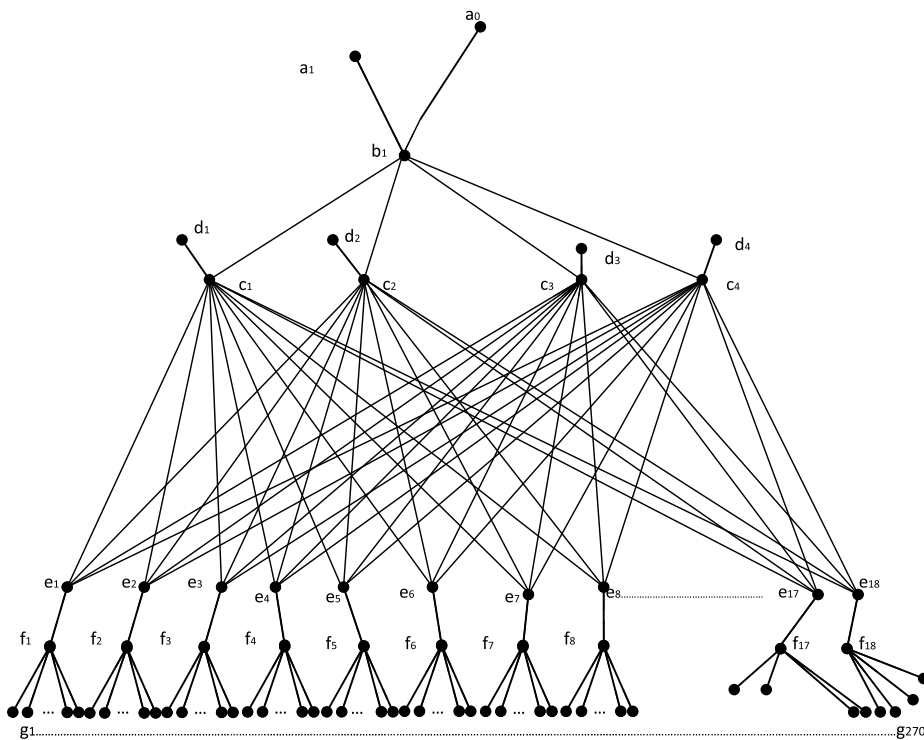


Рис. 4. Структура АСКВЭ с передачей данных по беспроводной сети GSM – G_2

Сформировано восемь трёхуровневых линейных структур АСКУЭ. Для выбора АСКУЭ, при многообразии на рынке измерительных и вычислительных приборов, отличающихся способами измерения и передачи информации, необходимо проведение системного анализа структур с использованием метода многокритериального оценивания системной эффективности структур [7] (рис. 5).

В основе метода многокритериального оценивания системной эффективности структур лежит четырехуровневая иерархическая модель:

1) На четвертом уровне – определяются характеристики структуры, которые зависят от выбора типа используемого оборудования.

2) На третьем уровне при помощи методологии теории графов из множества характеристик формируются частные критерии для оценки сравниваемых систем.

3) На втором уровне из частных критериев формируются группы критериев, и по каждой группе при помощи методологии DEA [7] определяются обобщенные показатели.

4) Первый уровень – определение глобального показателя сравнительной эффективности структур.

Согласно данному методу для рассматриваемых структур АСКУЭ получены частные критерии, разбитые на группы: сбалансированность, надежность, управляемость, экономические показатели (табл. 3).

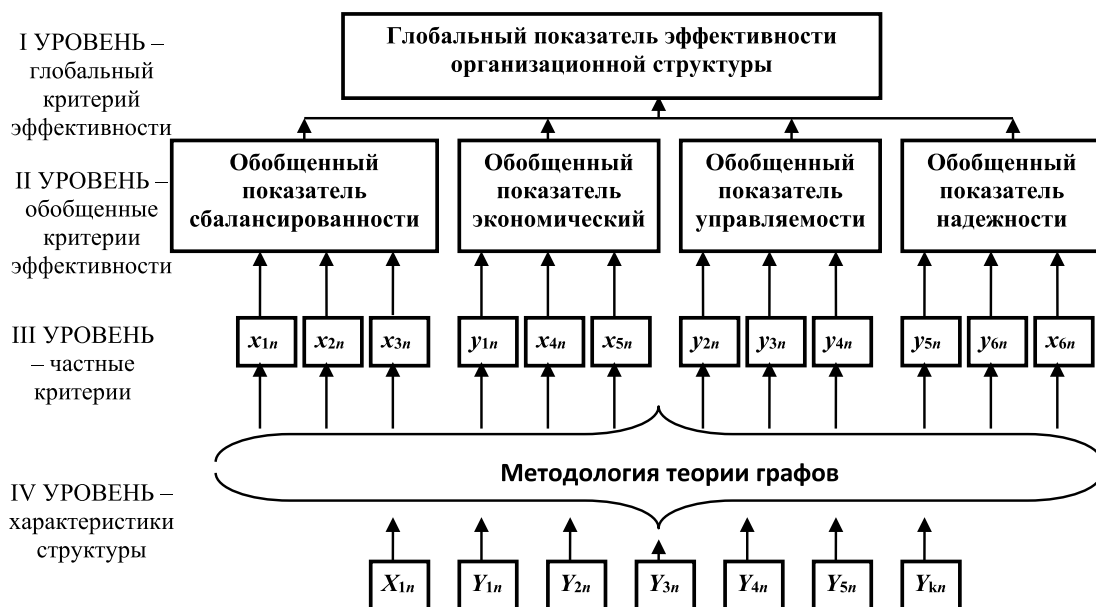


Рис. 5. Иерархическая модель оценивания сравнительной эффективности организационной структуры

Анализ сбалансированности показал, что наиболее сбалансированы структуры G_4 и G_6 (15), а наименее – G_3 (45).

В группе экономических критериев наилучшие показатели у восьмой схемы, худшие у третьей схемы. По остальным группам критериев значения частных критериев противоречивы и не позволяют выбрать наилучший вариант схемы.

Проведенный анализ критериев по группам не позволил определить наилучшую структуру, поэтому, используя метод многокритериального оценивания системной эффективности структур, сформируем математическую модель (рис. 6) для определения глобального показателя эффективности для каждой структуры:

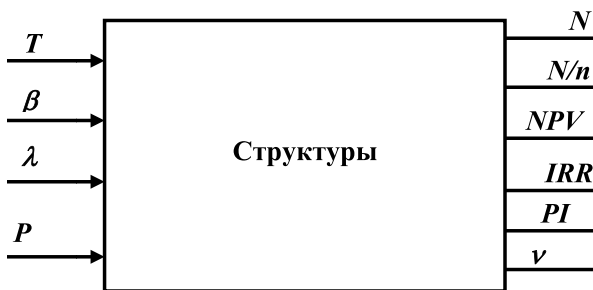


Рис. 6. Математическая модель решения задачи методом DEA для нахождения глобального показателя эффективности

Таблица 3

Частные критерии структур АСКУЭ

Группа	Критерии	Структура								Целевая функция
		G ₁	G ₂	G ₃	G ₄	G ₅	G ₆	G ₇	G ₈	
Сбалансированность	Максимальная информационная нагрузка	18	18	45	15	20	15	18	18	Min
	Степень неравномерности информационной нагрузки	18	18	45	15	20	15	18	18	Min
Управляемость	Число каналов управления	322	370	505	385	430	370	365	355	Max
	Соотношение числа каналов управления и вершин	1,06	1,17	1,36	1,13	1,26	1,13	1,21	1,14	Max
	Число контуров управления	19	55	55	46	91	46	66	46	Max
Надежность	Число реберной связности	1	1	1	1	1	1	1	1	Max
	Число внутренней устойчивости	274	274	274	274	274	274	274	274	Max
	Число внешней устойчивости	31	43	52	67	67	52	27	37	Min
	Доля негодных приборов	0,75	0,75	0,22	0,22	0,63	0,63	0,85	0,85	Min
Экономические показатели	Чистая приведенная стоимость NPV, тыс. руб.	-2367	-1988	-4614	-3400	800	-292	1815	2602	Max
	Внутренняя ставка доходности IRR, %	6,5	7	4	5	11	9	13	15	Max
	Индекс доходности PI	0,77	0,8	0,64	0,7	1,1	0,96	1,24	1,39	Max
	Дисконтированный срок окупаемости T, лет	24	21	33	27	14	16	12	10	Min

$$f_n = \max \frac{1}{v_1 \cdot \lambda} + (u_1 \cdot N + u_2 \cdot N/n + v \cdot u_3) + \frac{1}{\beta \cdot v_2 + P \cdot v_3} + \frac{NPV \cdot u_4 + IRR \cdot u_5 + PI \cdot u_6}{T \cdot v_4}, \quad (13)$$

где $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, v_1, v_2, v_3, v_4$ – весовые коэффициенты.

Выходные факторы: N – число каналов управления; N/n – соотношение числа каналов управления и вершин; v – число контуров управления; IRR – внутренняя ставка доходности; NPV – чистая приведенная стоимость; PI – индекс доходности.

Входные параметры: $\bar{\lambda}$ – степень неравномерности информационной нагрузки; β – число внешней устойчивости; p – доля негодных приборов; T – дисконтированный срок окупаемости.

Учет максимизации и минимизации параметров осуществляется в системе в MS Excel с использованием функции «Поиск решения». Результатом решения восьми оптимизационных нелинейных задач являются значения глобального показателя f_n для каждой схемы. Влияние входных и выходных критериев учитывает значение полученных весовых коэффициентов. Чем ближе значение глобального показателя f_n к единице, тем приоритетнее выбор данной схемы относительно других.

На рис. 7 видно, что глобальный показатель сравнительной эффективности наибольший у структур G_3, G_5, G_7 ($f_n = 1$). Рассматриваемые структуры на базе комплектов теплосчетчиков ООО «Теплоком», ООО «Промсервис» и ООО «Карат» соответственно. Системы АСКУЭ на базе комплектов теплосчетчиков марки ЗАО «Взлет» (структуры G_1, G_2) имеют низкие значения глобального показателя f_n и далее не рассматриваются.

Структура G_3 отличается лучшими показателями надежности и управляемости – это ее преимущество. Структура G_7 отличается высокой надежностью и хорошими экономическими показателями.

Структура G_5 обладает так же, как и G_3 , высокой надежностью, но уступает ей по показателям управляемости.

Выбор наилучшего варианта структуры за лицом, принимающим решение. Если важно минимизировать затраты на модернизацию и обеспечить быстрый срок окупаемости, то необходимо выбрать структуру G_7 , если требуется высокая надежность и управляемость, то структуру G_3 .

Выводы. 1. Разработан подход к формированию и выбору оптимальных систем АСКУЭ, обеспечивающих постоянный мониторинг качества теплоснабжения потребителей и своевременного выявления утечек для любых систем теплоснабжения.

2. Предложенный в работе подход применим ко всем типам систем теплоснабжения с большим количеством потребителей, расположенных на значительном расстоянии от теплоисточника.

3. Системный подход позволил выполнить комплексную оценку эффективности функционирования системы АСКУЭ предприятия с учетом многих факторов: сбалансированность, надежность, управляемость, экономические показатели, учитывающие адаптивность структур к изменениям внешней среды.

4. Предложенный алгоритм формирования многоуровневой иерархической модели выбора оборудования для системы АСКУЭ позволяет провести сравнительный анализ систем и выбор наилучшей с учётом приоритетов лица, принимающего решение.

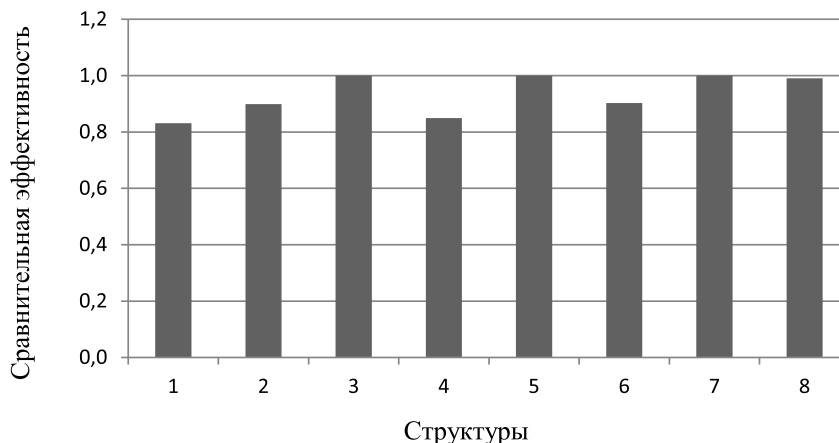


Рис. 7. Глобальный показатель сравнительной эффективности

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О теплоснабжении: федер. закон Рос. Федерации от 27.07.2010 № 190-ФЗ // Рос. газ. 2010. 30 июля.
2. Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок: приказ Минэнерго России от 24.03.2003 № 115 // Рос. газ. 2003. 16 сентября.
3. О коммерческом учёте тепловой энергии, теплоносителя: постановление Правительства Рос. Федерации от 18.11.2013 № 1034 // Рос. газ. 2013. 21 ноября.
4. *Посашков М.В., Немченко В.И.* Многокритериальная оценка эффективности организационной структуры газораспределительной организации // Газовая промышленность. М.: ООО «Газойл пресс». 2014. № 1/701. С. 16–21.
5. СТО Газпром 2-1.15-878-2014. Основные положения по автоматизации объектов энергетики, утвержденные распоряжением ОАО «Газпром» от 24.11.2014 № 293.
6. *Харари Ф.* Теория графов. М.: Мир, 1973. 301 с.
7. *Дилигенский Н.В., Посашков М.В.* Методы системного анализа для многокритериального оценивания и повышения энергетической эффективности объектов и систем децентрализованного теплоснабжения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Самара: СамНЦ РАН, 2011. Т. 13 (39), № 4(4). С. 949–956.
8. Методика осуществления коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя. Зарегистр. в Минюсте России 12.09.2014 г. № 34040В.
9. *Немченко В.И., Посашков М.В., Крайнов О.К., Бодягин А.А., Зубков Д.Н.* Сравнительный анализ приборного парка коммерческого учета тепловой энергии в Самаре // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 1. С. 25–32. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.5.

Об авторах:

ПОСАШКОВ Михаил Викторович

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: b111ik@mail.ru

НЕМЧЕНКО Владимир Иванович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления и системного анализа теплоэнергетических и социотехнических комплексов Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: nemchenko_vi@mail.ru

Для цитирования: *Посашков М.В., Немченко В.И.* Системный подход к моделированию автоматизированной системы контроля и учёта тепловой энергии // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 40–49. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.6.

For citation: *Posashkov M.V., Nemchenko V.I.* System Approach to the Modeling of Automated Control Systems and Thermal Energy Metering // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 40–49. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.6.

REFERENCES

1. The federal law of Russian Federation No. 190-FL. About at the supply. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 40 p. (In Russian)
2. The rule of technical operation of thermal power stations: Moscow, Standartinform Publ., 2003. 100 p. (In Russian)
3. About commercial accounting of the thermal energy and the heat carrier. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 53 p. (In Russian)
4. Posashkov M.V., Nemchenko V.I. Multi criteria assessment of organizational effectiveness of the gas-distributing organization. *Gazovaya promyshlennost'* [A gas industry], 2014, no. 1/701/2014, pp. 16-21. (In Russian)
5. STO Gazprom 2-1.15-878-2014 Original positions on the automations of objects of a power engineering. JSC Gazprom, Publ., 2014. 30 p. (In Russian)
6. Harare F. *Teoriya grafov* [Graph theory]. Moscow, Publ., 1973. 301 p.
7. Diligensky N.V., Nemchenko V.I., Posashkov M.V. Methods of systems analysis for the multi criteria estimation and increase in power effectiveness of objects and systems decentralized heat supply. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [News the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences], 2011, no. 4(4). pp. 949-956. (In Russian)
8. Technique of exercise of commercial accounting of thermal energy, heat carrier. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 45 p. (In Russian)
9. Nemchenko V.I., Posashkov M.V., Kraynov O.K., Bodyagin A.A., Zubkov D.N. The comparative analysis of the instrument park of commercial accounting of thermal energy in Samara. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, no. 1, pp. 25-32. (In Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.5.

POSASHKOV Mikhail V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: b111ik@mail.ru

NEMCHENKO Vladimir I.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Management and Systems Analysis of Thermal Power and Socio-Technical Complexes Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: nemchenko_vi@mail.ru

**М. Е. САПАРЁВ
Ю. С. ВЫТЧИКОВ
А. С. ПРИЛЕПСКИЙ
М. И. УРЯДОВ**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛОТНОСТИ МОНОЛИТНОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА

**INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE DENSITY OF MONOLITHIC
EXPANDED-CLAY CONCRETE ON THE ENERGY EFFICIENCY
OF BUILDINGS OPERATED UNDER VARIABLE HEAT MODE**

Представлены результаты теоретического исследования влияния плотности монолитного керамзитобетона на удельные энергозатраты при эксплуатации загородных коттеджей в условиях прерывистого отопления. Ввиду того, что наружные стены выполнены в виде колодезной кладки из различных материалов, в целях упрощения решения задачи произведено осреднение их основных теплофизических характеристик. При определении влияния нагрева наружной стены и удельных энергозатрат использовался авторский приближенный аналитический метод, удобный для инженерных расчетов. Проведенное исследование показало, что использование беспесчаного керамзитобетона значительно сокращает удельные энергозатраты по сравнению с обычным крупнопористым керамзитобетоном. Наименьшие энергозатраты по результатам расчета относятся к минимальной плотности беспесчаного керамзитобетона, равной 300 кг/м³.

Ключевые слова: керамзитобетон, колодец, время нагрева, энергозатраты, отопление, сопротивление теплопередаче, аналитический метод

Снижение энергетических затрат на отопление зданий и сооружений является одной из приоритетных задач современного строительства. Значительная часть жилых и производственных зданий эксплуатируется в настоящее время в условиях переменного теплового режима, вызванного периодическим пребыванием в них людей, а также не круглосуточной работой производственных предприятий.

Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» в зданиях с периодическим пребыванием людей, к которым относятся загородные коттеджи, лыжные базы, дома вахтовиков и т. д., должны в обязательном порядке

This article presents the results of a theoretical study of the impact of the density of monolithic expanded clay concrete on the specific energy consumption in the operation of the cottage building in conditions of intermittent heating. In view of the fact that the outer walls are made in the form of well masonry of various materials, in order to simplify the solution of the problem, averaging of their main thermal characteristics is made. In determining the effect of heating the outer wall and the specific energy used the author's approximate analytical method, convenient for engineering calculations. The study showed that the use no-fine expanded-clay lightweight concrete significantly reduces the specific energy consumption compared to conventional large-porous expanded clay. The lowest energy consumption according to the calculation results refers to the minimum density of sandless no-fine expanded-clay lightweight concrete, equal to 300 kg/m³.

Keywords: expanded clay concrete, well, heating time, energy consumption, heating, heat transfer resistance, analytical method

выполняться санитарно-гигиенические и комфортные требования к ограждающим конструкциям, а условие энергосбережения на них не распространяется. Несмотря на отсутствие нормативных требований по энергетической эффективности, вопросы экономии тепловой энергии при эксплуатации указанных выше зданий весьма актуальны.

Особенность теплотехнического расчета строительных ограждающих конструкций при прерывистом отоплении зданий заключается в том, что в процессе натопа помещений процесс теплопередачи в них является нестационарным. В связи с этим значительная часть тепловой энергии аккумулируется ограждаю-

щими конструкциями и лишь незначительная передается в окружающую среду.

Обзор научных работ [1–6] по оптимизации прерывистого отопления в жилых зданиях показал, что в настоящее время отсутствует доступная инженерная методика теплотехнического расчета.

Аналитические решения рассматриваемой задачи, представленные в работах [1, 2], получены при упрощающих допущениях. Начальная температура стенки в процессе натопа помещения принята равной температуре наружного воздуха. Решения задач нестационарной теплопередачи, приведенные в работах [5, 6], получены численными методами, поэтому воспользоваться ими не представляется возможным при проектировании зданий с прерывистым отоплением.

Авторский приближенный аналитический метод определения удельных энергозатрат на натоп помещений и времени нагрева подробно описан в работах [7, 8]. Он позволяет с достаточной для инженерных расчетов точностью выполнить расчет нестационарной теплопередачи в многослойных строительных ограждающих конструкциях без использования специализированных программ.

При строительстве малоэтажных зданий керамзитобетон нашел широкое применение в Российской Федерации. К достоинствам данного материала следует отнести его долговечность, экологичность и высокие теплоизоляционные свойства. В работах [9, 10] подробно рассмотрено применение керамзитобетона в строительстве. В качестве теплоизоляционного материала, как правило, используется беспесчаный и крупнопористый керамзитобетон малой плотности. В статье рассматривается применение указанных выше материалов в колодцевой кладке, представленной на рис. 1.

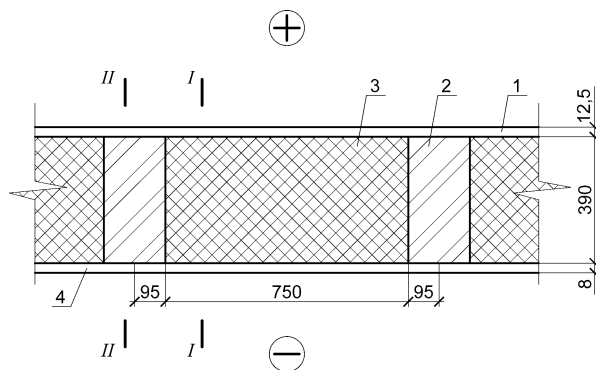


Рис. 1. Сечение по наружной стене:

1 – гипсокартон; 2 – стеновой камень из беспесчаного керамзитобетона производства ООО «Вита-терм»; 3 – беспесчаный монолитный керамзитобетон; 4 – латонит

Высота колодца составляет 0,5 м, объем заполняемого монолитного керамзитобетона – $0,39 \times 0,75 \times 0,5 = 0,146 \text{ м}^3$. В вертикальной плоскости фрагменты колодцевой кладки (см. рис. 1) связаны между собой цементно-песчаной стяжкой толщиной 10 мм, выполняемой по монтажной сетке.

В работе [8] представлены зависимости для определения удельных энергозатрат и времени нагрева для многослойных конструкций, состоящих из слоев, выполненных из однородных материалов. В рассматриваемой кладке промежуточный слой состоит из трех различных материалов – беспесчаного монолитного керамзитобетона, стеновых блоков и цементно-песчаной стяжки. Поэтому в целях упрощения расчета были определены осредненные значения плотности, теплопроводности и теплоемкости, руководствуясь методикой, изложенной в [11].

В качестве примера рассмотрим расчет теплового режима загородного коттеджа, эксплуатируемого в условиях прерывистого отопления. Недельный цикл эксплуатации зданий состоит из четырех характерных стадий:

I стадия ($0 \leq \tau \leq \tau_1$) характеризуется эксплуатацией здания при наличии дежурного отопления;

II стадия ($\tau_1 < \tau < \tau_2$) – стадия натопа помещения;

III стадия ($\tau_2 < \tau < \tau_3$) – стадия эксплуатации здания при наличии в нем людей;

IV стадия ($\tau_3 \leq \tau \leq \tau_4$) – стадия охлаждения помещения при неработающей системе отопления.

В качестве исходных данных температура внутреннего воздуха помещений при дежурном отоплении принята равной $t_{в1} = 12 \text{ }^\circ\text{C}$, при расчетном режиме – $t_{в2} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$. Район строительства – Самарская область. Удельные энергозатраты на нагрев наружной стены в процессе натопа помещений рассчитывались согласно [8] по формуле

$$Q_n = \sum_{i=1}^n c_i \cdot \rho_i \cdot \delta_i \cdot \Delta\tau_i, \text{ кДж/м}^2, \quad (1)$$

где c_i – удельная теплоемкость i -го слоя стены, кДж/кг \cdot °C; ρ – плотность i -го слоя наружной стены, кг/м 3 ; δ_i – толщина i -го слоя наружной стены, м; $\Delta\tau_i$ – изменение температуры i -го слоя наружной стены, °C.

$$\Delta\tau_i = t_{e2} - t_{e1} - \frac{t_{e2} - t_{e1}}{R_0^{вст}} \left(\frac{2}{\alpha_a} + \sum_{i=1}^n R_i \right), \text{ }^\circ\text{C},$$

где $R_0^{вст}$ – сопротивление теплопередаче глади наружной стены, (м 2 ·°C)/Вт; α_a – коэффициент теплопередачи со стороны внутренней поверх-

ности стены, Вт/(м²·°С); R_i – термическое сопротивление слоя наружной стены, (м²·°С)/Вт.

Время нагрева наружной стены определялось по формуле

$$\tau_n = \frac{Q_n \cdot 10^3}{q_{om}} \cdot \frac{1 + 2\varphi}{1 + \varphi}, \text{ с}, \quad (2)$$

где $q_{om} = \frac{t_s - t_n}{R_0^{уст}}$ – удельный тепловой поток,

передаваемый от системы отопления, Вт/м²; φ – безразмерный критерий граничных условий.

Результаты теплотехнического расчета, выполненного с использованием формул (1) и (2), представлены в табл. 1 и 2 для 5 вариантов исполнения наружных стен. В вариантах 1–3 в колодцы заливается монолитный беспесчаный керамзитобетон плотностью 300, 400 и 500 кг/м³ соответственно, в вариантах 4, 5 – крупнопористый керамзитобетон плотностью 500 и 600 кг/м³.

Удельные энергозатраты за неделю эксплуатации здания рассчитывались по формуле

$$Q_\Sigma = Q_I + Q_{II} + Q_{III} \text{ кДж/м}^2, \quad (3)$$

где Q_I, Q_{II}, Q_{III} – удельные энергозатраты на I–III стадиях эксплуатации здания соответственно, кДж/м²;

$$Q_I = q_{om}^I \Delta\tau_I;$$

$$Q_{II} = Q_n;$$

$$Q_{III} = q_{om}^{III} \Delta\tau_{III}$$

где q_{om}^I, q_{om}^{III} – удельный тепловой поток от системы отопления при эксплуатации здания на I и III стадиях соответственно, Вт/м²; $\Delta\tau_I$ – продолжительность работы дежурной системы отопления, с; $\Delta\tau_{III}$ – продолжительность работы системы отопления на расчетном режиме, с.

Таблица 1

Результаты теплотехнического расчета наружных стен загородного коттеджа

№ варианта исполнения	Материал для заполнения колодца	Плотность ρ , кг/м ³	Средний коэффициент теплопроводности исследуемой кладки $\bar{\lambda}_{ср}$ Вт/(м·°С)	Сопротивление теплопередаче R_{ν} (м ² ·°С)/Вт	Время прогрева наружной стены τ_n , ч
1	Монолитный беспесчаный керамзитобетон	$\frac{300}{398,7}$	0,126	3,36	26,1
2	Монолитный беспесчаный керамзитобетон	$\frac{400}{477}$	0,134	3,18	29,63
3	Монолитный беспесчаный керамзитобетон	$\frac{500}{555,1}$	0,145	2,96	30,9
4	Крупнопористый керамзитобетон	$\frac{500}{555,1}$	0,176	2,48	25,8
5	Крупнопористый керамзитобетон	$\frac{600}{633}$	0,199	2,23	26,2

Примечание. В знаменателе приведены осредненные значения плотности исследуемой кладки, в числителе – плотности монолитного керамзитобетона.

Таблица 2

Результаты расчета удельных энергозатрат
при недельной эксплуатации загородного коттеджа

№ варианта исполнения	Материал для заполнения колодца	Плотность ρ , кг/м ³	Энергозатраты, кДж/м ²			
			на прогрев стены Q_{II}	на компенсацию теплопотерь		суммарные Q_{Σ}
				в расчетном режиме Q_{III}	в дежурном режиме Q_I	
1	Монолитный беспесчаный керамзитобетон	300	717,7	2674,9	3051	6443,6
2	Монолитный беспесчаный керамзитобетон	400	842,6	2825,3	3221,8	6889,7
3	Монолитный беспесчаный керамзитобетон	500	962,9	3036,1	3465,9	7464,9
4	Крупно- пористый керамзитобетон	500	955	3624	5118,4	9697
5	Крупно- пористый керамзитобетон	600	1078	4026	5691,9	10796

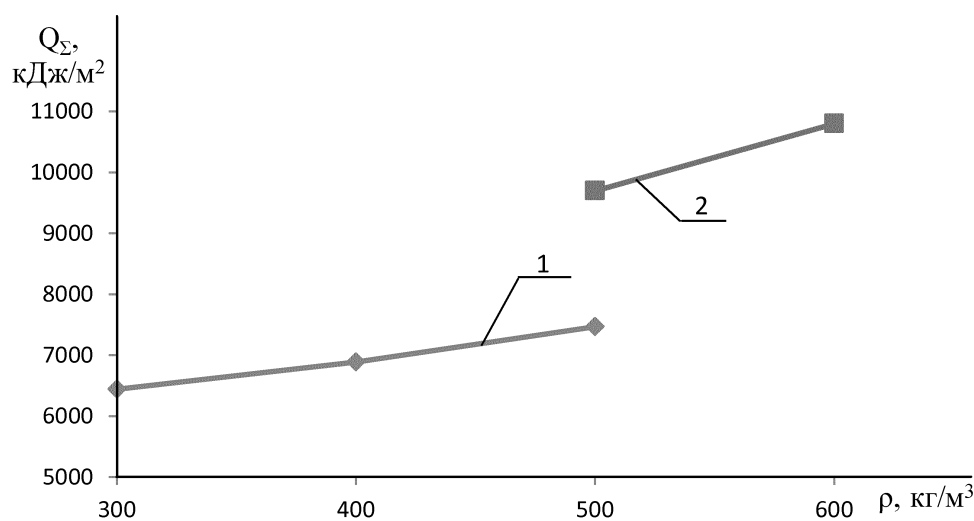


Рис. 2. Зависимость удельных энергозатрат при недельной эксплуатации здания:
1 – беспесчаный керамзитобетон;
2 – крупнопористый керамзитобетон

Результаты расчета удельных энергозатрат, определенных по формуле (3), представлены в табл. 2 и на рис.2.

Из приведенных на рис. 2 данных следует, что с увеличением плотности керамзитобетона удельные энергозатраты на отопление здания возрастают.

Выводы. 1. Представлена методика расчета удельных энергозатрат на нагрев ограждающих конструкций и компенсации теплопотерь для зданий с прерывистым отоплением.

2. С увеличением плотности монолитного керамзитобетона, заливаемого в колодцевую кладку, увеличивается время нагрева наружных

стен и повышаются энергозатраты на отопление помещений.

3. При окончательном выборе плотности заливаемого монолитного керамзитобетона необходимо учитывать наряду с теплотехническими характеристиками несущую способность возводимых наружных стен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалевский В.И., Бойков Г.П. Методы теплового расчета экранной изоляции. М.: Энергия, 1974. 199 с.
2. Семенов Б.А. Нестационарная теплопередача и эффективность теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 1996. 176 с.
3. Анисимова Е.Ю. Энергоэффективность теплового режима здания при использовании оптимального режима прерывистого отопления // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2012. № 38. С. 55–59.
4. Дацюк Т.А., Ивлев Ю.П., Пухкал В.А. Моделирование теплового режима жилых помещений при прерывистом отоплении // Современные предметы науки и образования. М., 2014. № 6. С. 40–45.
5. Малавина Е.Г., Петров Д.Ю. Сопряженный расчет нестационарного теплового режима водяной системы отопления и здания // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 66–69.
6. Малавина Е.Г., Асатов Р.Р. Влияние теплового режима наружных ограждающих конструкций на нагрузку системы отопления при прерывистой подаче теплоты // Academia. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 324–327.
7. Vytchikov Yu.S., Belyakov I.G., Saparev M.Ye. Investigation of the thermal effect of building envelopes of individual building under intermittent heating // Procedia Engineering, 2016. T. 153. Pp. 856–861.
8. Витчиков Ю.С., Беляков И.Г., Сапарёв М.Е. Математическое моделирование процесса нестационарной теплопередачи через строительные ограждающие конструкции в условиях прерывистого отопления // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. № 6 (48). С. 42–48.
9. Баженов Ю.М., Король Е.А., Ерофеев В.Т., Митина Е.А. Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности. М.: АСВ, 2008. 320 с.
10. Комиссаренко Б.С. Перспективы развития производства керамзитобетона с учетом современных задач стройиндустрии // Строительные материалы. 2000. № 6. С. 22–23.
11. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
12. Semenov B.A. Nestacionarnaya teploperedacha i effektivnost' teplozashchity ograzhdayushchih konstrukcij zdaniy [Non-stationary heat transfer and thermal protection efficiency of building envelopes]. Saratov, Sarat. Gos. Tekhn. Univ, 1996. 176 p.
13. Anisimova E.YU. Energy efficiency of the thermal regime of the building when using the optimal mode of intermittent heating. Vestnik YUzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura [Bulletin of South Ural State University. Series: Construction and Architecture], 2012, no. 38, pp. 55-59. (In Russian)
14. Dacyuk T.A., Ivlev YU.P., Puhkal V.A. Simulation of thermal conditions of residential premises with intermittent heating. Sovremennye predmety nauki i obrazovaniya [Modern Subjects of Science and Education], Moscow, 2014, no. 6, pp. 40-45. (In Russian)
15. Malyavina E.G., Petrov D.YU. Conjugate calculation of non-stationary thermal regime of water heating system and building. ZHilishchnoe stroitel'stvo [Housing Construction], 2012, no. 6. pp. 66-69. (In Russian)
16. Malyavina E.G., Asatov R.R. Influence of the thermal regime of external enclosing structures on the load of the heating system with intermittent heat supply. Academia. Arhitektura i stroitel'stvo [Academia. Architecture and Construction], 2010, no. 3. pp. 324-327. (In Russian)
17. Vytchikov YU.S., Belyakov I.G., Saparev M.E. Investigation of the thermal effect of building envelopes of individual building under intermittent heating. Procedia Engineering, 2016, vol. 153, pp. 856-861.
18. Vytchikov YU.S., Belyakov I.G., Saparyov M.E. Mathematical modeling of the process of non-stationary heat transfer through building enclosing structures in intermittent heating. Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal [International Research Journal], 2016, no. 6 (48), pp. 42-48. (In Russian)
19. Bazhenov YU.M., Korol' E.A., Erofeev V.T., Mitina E.A. Ograzhdayushchie konstrukcii s ispol'zovaniem betonov nizkoj teploprovodnosti [Exterior walls using low thermal conductivity concrete]. Moscow, ASV Publ., 2008. 320 p.
20. Komissarenko B.S. Prospects of development of production of expanded clay concrete taking into account modern problems of the construction industry. Stroitel'nye materialy [Building Materials], 2000, no. 6, pp. 22-23. (In Russian)
21. Fokin K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchih chastej zdaniy [Construction heat engineering of enclosing parts of buildings]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2006. 256 p.

REFERENCES

1. Kovalevskij V.I., Bojkov G.P. Metody teplovogo rascheta ekrannoj izoljacji [Methods of thermal calcu-

Об авторах:

САПАРЁВ Михаил Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент кафедры
теплогазоснабжения и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: msx072007@yandex.ru

ВЫТЧИКОВ Юрий Серафимович

кандидат технических наук, профессор кафедры
теплогазоснабжения и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: git.2008@mail.ru

ПРИЛЕПСКИЙ Андрей Сергеевич

аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: git.2008@mail.ru

УРЯДОВ Максим Игоревич

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

SAPAREV Mikhail E.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the
Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: msx072007@yandex.ru

VYTCHEKOV Yuri S.

PhD in Engineering Science, Professor of the Heat
and Gas Supply and Ventilation Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: git.2008@mail.ru

PRILEPSKY Andrey S.

Postgraduate Student of the Heat and Gas Supply
and Ventilation Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: git.2008@mail.ru

URYADOV Maxim I.

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

Для цитирования: Сапарёв М.Е., Вытчиков Ю.С., Прилепский А.С., Урядов М.И. Исследование влияния плотности монолитного керамзитобетона на энергоэффективность зданий, эксплуатируемых в условиях переменного теплового режима // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 50–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.7.
For citation: Saparev M.E., Vytchikov Yu.S., Prilepsky A.S., Uryadov M.I. Investigation of the Influence of the Density of Monolithic Expanded-Clay Concrete on the Energy Efficiency of Buildings Operated under Variable Heat Mode // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 50–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.7. УДК 697.7

Уважаемые читатели!

Научно-технический центр «Геотехника» с лабораторией «Механика грунтов» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

- инженерные изыскания
- обследования зданий и сооружений
- судебная экспертиза
- консультационные услуги

Руководитель Мальцев Андрей Валентинович

Контакты:

443001, Россия, г. Самара, Молодогвардейская, 194, корпус 13, каб. 0304 Б
тел. (846) 339-14-69
E-mail: geotechnika@ya.ru

Е. В. ЧИРКОВА

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ЗДАНИЯХ

USE OF SOLAR ENERGY HEAT IN ANIMAL BREEDING BUILDINGS

Рассматривается возможность применения воздушных солнечных коллекторов для отопления животноводческих зданий. Определяется количество солнечной энергии в Самарской области в зимние месяцы,

когда температура наружного воздуха опускается ниже критической, при которой биологические тепловыделения животных не компенсируют теплопотери через наружные ограждения и начинается дефицит теплоты в помещениях для их содержания. Приводится расчет теплопроизводительности системы солнечного отопления и степени замещения требуемой тепловой нагрузки на примере здания коровника. На основе выполненных расчетов оценивается целесообразность использования теплоты солнечной энергии в животноводческих зданиях. Даются рекомендации по месту установки солнечных коллекторов на здании коровника.

The article discusses the possibility of using solar air collectors for heating livestock buildings. The disposable amount of solar energy in the Samara region is determined during the winter months when the outdoor temperature drops below the critical level, at which biological heat release from animals does not compensate for heat loss through outdoor fences, and a deficit of heat in the premises for their maintenance begins. The calculation of the heat output of the solar heating system and the degree of substitution of the required heat load is given using the example of a cowhouse. Based on the calculations performed, the feasibility of using the heat of solar energy in livestock buildings is estimated. Recommendations are given on the place of installation of solar collectors on the cowhouse.

Ключевые слова: воздушный солнечный коллектор, солнечная энергия, микроклимат, отопление, животноводческое здание

Keywords: air solar collector, solar energy, microclimate, heating, livestock building

Основной задачей в животноводстве на сегодняшний день является создание оптимальных микроклиматических условий для выращивания высокопродуктивных животных при наименьших затратах энергии.

На формирование микроклимата в помещениях для содержания животных одновременно влияет множество факторов. К наиболее существенным из них относятся: климатические характеристики местности, количество, возраст и порода животных, размеры и планировка сельскохозяйственных помещений, материал наружных ограждений, наличие систем отопления и вентиляции.

С точки зрения экономии тепловой энергии основным параметром, характеризующим микроклимат в помещении, является температура внутреннего воздуха, от которой в свою очередь напрямую зависит продуктивность сельскохозяйственных животных. В нормах технологического проектирования для определенного вида животных и птиц приводятся оптимальные производственные температуры, при которых производство животноводческой продукции наиболее эффективно.

Большинство функционирующих в настоящее время коровников и помещений для откорма крупного рогатого скота, построенных по типовым проектам, эксплуатируются как неотапливаемые с неорганизованным воздухообменом. Отопительные системы в них либо не были предусмотрены вообще, либо не применяются с целью сокращения эксплуатационных затрат.

Согласно исследованиям [1–3] расчетные температуры воздуха в животноводческих помещениях могут обеспечиваться за счет утилизации естественной физиологической теплоты, выделяемой животными. Однако при температурах наружного воздуха $t_{н}$ ниже условной расчетной температуры $t_{н}^p$ [1, 4], определяемой из теплового баланса конкретного сельскохозяйственного здания, в неотапливаемых помещениях начинается дефицит теплоты.

Несмотря на то, что крупный рогатый скот выдерживает широкий диапазон отрицательных температур и выживает в этих условиях [5–7], его продуктивность резко снижается. Еще одним неприятным фактором, который имеет

место при $t_n < t_n^p$, является наличие тумана в животноводческих помещениях [8].

Натурные исследования, проведенные в неотапливаемом коровнике круглогодичного беспривязного содержания на 200 коров молочного направления, расположенном в с. Васильевка Ставропольского района Самарской области [9, 10], показали, что при температурах наружного воздуха $t_n \geq -7,8^\circ\text{C}$, в помещении поддерживается температура внутреннего воздуха не ниже нормируемой ($t_b = 10^\circ\text{C}$). При снижении температуры наружного воздуха до $t_n = 5^\circ\text{C}$, температура воздуха в помещении коровника опускается ниже $t_b = 5^\circ\text{C}$. НТП-АПК 1.10.01.001-00 «Нормы технологического проектирования ферм крупного рогатого скота крестьянских хозяйств» [11] допускают снижение температуры внутреннего воздуха в коровниках на 5°C ниже расчетной в наиболее холодный период года в течение 5 суток подряд, но не более 240 ч за сезон, при условии, что не будет выпадать конденсат на стенах и потолке помещения. В исследуемом же коровнике в этот период наблюдался густой туман (рис. 1).

С целью сведения к минимуму количества дней в году с неблагоприятными для животных условиями существования, предлагается в качестве дополнительного источника теплоты использовать теплоту солнечной энергии.

Для достижения поставленной цели возможно применение солнечных воздушных отопительных коллекторов.

Как известно, солнечное излучение, которое достигает поверхности Земли, складывается из прямого и рассеянного. Рассеивание прямого излучения происходит в плотных слоях атмосферы и в облаках. Отражение прямого излучения от поверхности Земли также создает рассеянное излучение.

Одним из преимуществ плоских воздушных солнечных коллекторов является способ-



Рис. 1. Туман в коровнике

ность поглощать как прямое, так и рассеянное солнечное излучение. Соответственно даже в пасмурный день солнечный коллектор будет преобразовывать энергию солнца в тепловую энергию.

Другими преимуществами воздушного солнечного коллектора по сравнению с водяным являются: исключение закипания и замерзания теплоносителя, а также его утечки, быстрое изменение температуры воздуха в помещении, простота конструкции, возможность самостоятельного изготовления.

Конструкция солнечного воздушного коллектора представлена на рис. 2. В качестве примера рассмотрен отопительный коллектор российской компании «Solar Fox». Коллектор представляет собой корпус с абсорбером, покрытым черным термостойким селективным покрытием, и двумя отверстиями. Через вытяжное отверстие, расположенное снизу, воздух из помещения поступает в корпус коллектора, нагревается и подается обратно в помещение через приточное отверстие сверху. Приточное отверстие комплектуется обратным клапаном для исключения перетекания через него теплого воздуха из помещения в корпус коллектора. Движение воздуха обеспечивается работой встроенного вентилятора, который включается автоматически при попадании на батарею солнечного излучения. В случае необходимости вентилятор может быть отключен при помощи выключателя. Устанавливать сол-

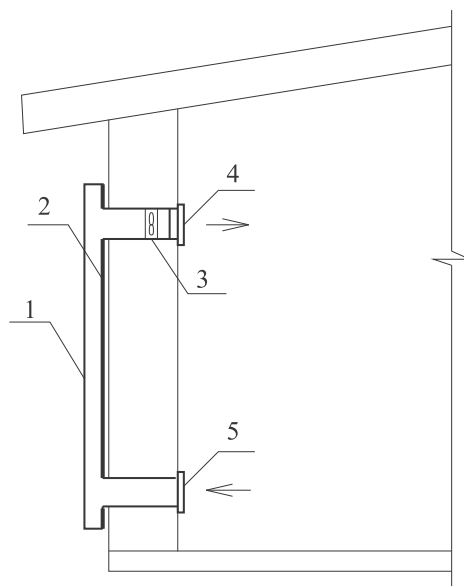


Рис. 2. Конструкция воздушного отопительного солнечного коллектора: 1 – воздушный коллектор; 2 – абсорбер; 3 – приточный вентилятор; 4 – приточная решетка с обратным клапаном; 5 – вытяжная решетка

нечный коллектор можно на стену или крышу здания.

Для оценки располагаемого количества солнечной энергии в с. Васильевка Ставропольского района Самарской области, где находится исследуемый коровник, был проведен расчет по методике, изложенной в [12].

Задачей расчета является определение среднемесячного количества суммарной солнечной энергии, МДж/(м²·мес.), поступающей на наклонную поверхность коллектора:

$$\bar{E}_k = \bar{R} \bar{E} m,$$

где \bar{E} – суммарное дневное количество суммарного солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность, МДж/(м²·день); m – количество дней в месяце; \bar{R} – отношение среднемесячных дневных количеств солнечной радиации, поступающих на наклонную поверхность:

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{E}_d}{\bar{E}}\right) \bar{R}_n + \frac{1 + \cos \beta}{2} \cdot \frac{\bar{E}_d}{\bar{E}} + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2},$$

где \bar{E}_d – среднемесячное дневное количество рассеянной солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, МДж/(м²·день); β – угол наклона солнечного коллектора к горизонту; ρ – коэффициент отражения для подстилающей поверхности Земли, для зимы $\rho = 0,7$;

\bar{R}_n – коэффициент пересчета прямого излучения с горизонтальной на наклонную поверхность:

$$\bar{R}_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega'_3 + \frac{\pi}{180} \omega'_3 \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_3 + \sin \varphi \sin \delta \frac{\pi}{180} \omega_3},$$

где φ – географическая широта местности, для с. Васильевка $\varphi = 53^\circ$; δ – угол склонения солнца в определенный день n :

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right),$$

где в качестве дня n был принят 15-й день каждого месяца;

ω_3 – часовой угол захода Солнца для горизонтальной поверхности:

$$\omega_3 = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta);$$

ω'_3 – часовой угол захода Солнца для наклонной поверхности:

$$\omega'_3 = \min\{\omega_3; \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \operatorname{tg} \delta]\}.$$

Поскольку дефицит теплоты в коровнике наблюдался при температурах наружного воздуха $t_n \leq -7,8^\circ\text{C}$, расчет проводился только для зимних месяцев. Результаты расчета сведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчет располагаемого количества солнечной энергии в с. Васильевка Ставропольского района Самарской области по месяцам

Показатель	Январь	Февраль	Декабрь
m , дн.	31	28	31
n , дн.	15	46	349
δ , °	-21,3	-13,3	-23,3
φ , °	53	53	53
β , °	68	68	68
ω_3 , °	58,9	71,7	55,2
ω'_3 , °	58,9	71,7	55,2
\bar{R}_n	4,75	2,97	5,52
\bar{E}_d , МДж/(м ² ·день)	2,04	3,48	1,32
\bar{E} , МДж/(м ² ·день)	2,83	6,02	1,96
\bar{R}	2,04	1,87	2,48
\bar{E}_k , МДж/(м ² ·мес.)	179	315	151

Следующей задачей было определение площади поверхности нагрева воздушных солнечных коллекторов и их количества с учетом КПД.

Количество коллекторов рассчитывается по формуле

$$N = \frac{F_k^{тп}}{f_k},$$

где f_k – площадь поверхности нагрева одного коллектора, м²; $F_k^{тп}$ – суммарная требуемая площадь поверхности нагрева солнечных коллекторов, м²;

$$F_k^{тп} = \frac{Q_o}{q_k},$$

где Q_o – тепловая нагрузка на отопление, МДж/мес.; q_k – среднемесячная теплопроизводительность коллектора, МДж/(м²·мес.);

$$q_k = E_k \eta_k.$$

КПД солнечного коллектора рассчитывается по формуле

$$\eta_k = \eta_o - \frac{K_k(T_b - T_n)}{I_k},$$

где η_o – эффективный оптический КПД солнечного коллектора, доли; принимается из технического паспорта на солнечные коллекторы компании «Solar Fox»;

T_b – температура воздуха на входе в коллектор, °С;

T_n – температура наружного воздуха, °С;

I_k – плотность суммарного теплового потока солнечной радиации, поступающей на поверхность солнечного коллектора, Вт/м²; принимается равной 800 Вт/м²;

K_k – эффективный коэффициент теплопотерь солнечного коллектора:

$$K_k = a_1 + a_2(T_b - T_n),$$

где a_1 – коэффициент тепловых потерь солнечного коллектора первого порядка; согласно ГОСТ Р 54856-2011 «Методика расчета энергопотребности и эффективности системы теплогенерации с солнечными установками», для остекленных коллекторов $a_1 = 3,5$ Вт/(м²·°С);

a_2 – коэффициент температурной зависимости коэффициента тепловых потерь солнечного коллектора второго порядка; согласно ГОСТ Р 54856-2011 [13], $a_2 = 0$ Вт/(м²·°С).

Требуемая тепловая нагрузка на отопление определялась для коровника в с. Васильевка Ставропольского района Самарской области. Продольная ось здания ориентирована в направлении «СВ–ЮЗ», окна обращены на северо-запад и юго-восток. Здание коровника одноэтажное, со стоечно-балочным каркасом, в плане однопролетное длиной 78,0 м, шириной 21,0 м, шаг стоек 6,0 м. Высота помещения

в коньке 4,15 м. Здание коровника представляет единый строительный объем (6984 м³), площадь пола 1684 м². В торцах здание снабжено распашными металлическими воротами размером 3,0×3,0 м, в продольных стенах предусмотрены две деревянные двери размером 0,9×2,0 м, окна размером 1,8×0,6 м в количестве 24 шт. с открывающимися фрамугами. Оконные проемы с двойным остеклением в спаренных деревянных переплетах. Наружные стены здания выполнены из керамзитобетонных стеновых панелей толщиной 0,4 м; полы бетонные; бесчердачное покрытие из железобетонных пустотных плит толщиной 0,22 м. Кровля двухскатная из профилированной стали толщиной 0,9 мм. Вдоль конька по всей длине здания расположен светоаэрационный фонарь.

Биологическая теплота, выделяемая животными Q_6^* , Вт, определяется по формуле [12]:

$$Q_6^* = q_{ж} z k_1 k_2 k_3,$$

где $q_{ж}$ – явная теплота, выделяемая одним животным, Вт/гол.;

z – расчетное количество животных в помещении, гол.;

k_1 – коэффициент отклонения тепловыделений животных в зависимости от температуры воздуха в помещении, для коров при $t_n = 10$ °С, $k_1 = 1$;

k_2 – коэффициент, учитывающий фактическое число животных в помещении по сравнению с расчетным, для крупного рогатого скота $k_2 = 0,9$;

k_3 – коэффициент, учитывающий тепловыделение животных, находящихся в состоянии покоя (в ночное время); для крупного рогатого скота $k_3 = 0,8$.

Результаты расчета представлены в табл. 2.

Как видно из расчета, действительный КПД солнечных коллекторов в зимние месяцы составляет 58–61 %. При установке на кровле здания воздушных солнечных коллекторов в количестве 150 штук можно добиться 100 % покрытия тепловой нагрузки на отопление коровника при температурах ниже условной расчетной $t_n^p = -7,8$ °С в феврале и декабре. Установка коллекторов на кровле предпочтительна по двум причинам: во-первых, возможно расположение коллектора с оптимальным углом наклона к горизонту, во-вторых, площадь покрытия коровника составляет 1700 м², что позволяет разместить необходимое количество солнечных коллекторов.

В январе доля покрытия тепловой энергией составляет 50 %. Это неплохо, поскольку позволит поддерживать температуру внутреннего воздуха в коровнике $t_b = 7$ °С вместо $t_b = 4,1$ °С в случае отсутствия теплопоступлений от

Таблица 2

Расчет площади поверхности нагрева воздушных солнечных коллекторов

Показатель	Январь	Февраль	Декабрь
$\eta_{\text{ср}}$ %	70	70	70
$T_{\text{в}}$ °С	5	5	5
$T_{\text{н}}$ °С	-13,5	-12,6	-9,6
$\eta_{\text{к}}$ %	57,6	58,4	60,9
$q_{\text{к}}$ МДж/(м ² ·мес.)	103,2	184,0	92,0
$Q_{\text{ср}}$ МДж/мес.	92804	78341	30070
$F_{\text{к}}^{\text{тп}}$, м ²	900	426	327
$f_{\text{к}}$ м ²	3	3	3
$N_{\text{к}}$ шт. (принятое)	150	150	150
$Q_{\text{к}}$ МДж/мес.	46424	82799	41397
Доля покрытия тепловой энергией, %	50,0	105,7	137,7

системы солнечного отопления. Как отмечалось выше, нормы технологического проектирования допускают понижение температуры в помещениях коровников только до $t_{\text{в}} = 5$ °С. И, что очень важно, повышение температуры внутреннего воздуха с 4,1 до 7 °С позволит избежать образования в помещении тумана, который не только ухудшает условия существования животных, но и отрицательно сказывается на долговечности наружных ограждений.

Следует отметить, что в Самарской области в январе количество суток со сред-

ней температурой наружного воздуха ниже $t_{\text{н}} = -13,5$ °С не так уж и велико. На рис. 3 и 4 представлено изменение среднесуточной температуры наружного воздуха в г. Тольятти Самарской области (ближайший город к с. Васильевка) в течение января 2018 и января 2019 гг.

Из графиков видно, что в январе 2018 г. среднесуточная температура наружного воздуха ниже $t_{\text{н}} = -13,5$ °С наблюдалась в течение 6 суток, а в 2019 г. – в течение 9 суток, при этом не более 5 суток подряд.

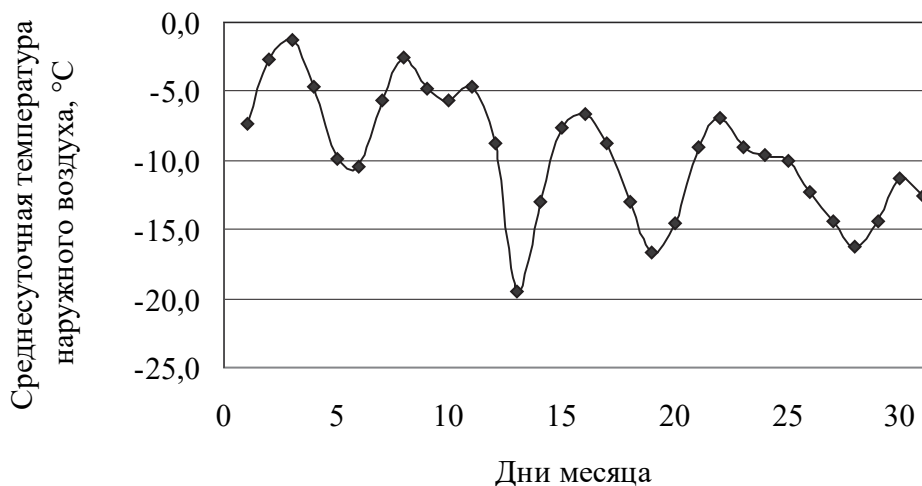


Рис. 3. Изменение среднесуточной температуры наружного воздуха в январе 2018 г.

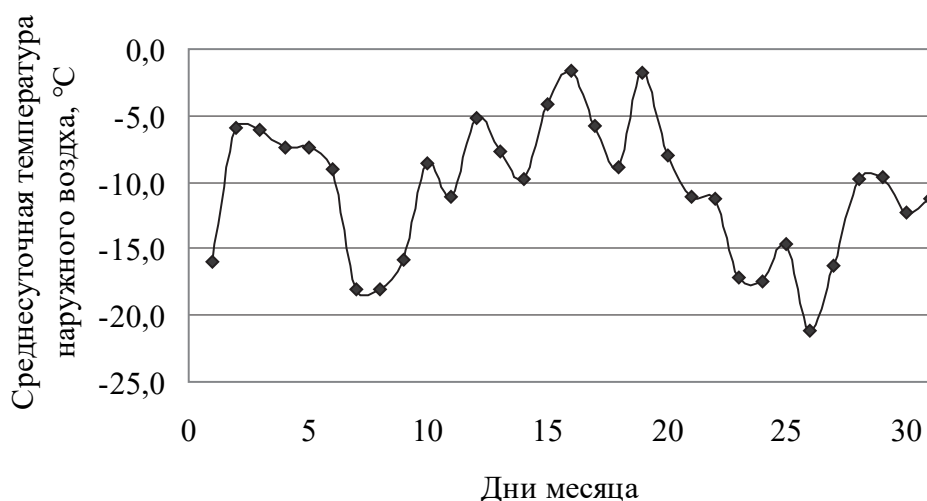


Рис. 4. Изменение среднесуточной температуры наружного воздуха в январе 2019 г.

Выводы. Применение воздушных солнечных коллекторов для отопления животноводческих зданий позволит свести к минимуму дни в течение холодного периода года, когда в них наблюдается дефицит теплоты; поддержание требуемых нормами параметров микроклимата в животноводческих помещениях позволит одновременно с улучшением условий содержания животных повысить их продуктивность, а также избежать преждевременного износа ограждающих конструкций сельскохозяйственных зданий. Конструкция воздушных солнечных коллекторов настолько проста, что их можно изготовить самостоятельно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бодров В.И., Бодров М.В., Ионычев Е.Г., Кучеренко М.Н. Микроклимат производственных сельскохозяйственных зданий и сооружений. Н. Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2008. 623 с.
2. Чиркова Е.В. Проектирование теплового контура неотапливаемых производственных сельскохозяйственных зданий // Вестник НГИЭИ. 2015. № 2. С. 75–80.
3. Чиркова Е.В. Сравнительный анализ ограждающих конструкций неотапливаемых производственных сельскохозяйственных зданий с позиции их теплопроводности // Современное строительство и архитектура. 2017. № 2. С. 43–46.
4. Бодров В.И., Бодров М.В. Вариант разумного компромисса // АВОК. 2011. № 3. С. 30–39.
5. Баротфи И., Рафаи П. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах. М.: Агропромиздат, 1988. 228 с.
6. Киселев Ю.А. Исследования по теплоустойчивости домашних животных // Тепло- и холодоустойчивость домашних животных. Новосибирск: Наука. 1976. С. 10–31.

7. Кошич И.И., Калужный Н.С., Волчкова Л.А., Нестеров В.В. Зоогигиена. СПб.: Изд-во «Лань», 2008. 464 с.

8. Чиркова Е.В. Исследование тепловлажностного режима наружных ограждений сельскохозяйственных зданий // Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья : сб. трудов IV Всеросс. науч.-практич. конф. 16-18 сентября 2015 г. Тольятти: ТГУ, 2015. С. 199–203.

9. Кучеренко М.Н., Чиркова Е.В. Экспериментальное исследование тепловлажностных характеристик внутренних поверхностей ограждающих конструкций сельскохозяйственных зданий // Вестник ВСГУ-ТУ. 2013. № 2. С. 45–50.

10. Чиркова Е.В. Обеспеченность теплофизических характеристик наружных ограждений неотапливаемых производственных сельскохозяйственных зданий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.03. Тюмень, 2015. 22 с.

11. НТП-АПК 1.10.01.001-00. Нормы технологического проектирования ферм крупного рогатого скота крестьянских хозяйств [Электронный ресурс] Режим доступа: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/10/10194/.

12. Богословский В.Н., Крупнов Б.А., Сканава А.Н. Внутренние санитарно-технические устройства: в 3 ч. Ч. 1. Отопление: (справочник проектировщика) / под ред. И.Г. Старовойта, Ю.И. Шиллера. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1990. 344 с.

REFERENCES

1. Bodrov V.I., Bodrov M.V., Ionychev E.G., Kucherenko M.N. *Microclimate of industrial agricultural buildings and structures*. N. Novgorod, NNGASU Publ., 2008. 623 p.

2. Chirkova E.V. Design of the thermal circuit of unheated industrial agricultural buildings. *Vestnik NGIEI* [Bulletin of NGIEI], 2015, no. 2, pp. 75-80. (in Russian)
3. Chirkova E.V. Comparative analysis of enclosing structures of unheated industrial agricultural buildings from the point of view of their moisture conductivity. *Sovremennoe stroitel'stvo i arhitektura* [Modern Construction and Architecture], 2017, no. 2, pp. 43-46. (in Russian)
4. Bodrov V.I., Bodrov M.V. Reasonable compromise option. *AVOK* [AVOK], 2011, no. 3, pp. 30-39. (in Russian)
5. Barotfi I., Rafai P. *Energoberegayushchie tekhnologii i agregaty na zhivotnovodcheskih fermah* [Energy-saving technologies and units on livestock farms]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1988. 228 p.
6. Kiselev YU.A. Thermal resistance studies in pets. *Teplo- i holodoustojchivost' domashnih zhivotnyh* [Heat and Cold Resistance of Pets]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1976, pp. 10-31. (in Russian)
7. Koshich I.I., Kalyuzhnyj N.S., Volchkova L.A., Nesterov V.V. *Zoogigiena* [Zoogigiena], St. Petersburg, Lan' Publ., 2008. 464 p.
8. Chirkova E.V. The study of the humidity condition of the external fences of agricultural buildings. *Gradostroitel'stvo, rekonstrukciya i inzhenernoe obespechenie ustojchivogo razvitiya gorodov Povolzh'ya : Sb. trudov IV Vseross. nauch.-praktich. konf.16-18 sentyabrya 2015 g.* [Urban planning, reconstruction and engineering support for sustainable development of the Volga cities: Sat. Proceedings of IV All-Russian. scientific and practical Conf. September 16-18, 2015]. Tolyatti, 2015, pp. 199-203. (In Russian)
9. Kucherenko M.N., Chirkova E.V. An experimental study of the moisture and moisture characteristics of the inner surfaces of the enclosing structures of agricultural buildings. *Vestnik VSGUTU* [Bulletin of the VSGUTU], 2013, no. 2 pp. 45-50. (in Russian)
10. Chirkova E.V. *Obespechennost' teplofizicheskikh harakteristik naruzhnyh ograzhdenij neotaplivaemykh proizvodstvennyh sel'skohozyajstvennyh zdaniy. Abstract, Diss.* [Security of thermophysical characteristics of external fences of unheated industrial agricultural buildings. Abstract, Diss.]. Tyumen, 2015, 22 p.
11. NTP-APK 1.10.01.001-00 Norms of technological design of cattle farms of peasant farms. Available at: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/10/10194/ (accessed 30 April 2019).
12. Bogoslovskij V.N., Krupnov B.A., Skanavi A.N., Shiller YU.I. *Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustrojstva: v 3 ch. CH. 1. Otoplenie (Spravochnik proektirovshchika)* [Internal sanitary facilities: at 3 pm Part 1. Heating (Designer Handbook)], Moscow, Strojizdat Publ., 1990. 344 p.
13. State Standard P 54856–2011 Methodology for calculating the energy demand and efficiency of a heat generation system with solar installations. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 35 p. (In Russian)

Об авторе:

ЧИРКОВА Елена Владимировна

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения, вентиляции, водоснабжения и водоотведения
Тольяттинский государственный университет.
Архитектурно-строительный институт
445667, Россия, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14,
тел.: (8482) 53-92-78
E-mail: chirkovaev@mail.ru

CHIRKOVA Elena V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply, Ventilation, Water Supply and Water Disposal Chair
Togliatti State University
Institute of Architecture and Civil Engineering
445667, Russia, Togliatti, Belorusskaya str., 14,
tel.: (8482) 53-92-78
E-mail: chirkovaev@mail.ru

Для цитирования: *Чиркова Е.В.* Использование теплоты солнечной энергии в животноводческих зданиях // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 56–62. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.8.

For citation: *Chirkova E.V.* Use of Solar Energy Heat in Animal Breeding Buildings // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 56–62. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.8.

Д. С. ЯРЦЕВ
А. А. ЦЫНАЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА

STUDY OF THE VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEM OF THE SHOPPING MALL

В работе выполнен обзор литературы по вопросам оптимизации систем обеспечения микроклимата, обеспечивающих комфортные условия в сложном общественном здании, которым является крупный торгово-развлекательный центр. Проведено численное исследование функционирования систем обеспечения микроклимата в торгово-развлекательном центре. Исследование проводилось с помощью облачного сервиса SimScale, включающего в себя этапы создания сетки, задания граничных условий, определения параметров моделирования, численного решения и обработки результатов. Моделирование выполнено с использованием RANS подхода. В результате численного исследования выявлены зоны с пониженным движением потоков воздуха, определены области с превышением скорости воздуха относительно нормируемых значений, что позволяет оптимизировать систему обеспечения микроклимата.

Ключевые слова: вентиляция, микроклимат, эффективность, энергопотребление, теплоутилизатор, оптимизация

Введение

В настоящее время в России идет активное строительство и эксплуатация крупных общественных зданий – торгово-развлекательных центров (ТЦ), в которых должны быть обеспечены комфортные условия пребывания большого количества посетителей. Кроме того, имеющиеся в настоящее время примеры аварийных ситуаций в ТЦ показали насущную необходимость повышения надежности инженерных систем таких объектов. От систем отопления, вентиляции (в том числе аварийной), кондиционирования требуется надёжность при постоянном поддержании требуемых параметров микроклимата и чистоты воздуха вне зависимости от количества посетителей, возникновения аварийных ситуаций, энергоэффективность. В этой связи уже на стадии проектирования необходимо не просто подобрать оборудование систем вентиляции и кондиционирования, но и рассмотреть возможность возникновения застойных зон, направления дви-

The article reviews the literature on the optimization of microclimate systems that provide comfortable conditions in a complex public building, which is a large shopping and entertainment center. In addition, a numerical study of the functioning of microclimate support systems in a shopping and entertainment center was realized. The study was conducted using the SimScale cloud service, which includes the steps of creating a grid, setting boundary conditions, determining simulation parameters, numerically solving and processing the results. Modeling is performed using the RANS approach. As a result of a numerical study, zones with a reduced movement of air flows were identified, areas with excess air velocity relative to normalized values were determined, which allows to optimize the microclimate system.

Keywords: ventilation, microclimate, efficiency, energy consumption, heat exchanger, optimization

жения воздушных потоков при проектируемых интерьерах и оборудовании ТЦ, определить эффективность проектируемых систем вентиляции и кондиционирования.

Анализ состояния проблемы

Имеющиеся исследования [1–3] систем вентиляции торговых центров показывают не только существенную неравномерность загрузки помещений посетителями в зависимости от дней недели, месяцев и наличия праздничных дней, но и значительное влияние параметров наружного воздуха на ощущения теплового комфорта посетителями [3]. В этой связи в работе [3] предлагается пересмотреть условия теплового комфорта в помещении в зависимости от климатических условий, характерных для района строительства здания. При этом известно [4], что максимальные энергозатраты ТЦ требуются именно для подготовки воздуха, подаваемого в помещения центров [4] и их ресторанных зон [5]. Это связано не только с количеством, но и с характеристиками

выделяющихся в помещениях ТЦ вредных веществ [5, 6]: диоксид и монооксид углерода, формальдегид, метан, твердые пылевые частицы, акролеин, сернистый ангидрид, бактерии и др., некоторые из которых относятся ко второму или третьему классу опасности. В связи с этим для обеспечения комфортных условий пребывания потребителей в ТЦ необходимо обеспечивать не только условия теплового комфорта, но и оптимальную чистоту воздуха, скорость его движения, предотвращение образования застойных зон, а также внедрение адаптивных систем вентиляции в крупных общественных зданиях [1,4,7]. Адаптивные системы вентиляции позволяют в зависимости от загрузки общественного здания, изменяющейся в течение дня, недели, месяца, осуществлять регулируемую подачу воздуха в помещения с учетом изменяющихся условий. Но для проектирования таких систем необходима детальная информация по движению потоков воздуха, температурным условиям и наличию вредных веществ в помещениях еще на стадии проектирования. На этом этапе для систем вентиляции и кондиционирования помещений ТЦ на вопрос о тепловом комфорте и скорости движения потоков воздуха может ответить численное моделирование состояния микроклимата таких крупных общественных зданий, какими являются ТЦ. Большое количество работ по разработке систем обеспечения микроклимата, в том числе противодымной вентиляции, проводится либо инженерными методами и программами на их основе [8,9], либо на основании критериальных уравнений подобия [5], отклонения по которым могут достигать свыше 30 %.

Так как максимальные затраты энергоносителей при эксплуатации ТЦ за исключением освещения (до 38 % энергоресурсов) требуются для подготовки и подачи большого количества воздуха (до 56 %) [10], то наибольшее число имеющихся работ посвящены оптимизации затрат по подготовке и подаче воздуха. Например, проблема повышения энергоэффективности зданий и снижения расходов энергоресурсов для систем обеспечения микроклимата может быть решена за счет комбинирования архитектурно-строительных решений, применения возобновляемых источников энергии, оптимизации систем обеспечения микроклимата. При этом известно, что архитектурно-строительные решения позволяют снизить потери теплоты (или теплопоступления в теплое время года) через ограждения за счет оптимизации ориентации здания по сторонам света, выбора его формы, использования энергосберегающих материалов в ограждающих конструкциях. Такой подход численно исследовался в работе [11],

посвященной улучшению условий теплового комфорта в зимний период в полукрытой конструкции ТЦ, расположенного под Лиссабоном. В исследовании была численно спрогнозирована работа более закрытой конструктивной оболочки ТЦ в зимний период и влияние этой обновленной конструкции на условия микроклимата в ТЦ в теплый период года при различных направлениях и силе ветра. Исследования, проведенные в работе [11], показали, что применение новых архитектурных решений для существующего ТЦ позволило обеспечить условия теплового комфорта зимой при условии незначительного роста температуры в помещениях в летний период (менее одного градуса в зависимости от направления ветра). В данной работе выявлено также, что применение естественной вентиляции за счет силы ветра может существенно (до 30 % в условиях мягкого климата Лиссабона) снизить затраты на системы обеспечения микроклимата ТЦ. Таким образом, возобновляемые источники (в данном случае энергия ветра) могут использоваться для оптимизации затрат традиционных энергоносителей в системах обеспечения микроклимата. В работе [12] предлагается для организации вентиляции и охлаждения помещений в жаркий период года использовать естественный приток воздуха через систему равномерно распределенных по ограждению отверстий. Исследования параметров эксплуатации предлагаемой системы в [12], осуществленные программными методами с помощью FLUENT, показали, что в рассмотренных климатических условиях (г. Кайсери, Турция) при некоторых направлениях ветра система естественного поступления воздуха за счет ветра через отверстия в ограждениях может служить для охлаждения зданий и естественной вентиляции. При этом в данной работе не рассматривались параметры работы предложенной системы для других климатических условий.

Эффективность применения солнечных энергоустановок в абсорбционных холодильниках систем кондиционирования для жаркого и влажного климата оценивалась в работе [13], в которой были созданы математические модели для прогнозирования термодинамического поведения различных конфигураций систем кондиционирования с солнечными установками и без них. В результате авторами работы было выявлено, что для жаркого и влажного климата наиболее эффективной оказалась схема кондиционирования с абсорбционной холодильной установкой и солнечной энергоустановкой с охлаждением влагопоглотителя с частичной рециркуляцией воздуха помещения. Работа [14] посвящена вопросу исполь-

зования солнечной энергии в системе кондиционирования воздуха. Такая схема является привлекательной, так как высокая нагрузка (затраты электроэнергии) на кондиционирование во многом совпадает с доступностью солнечного излучения. Сочетание солнечной энергии и кондиционирования, по-видимому, обладает высоким потенциалом для снижения потребления электроэнергии обычными сплит-системами (кондиционерами), работающими на основе парокомпрессионного цикла. В данной работе приводится схема с системой солнечных осушителей, даются результаты испытаний и анализ производительности различных схем кондиционирования воздуха. Авторами была оценена общая эффективность систем кондиционирования на основе моделирования для климатических условий Средиземноморского региона. В [14] проанализирована также работа отдельных элементов системы кондиционирования с солнечной установкой (устройство солнечного влагопоглотителя, охладителей с абсорбционным хладагентом, питаемых от прямоточных вакуумных трубчатых коллекторов, и т. д.). Авторами данной работы выявлено, что система кондиционирования с абсорбционной охлаждающей установкой и солнечным влагопоглотителем может экономить около 40 % энергии по сравнению с системой без солнечного влагопоглотителя и иметь до 150 % экономии энергии в сравнении с традиционной системой кондиционирования с парокомпрессионной холодильной установкой. Однако анализа по использованию предложенных схем в климатических условиях, отличающихся от средиземноморских, авторами указанной работы не производилось.

Так как в помещения торгового центра не только подается, но и удаляется большое количество воздуха, то достаточно много работ посвящено исследованию эффективности применения различных типов теплоутилизаторов в системах вентиляции и кондиционирования [4,15,16]. В некоторых исследованиях оценка целесообразности установки утилизаторов теплоты (теплообменник роторного типа, пластинчатый, теплообменник с перекрестным током и с промежуточным теплоносителем) для систем вентиляции проводится по экономическим параметрам, в других – по теплотехническим характеристикам. Оценка влияния наличия теплоутилизаторов на величину потребляемой энергии зданием проведена в работах [15, 16]. Выражения для инженерной оценки снижения энергопотребления зданиями с системой вентиляции и теплоутилизатором вытяжного воздуха представлены в работе [16]. В исследовании [15] выявлено, что при использовании теплоути-

лизаторов сокращаются расходы энергии до 25 % при относительно небольших затратах на их установку. Расчет для нескольких общественных зданий производился в работе [15] по зависимостям, представленным в [16]. По результатам представленных в [15] расчетов можно сделать вывод, что наличие теплоутилизаторов в системе обеспечения микроклимата зданий значительно влияет на класс энергоэффективности даже при условии снижения характеристик теплозащиты здания с учетом тепlopоступлений. В качестве допущения в работах [15, 16] принято то, что все расчеты проведены не в динамической постановке, т. е. не учитывается непрерывное изменение погодных параметров в течение зимнего (летнего для систем кондиционирования) периода в рассматриваемом регионе строительства (эксплуатации) здания.

Следует отметить возможность применения систем испарительного охлаждения для кондиционирования зданий. Несмотря на то, что эффективность таких систем ниже эффективности парокомпрессионных установок, в некоторых условиях эксплуатации совмещение рекуператоров и испарительной схемы охлаждения воздуха может быть оправданно. При этом испарительное охлаждение подходит для зданий различного типа, где не требуется поддержание точного тепловлажностного режима. Имеющиеся исследования [13,14,17,18] показывают, что схемы с испарительным охлаждением в системах кондиционирования становятся эффективными при использовании нетрадиционных источников энергии [13,14] или при комбинировании их с традиционными парокомпрессионными холодильными установками [17, 18]. Это доказано как на основании моделирования, так и при проведении экспериментальных испытаний [13,14,17,18].

При наличии качественной теплозащиты здания для реализации энергосберегающего потенциала остается искать возможности для повышения энергоэффективности в оптимизации инженерных систем. Высокие возможности для повышения энергоэффективности имеются в общественных зданиях и ТЦ из-за характера загрузки здания посетителями в течение дня, месяца, в выходные и праздничные дни. Однако для того, чтобы выявить возможности оптимизации работы инженерных систем, необходимо провести всесторонний мониторинг эксплуатации систем здания. Так, в исследовании [19] проведен анализ потребления тепловой и электрической энергии для различных типов зданий (частных резиденций, образовательных зданий, общественных зданий). Климатический район исследования в данной работе соответствовал широте и дол-

годе (59 00'N и 26 00'E), что по европейской классификации относит данный район к теплому континентальному климату. В работе проводился мониторинг 40 жилых, 7 учебных и 44 общественных зданий. При анализе потребления использовались статистические данные за три года по каждому типу зданий в 2006–2011 гг. Кроме того, в [19] анализируются различные способы получения горячей воды для жилых зданий, проведена оценка потребления энергоресурсов зданиями школ и других образовательных учреждений, имеется оценка баланса потребления электроэнергии для офисного центра, других общественных зданий. Несмотря на большой объем данных в [19], эта работа может дать ответ на вопрос о величине потребления энергоресурсов за рассмотренный промежуток времени, показать наличие избыточно израсходованных теплоты и электроэнергии, но не позволяет прогнозировать энергопотребление зданий.

Такой задаче (мониторинга, управления и прогнозирования потребления инженерными системами общественных зданий) посвящены некоторые работы, в том числе с применением нетрадиционных источников теплоты. Так, экономия теплопотребления за счет использования пофасадного регулирования может составлять от 10 до 25 % для общественных зданий. В работе [20] проведено сравнение эффективности двух различных по методу регулирования систем управления теплопотреблением. В результате натурного эксперимента и численного исследования было выявлено, что на эффективность системы управления теплопотреблением значительное влияние оказывает схема ее компоновки и условия эксплуатации тепловых сетей. Исследование [21] посвящено анализу схем управления теплопотреблением здания с тепловым насосом и ее сравнению со схемами, работающими от тепловой сети. Выявлено, что время переходного процесса для систем управления теплопотребления определяется температурами теплоносителя (воды в тепловой сети) и низкотемпературного источника при работе с тепловым насосом.

Таким образом, проведенный анализ состояния исследований показал, что в настоящее время имеется существенный потенциал для повышения эффективности работы систем обеспечения микроклимата как общественных и жилых зданий, так и особенно крупных торговых центров. Так как проведение экспериментальных исследований систем обеспечения микроклиматом, в том числе оборудованными системами регулирования или без них, сопряжено с существенными финансовыми затратами и получением значительного числа

разрешительных документов, то в этой связи представляется целесообразным получение данных по состоянию микроклимата в проектируемых и реконструируемых ТЦ на основе численного моделирования. Кроме того, современные облачные сервисы и программные коды [21], распространяемые на базе свободной лицензии, позволяют не только получать данные о микроклимате помещения, но и осуществлять моделирование условий при автоматизированном управлении работой инженерных систем.

Численное моделирование работы систем обеспечения микроклимата торговых центров

Цель научной работы следует определить как повышение эффективности инженерных систем обеспечения микроклимата крупных ТЦ за счет внедрения систем автоматизированного управления оборудования систем отопления, вентиляции и кондиционирования, оптимизации адаптивных систем вентиляции при реализации частотного регулирования вентустановок.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

1. Анализ имеющегося уровня техники для систем обеспечения крупных ТЦ.
2. Разработка модели конвективного теплообмена и массопереноса для крупных торговых-развлекательных центров.
3. На основании разработанной модели и ее программной реализации выполнение численного исследования работы систем обеспечения микроклимата торгового центра; выявление по результатам моделирования в ТЦ застойных зон, областей с повышенной концентрацией вредных веществ, наличие перегрева или недогрева в помещениях ТЦ.
4. Разработка рекомендаций по повышению эффективности работы систем обеспечения микроклимата ТЦ по результатам проведенных численных исследований.

Математическая модель, реализованная в использованном облачном программном сервисе [21], включает в себя уравнения Навье-Стокса, уравнение неразрывности, уравнение сохранения энергии. План ТЦ, для которого осуществлялось моделирование параметров микроклимата, представлен на рис. 1. При проведении численного исследования параметры микроклимата соответствовали климатическим условиям города Москвы.

При выполнении данной работы были приняты следующие допущения: 1) геометрия расчетной области упрощена (радиаторы представлялись в виде параллелепипеда); 2) лучистый теплообмен пренебрежимо мал. Геометрия расчетной области представлена на рис. 2.

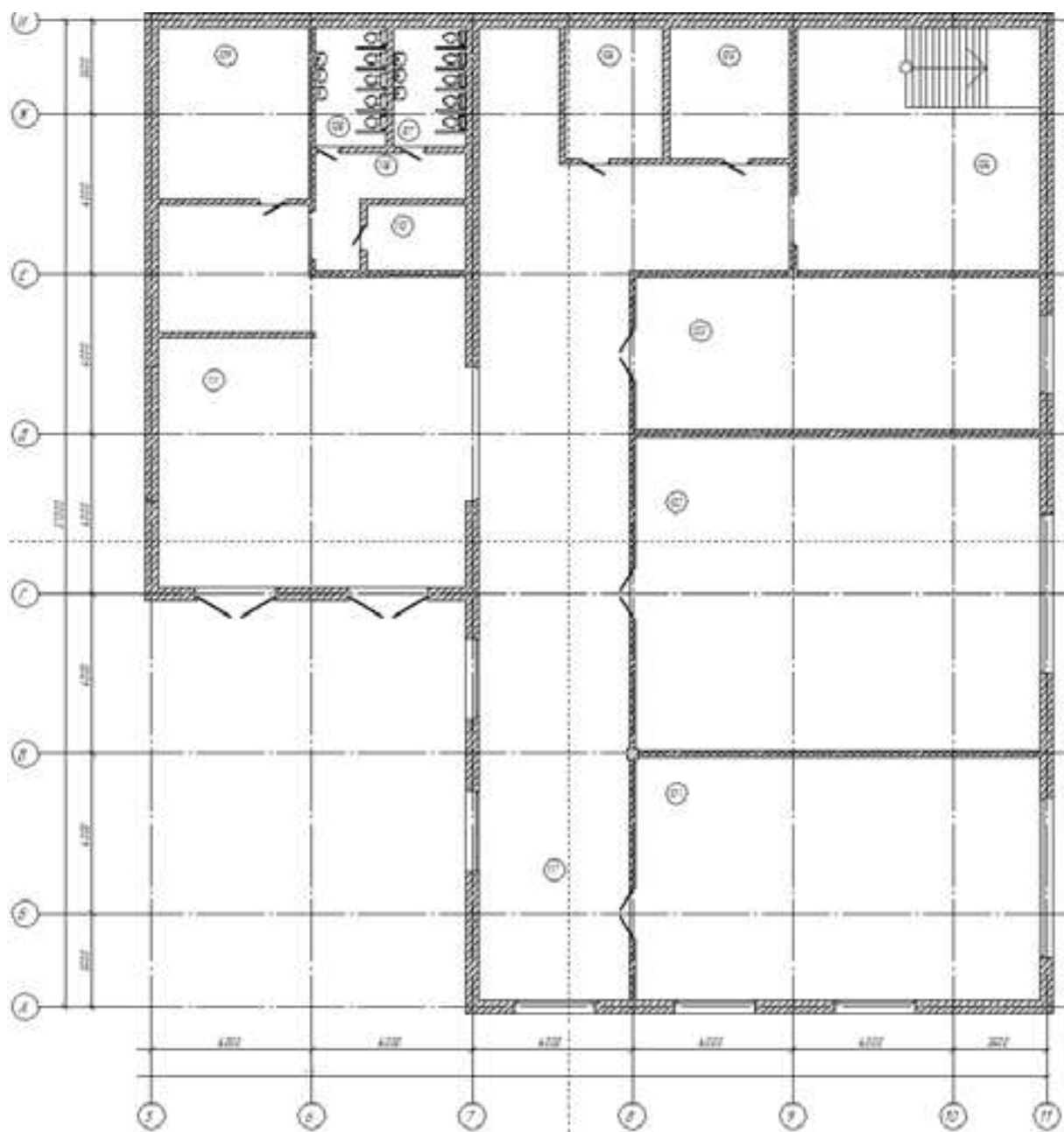


Рис. 1. План торгового центра:
101, 102, 103 – торговый зал; 104 – кладовая; 105 – помещение охраны; 106 – электрощитовая;
107, 108 – санузлы (м. ж.); 109 – материальный склад; 110 – помещение хозяйственного инвентаря;
111, 117 – холл; 118 – коридор

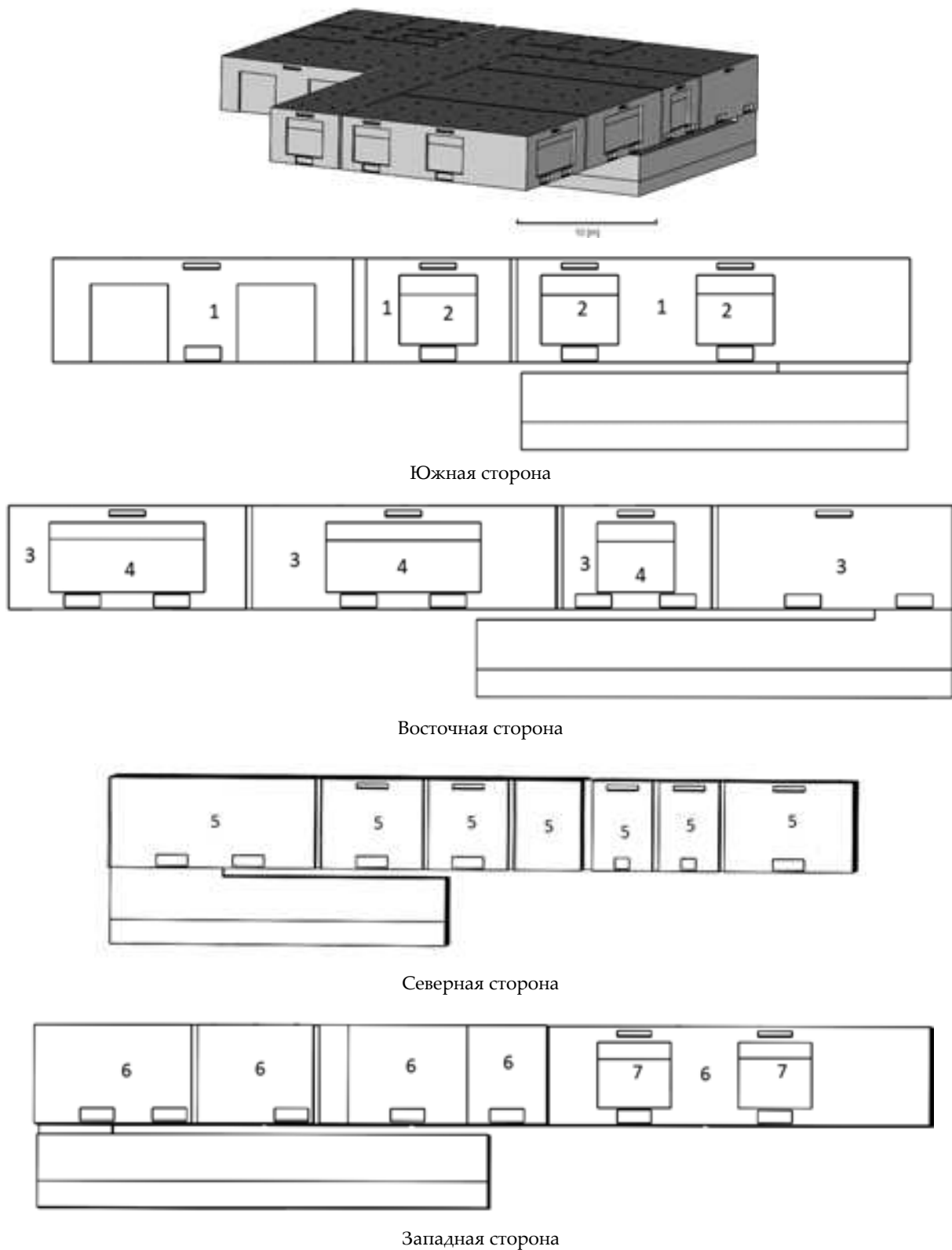


Рис. 2. Геометрия расчетной области: 1, 3, 5, 6 – наружные стены; 2, 4, 7 – окна

Условия моделирования: рабочее тело – воздух с кинематической вязкостью, равной $0.000015295 \text{ м}^2/\text{с}$; плотностью $1.1965 \text{ кг}/\text{м}^3$; коэффициентом температурного расширения $0.00343 \text{ 1}/\text{К}$; удельной теплоемкостью $1004 \text{ Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$ при нормальных условиях. Свойства рабочего тела зависят от температуры. Режим течения турбулентный с $Re = 39228$, в качестве характерного размера выбрана высота помещения.

Для моделирования были заданы следующие граничные и начальные условия: стены подвала заданы как гладкая стенка, не скользящая, с фиксированным значением температуры 283 К в начальный момент времени. Потолок определен как гладкая, не скользящая стенка с тепловым потоком $-5,2 \text{ Вт}/\text{м}^2$; пол – гладкая, не скользящая стенка, с тепловым потоком $-5,2 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 1 – южная стена гладкая, не скользящая, тепловой поток $-11,3 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 2 – южное окно, поверхность не скользящая, гладкая, тепловой поток $-71,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 3 – восточная стена, гладкая, не скользящая, тепловой поток $-12,4 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 4 – восточное окно, не скользящая поверхность, тепловой поток $-78,6 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 5 – северная стена, гладкая, не скользящая, тепловой поток $-12,4 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 6 – западная стена, гладкая, не скользящая, тепловой поток $-11,8 \text{ Вт}/\text{м}^2$; 7 – западное окно, поверхность не скользящая, тепловой поток $-71,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$; радиаторы – стенка гладкая, не скользящая. Начальное значение температуры воздуха 283 К . Теплопотери и теплопоступления, заданные в качестве граничных условий, определялись по стандартной методике.

Для моделирования работы систем обеспечения микроклимата ТЦ была создана расчет-

ная сетка (рис. 3). При ее построении использовался следующий алгоритм: Hex-dominant parametric, количество ячеек задавалось по каждой из осей X, Y, Z, общее количество трехмерных элементов составило 1918070.

Расчет модели проводился на облачной платформе SimScale [21] итерационным методом с числом итераций 10000, величиной шага по времени, равным 1 с , и интервалом сохранения через каждые 1000 с , количество задействованных в расчете процессоров – 16 шт. Контроль параметров осуществлялся по средним значениям температуры на поверхности t_{op} в рабочей зоне в центре здания.

Анализ итерационной сходимости получаемого решения проводился на основании значений невязок при решении основных уравнений математической модели. Полученная динамика невязок (рис. 4) свидетельствует о стабилизации решения после 2000-го шага.

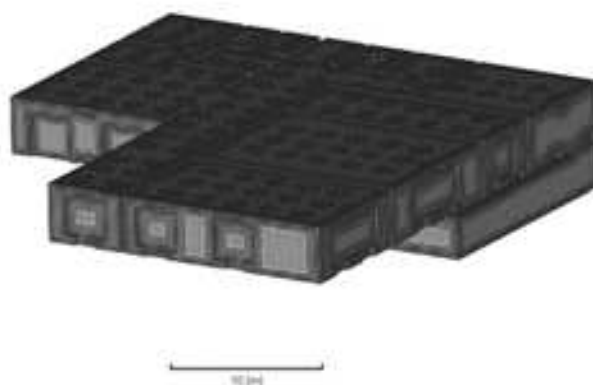


Рис. 3. Расчетная сетка

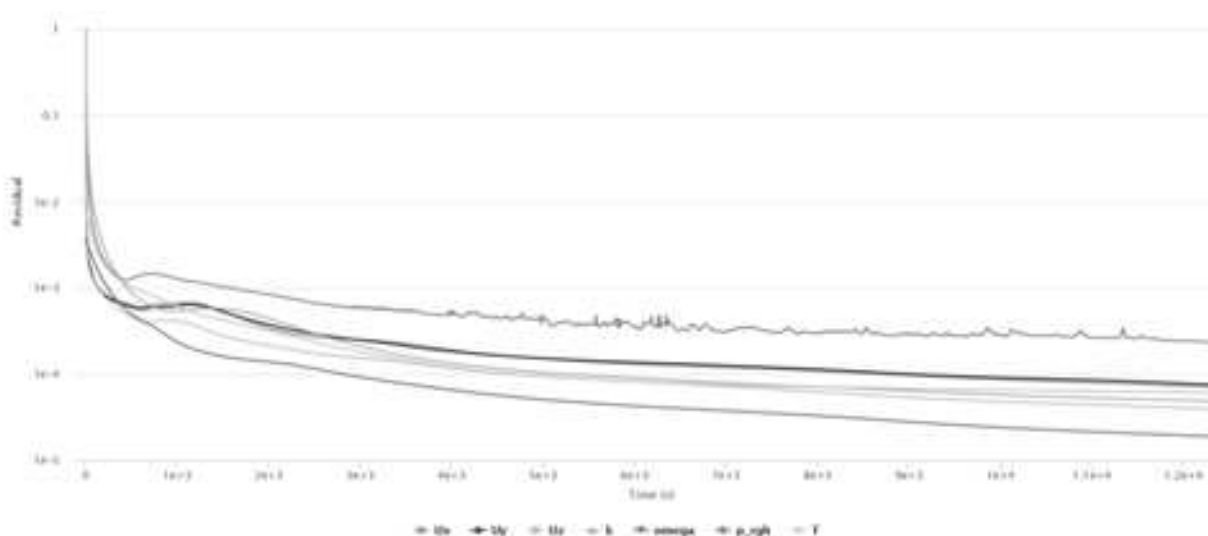


Рис. 4. Анализ итерационной сходимости, динамика невязок

Результаты численного исследования и обсуждение

Результаты численного моделирования параметров микроклимата в помещениях ТЦ представлены на рис. 5–7. На рис. 5 показана температура воздуха в рабочей зоне помещений в плане. Из рисунка видно, что температура в рабочей зоне изменяется в диапазоне от 282 до 296 К, средняя температура по всему объему здания составила 289 К, в местах под распределителями воздуха температура выше 293 К, в уборных температура находится на уровне 282 К.

Рис. 6 иллюстрирует изменение скорости потоков воздуха в помещениях ТЦ. Скорость воздуха во всех помещениях находится вблизи значения 0,2 м/с. Имеется зона сквозняков в холле, где скорость воздушных потоков больше 0,4 м/с

На рис. 7 показано движение потоков воздуха с одинаковой температурой. Застойных зон в основном нет, и все помещения снабжаются нагретым воздухом, кроме помещений уборных, обеспечение комфортных параметров которых несколько затруднено.

Выводы. В результате численного исследования определены параметры микроклимата крупного торгового центра, выявлены зоны застоя воздуха, определены зоны с высокими скоростями потоков, что позволяет оптимизировать систему обеспечения микроклимата торгового центра, а следовательно, снизить затраты на его эксплуатацию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сотникова О.А., Иваницкая Е.Г. Адаптивные системы вентиляции торговых центров // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. 2014. № 3(16). С. 44–48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22752414> (дата обращения: 03.02.2019).

2. Старкова Л.Г., Сафаргалеева Д.Ф., Носова М.С., Разказова Ю.С. Адаптивные системы вентиляции многофункциональных торговых центров г. Магнитогорска // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т.2. № 71. С.246–248. Режим доступа: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20798551> (дата обращения: 03.02.2019).

3. De Dear R.J. Adaptive thermal comfort in building management and performance // Proceedings of the Healthy Buildings. 2006. Т.1. С. 31–35. Режим доступа URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84871551445&partnerID=MN8TOARS> (дата обращения: 04.02.2019).

4. Umberger M., Humar I. Energy savings of refrigerators in shopping centers with adaptive control and real-time energy management systems // Przeglad Elektrotechniczny. 2012. Т. 88. № . 6. С. 327–331. Режим

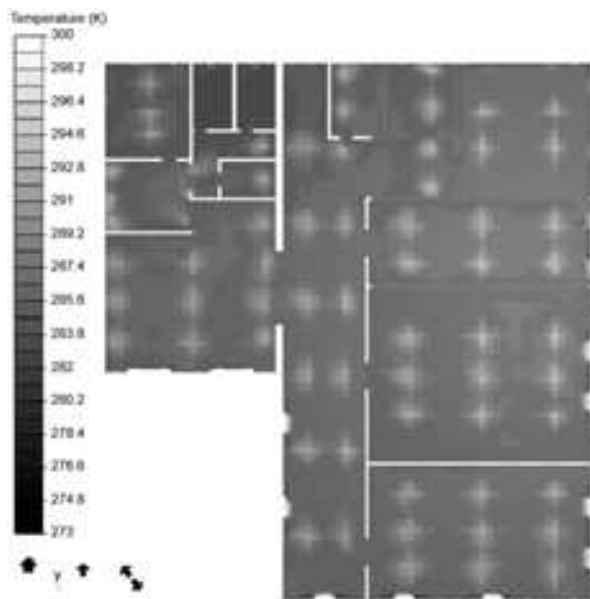


Рис. 5. Распределение температуры в рабочей зоне помещений ТЦ

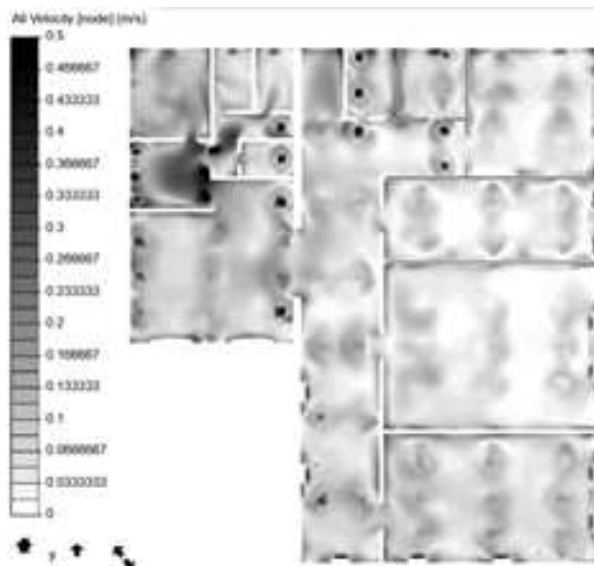


Рис. 6. Распределение скорости потоков воздуха в помещениях ТЦ в рабочей зоне



Рис. 7. Траектории потоков

доступа: <http://pe.org.pl/articles/2012/6/74.pdf> (дата обращения: 03.02.2019).

5. Булыгина С.Г., Сотникова О.А. Моделирование конвективного теплообмена человека с воздухом производственных помещений ресторанных комплексов // Инженерные системы и сооружения. 2011. № 2. С. 55–66. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17233141> (дата обращения 03.02.2019).

6. Li W.M., Lee S.C., Chan L.Y. Indoor air quality at nine shopping malls in Hong Kong // Science of the Total Environment. 2001. Т. 273. № 1–3. С. 27–40. Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969700008330> (дата обращения: 03.02.2019).

7. Sun Z., Wang S., Ma Z. In-situ implementation and validation of a CO₂-based adaptive demand-controlled ventilation strategy in a multi-zone office building // Building and Environment. 2011. Т.46. № 1. С.124–133. Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310002131> (дата обращения: 03.02.2019).

8. Swami M.V., Chandra S. Procedures for calculating natural ventilation airflow rates in buildings //ASHRAE Final Report FSEC-CR-163-86, ASHRAE Research Project. 1987. P.130. Режим доступа: URL: <http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-CR-163-86.pdf> (дата обращения: 03.02.2019).

9. Ben-David T., Waring M.S. Impact of natural versus mechanical ventilation on simulated indoor air quality and energy consumption in offices in fourteen US cities // Building and Environment. 2016. Т.104. С.320–336. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316301597> (дата обращения: 03.02.2019).

10. Рубцов А.С. Повышение энергоэффективности инженерных систем торгово развлекательных центров // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2012. № 8. С. 26–33. Режим доступа: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18153289> (дата обращения: 03.02.2019).

11. da Graça G.C., Martins N.R., Horta C.S. Thermal and airflow simulation of a naturally ventilated shopping mall //Energy and Buildings. 2012. Т.50. С. 177–188. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812001855> (дата обращения: 03.02.2019).

12. Ayata T., Çam E., Yıldız O. Adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) application to investigate potential use of natural ventilation in new building designs in Turkey // Energy Conversion and Management. 2007. Т.48. № 5. С. 1472–1479. Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890406003700> (дата обращения: 03.02.2019).

13. Lafuenti I. et al. New solutions for the use of solar cooling in hot and humid weather conditions //International Conference on Renewable Energies

and Power Quality. Santiago de Compostela, Spain: European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality (EA4EPQ). 2012. Режим доступа: URL: <http://www.icrepq.com/icrepq12/334-lafuenti.pdf> (дата обращения: 08.02.2019).

14. Gagliano A. et al. Performance assessment of a solar assisted desiccant cooling system //Thermal Science. 2014. Т.18. № 2. С. 563–576. Режим доступа: URL: <http://www.doiserbia.nb.rs/ft.aspx?id=0354-98361300067G> (дата обращения: 03.02.2019).

15. Самарин О.Д., Бызов Н.И. Возможности повышения класса энергосбережения общественных зданий за счёт теплоутилизации в системах вентиляции //Сантехника, отопление, кондиционирование. 2017. № 3. С. 72–75. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29913845> (дата обращения: 08.02.2019).

16. Самарин О.Д. О соотношении температурной эффективности теплоутилизаторов и снижения энергопотребления в системах вентиляции // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 2. С. 40–42. Режим доступа: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12840212> (дата обращения: 08.02.2019).

17. Gómez E.V., González A.T., Martínez F.J.R. Experimental characterisation of an indirect evaporative cooling prototype in two operating modes //Applied energy. – 2012. Т.97. С.340–346. Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911008610> (дата обращения: 08.02.2019). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.065>

18. Chen Y., Yang H., Luo Y. Parameter sensitivity analysis and configuration optimization of indirect evaporative cooler (IEC) considering condensation // Applied energy. 2017. Т.194. С.440–453. Режим доступа: URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261916308960> (дата обращения: 08.02.2019). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.121>.

19. Hani A., Koiv T.A. Energy consumption monitoring analysis for residential, educational and public buildings //Smart Grid and Renewable Energy. 2012. Т. 3. № 03. С.231–238. Режим доступа: URL: http://www.scirp.org/fileOperation/download.aspx?path=SGRE20120300009_91893471.pdf&type=journal (дата обращения: 10.02.2019).

20. Цынаева Е.А., Цынаева А.А. Моделирование автоматизированных систем управления теплопотреблением зданий // Математические методы и модели: теория, приложения и роль в образовании. 2011. № 2. С. 282–285. Режим доступа: URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25751939> (дата обращения: 10.02.2019).

21. Тсынаева Е.А., Тсынаева А.А. Modeling of methods to control heat-consumption efficiency //Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2016. Т. 89. № 6. С. 1380–1387. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10891-016-1505-6> Режим доступа: URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10891-016-1505-6> (дата обращения: 10.02.2019).

REFERENCES

1. Sotnikova O. A., Ivanitskaya, E. G. An Adaptive system of ventilation of shopping centres. *Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija* [Scientific Journal. Engineering Systems and Structures], 2014, no. 3 (16), pp. 44-48. (in Russian)
2. Starkova L. G., Safargaleev D. F., Nosova, M. S., Y. S. Rasskazova. Adaptive system of ventilation of a multifunctional shopping centers of Magnitogorsk. *Aktual'nye problemy sovremennoj nauki, tehniki i obrazovanija* [Actual Problems of Modern Science, Technology and Education], 2013, Vol.2, no. 71, pp. 246-248. (in Russian)
3. De Dear R. J. Adaptive thermal comfort in building management and performance. Proceedings of the Healthy Buildings, 2006, V. 1, pp. 31-35. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84871551445&partnerID=MN8TOARS> . (дата обращения 04.02.2019).
4. Umberger M., Humar I. Energy savings of refrigerators in shopping centers with adaptive control and real-time energy management systems. *Przeglad Elektrotechniczny*, 2012, V. 88, no. 6, pp. 327-331.
5. Bulygina S. G., Sotnikova O. A. Modeling of convective heat transfer of man with air of industrial premises of restaurant complexes. *Nauchnyj zhurnal. Inzhenernye sistemy i sooruzhenija* [Scientific Journal. Engineering Systems and Structures], 2011, no. 2, pp. 55-66. (in Russian)
6. Li W. M., Lee S. C., Chan L. Y. Indoor air quality at nine shopping malls in Hong Kong. *Science of the Total Environment*, 2001, V. 273, no. 1-3, pp. 27-40.
7. Sun Z., Wang S., Ma Z. In-situ implementation and validation of a CO₂-based adaptive demand-controlled ventilation strategy in a multi-zone office building. *Building and Environment*, 2011, V. 46, no. 1, pp. 124-133.
8. Swami M. V., Chandra S. Procedures for calculating natural ventilation airflow rates in buildings. ASHRAE Final Report FSEC-CR-163-86, ASHRAE Research Project., 1987, 130 p. Available at: <http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-CR-163-86.pdf>.
9. Ben-David T., Waring M. S. Impact of natural versus mechanical ventilation on simulated indoor air quality and energy consumption in offices in fourteen US cities. *Building and Environment*, 2016, V. 104, pp. 320-336.
10. Rubtsov A. S. Improving the energy efficiency of engineering systems of shopping malls. *AVOK: Ventilacija, otoplenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naja teplofizika* [AVOK: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermal physics], 2012, no. 8, pp. 26-33. (in Russian)
11. da Graça G. C., Martins N. R., Horta C. S. Thermal and airflow simulation of a naturally ventilated shopping mall. *Energy and Buildings*, 2012, V. 50, pp. 177-188.
12. Ayata T., Çam E., Yıldız O. Adaptive neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) application to investigate potential use of natural ventilation in new building designs in Turkey. *Energy Conversion and Management*, 2007, V. 48, no. 5, pp. 1472-1479.
13. Lafuenti I. et al. New solutions for the use of solar cooling in hot and humid weather conditions. International Conference on Renewable Energies and Power Quality. Santiago de Compostela, Spain: European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality (EA4EPQ), 2012. Available at: <http://www.icrepq.com/icrepq'12/334-lafuenti.pdf>.
14. Gagliano A. et al. Performance assessment of a solar assisted desiccant cooling system. *Thermal Science*, 2014, V. 18, no. 2, pp. 563-576.
15. Samarin O. D., Byzov N. I. Opportunities to increase the class of energy saving of public buildings due to heat recovery in ventilation systems. *Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie* [Plumbing, Heating, Air Conditioning], 2017, no. 3, pp. 72-75. (in Russian)
16. Samarin O. D. On the ratio of thermal efficiency of heat exchangers and reducing energy consumption in ventilation systems. *Jenergoberezenie i vodopodgotovka* [Energy Saving and Water Treatment], 2009, no. 2, pp. 40-42. (in Russian)
17. Gómez E. V., González A. T., Martínez F. J. R. Experimental characterisation of an indirect evaporative cooling prototype in two operating modes. *Applied energy*, 2012, V. 97, pp. 340-346.
18. Chen Y., Yang H., Luo Y. Parameter sensitivity analysis and configuration optimization of indirect evaporative cooler (IEC) considering condensation. *Applied energy*, 2017, V. 194, pp. 440-453. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.121>
19. Hani A., Koiv T. A. Energy consumption monitoring analysis for residential, educational and public buildings. *Smart Grid and Renewable Energy*, 2012, V. 3, no. 03, pp. 231-238.
20. Tsynaeva E. A., Tsynaeva A. A. Modeling of methods to control heat-consumption efficiency. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2016, V. 89, no. 6, pp. 1380-1387. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10891-016-1505-6>
21. <https://www.simscale.com/>

Об авторах:

ЯРЦЕВ Дмитрий Сергеевич

магистрант кафедры теплогазоснабжения
и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: dima.yartsev1996@gmail.com

YARTSEV Dmitry S.

Master's Degree Student
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Samara, Russia, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: dima.yartsev1996@gmail.com

ЦЫНАЕВА Анна Александровна

к.т.н., доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения
и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: a.tsinaeva@rambler.ru

TSYNAEVA Anna A.

PhD in Engineering science, Associate Professor
of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Samara, Russia, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: a.tsinaeva@rambler.ru

Для цитирования: Ярцев Д.С., Цынаева А.А. Исследование работы систем вентиляции и кондиционирования торгового центра // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 63–73. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.9.
For citation: Yartsev D.S., Tsinaeva A.A. Study of the Ventilation and Air Conditioning System of the Shopping Mall // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 63–73. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.9.

Уважаемые читатели!

Отраслевая научно-исследовательская лаборатория «Реконструкция»
приглашает к сотрудничеству.

Руководитель Яковлева Маргарита Викторовна

Контакты:

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 110
тел. (846) 333-06-49
E-mail: rekonstrukzia@list.ru



**Т. И. ХАЛТУРИНА
М. М. ОРЛОВА
О. В. ЧУРБАКОВА**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЛИЯНИЮ
КОАГУЛЯНТОВ POLYPACS-30 LF, POLYPACS-F, POLYPACS-PFS
И РЕАГЕНТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ ШЛАКА, НА СВОЙСТВА
СМЕШАННОГО ОСАДКА МАСЛОЭМУЛЬСИОННЫХ
И КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

**EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE EFFECT OF POLYPACS-30 LF, POLYPACS-F,
POLYPACS-PFS AND REAGENT FROM SLAG ON PROPERTIES OF OIL EMULSION
AND ACID-BASED WASTE**

Представлены результаты экспериментальных исследований по интенсификации обезвоживания смешанных осадков маслоэмульсионных и кислотно-щелочных сточных вод. Проведено изучение определения оптимальных доз коагулянтов POLYPACS-30 LF, POLYPACS-F, POLYPACS-PFS и реагента, полученного из шлака. Найдены свойства смешанных осадков. Показаны результаты с помощью рентгенофазового и термогравиметрического анализа на приборах D8 ADVANCE фирмы Bruker (Германия) в Си-K_α-излучении и NETZSCHSTA 449 F1 по определению состава осадков. Состав шлака был определен с помощью рентгенофазового (РФА) и рентгеноспектрального (РСА) анализа. Съемка рентгенограмм осуществлялась на автоматизированном рентгеновском дифрактометрическом оборудовании фирмы «Shimadzu XRD-7000S» (излучение СиK_α). РФА проводился с использованием информационно-поисковой системы рентгенофазовой идентификации материалов (ИПС ФИ), совмещающей качественный и полуколичественный (по методу «корундовых чисел») анализ. Для полуколичественного РСА применялся метод фундаментальных параметров (волновой рентгенофлуоресцентный спектрометр фирмы «Shimadzu XRF-1800»). Полученные данные по исследованию свойств и состава смешанных осадков могут быть использованы для разработки технологии утилизации.

Ключевые слова: осадок, состав, структура, коагулянт, POLYPACS-30 LF, POLYPACS-F, POLYPACS-PFS, шлак, интенсификация, обезвоживание, методы рентгенофазовой, рентгеноспектральной, термогравиметрической

This paper presents the results of experimental studies on the intensification of dehydration of mixed sediments of oil emulsion and acid-base wastewater. The study of determining the optimal doses of coagulants POLYPACS-30 LF, POLYPACS-F, POLYPACS-PFS was carried out. The properties of mixed sediments were found. The results are shown using X-ray phase and thermogravimetric analyzes on the D8ADVANCE devices of the firm Bruker (Germany) in Cu-K_α-radiation and NETZSCHSTA 449 F1 by determining the composition of precipitation. The composition of the slag was determined using X-ray fluorescence analysis - X-ray phase and X-ray X-ray spectral analyzes. The X-ray patterns were taken on an automated X-ray diffractometric equipment from ShimadzuXRD-7000S (CuK_α radiation). XRF was carried out using an information retrieval system of X-ray phase identification of materials (IPS FI), combining qualitative and semi-quantitative (by the method of "corundum numbers") analysis. For semi-quantitative XRD, the method of fundamental parameters was used (wave X-ray fluorescence spectrometer of the ShimadzuXRF-1800 company). Obtained data on the study of the properties and composition of mixed precipitation can be for the development of technology utilization.

Keywords: sediment, composition, coagulant structure, POLYPACS-30 LF, POLYPACS-F, POLYPACS-PFS, slag, intensification, dehydration, X-ray phase, X-ray, thermogravimetric methods.

Введение

В процессе подготовки осадков сточных вод к механическому обезвоживанию применяют реагентную обработку как распространенный способ кондиционирования. При этом имеет значение правильное определение дозы химических реагентов [1]. В технологии очистки воды применяют разнообразные коагулянты, однако наиболее распространены соли алюминия и железа [2]. В работах [3, 4] показано применение флокулянтов для интенсификации обезвоживания осадков. Известно [5], что при использовании флокулянтов в сочетании с коагулянтами могут быть получены смешанные реагенты, интенсифицирующие процессы.

Цель исследования – улучшение водоотдающей способности и определение свойств и состава смешанных осадков маслоэмульсионных и кислотно-щелочных сточных вод при обработке коагулянтами POLYPACS-30 LF, POLYPACS-F, POLYPACS-PFS и реагента, полученного из шлака для их последующей утилизации.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводились на натуральных смешанных осадках маслоэмульсионных и кислотно-щелочных сточных вод предприятий металлообработки. Обработка осадков коагулянтами POLYPACS-30 LF, POLYPACS-F, POLYPACS-PFS и реагентом, полученным из шлака. Найдены составы смешанных осадков с помощью рентгенофазового и термогравиметрического анализа на приборах D8 ADVANCE фирмы Bruker (Германия) в $\text{CuK}\alpha$ -излучении и NETZSCH STA 449 F1. Состав шлака был определен с помощью рентгенофазового (РФА) и рентгеноспектрального (РСА) анализа. Съемка рентгенограмм осуществлялась на автоматизированном рентгеновском дифрактометрическом оборудовании фирмы «Shimadzu XRD-7000S» (излучение $\text{CuK}\alpha$). РФА проводился с использованием инфор-

мационно-поисковой системы рентгенофазовой идентификации материалов (ИПС ФИ), совмещающей качественный и полуколичественный (по методу «корундовых чисел») анализ. Для полуколичественного РСА применялся метод фундаментальных параметров (волновой рентгенофлуоресцентный спектрометр фирмы «Shimadzu XRF-1800»). Раствор реагента, полученный при обработке металлургического шлака раствором H_2SO_4 , был исследован на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой «iCAP-6500» для определения концентрации ионов, перешедших в раствор.

Результаты и обсуждение

Для проведения эксперимента были выбраны коагулянты трех видов POLYPACS-30 LF, POLYPACS-F, POLYPACS-PFS. До начала исследований по обработке осадков коагулянтами были определены состав и свойства исходного натурального осадка маслоэмульсионных и кислотно-щелочных сточных вод, которые представлены в табл. 1.

Для исследования процесса реагентной обработки был принят коагулянт POLYPACS-30 LF – органический коагулянт полиалюминия хлорид. Он представляет собой порошок светло-желтого цвета с массовой долей оксида алюминия (Al_2O_3) $\geq 30\%$.

Как видно из табл. 1, осадок обладает высоким значением удельного сопротивления осадка фильтрации. Для улучшения водоотдающей способности осадка были проведены экспериментальные исследования по обработке его коагулянтом POLYPACS-30 LF. Данные эксперимента представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, применение POLYPACS-30 LF позволяет снизить удельное сопротивление осадка фильтрации в 3,4 раза при добавлении оптимальной дозы 1 мг/дм^3 , что позволит увеличить производительность обезвоживающих аппаратов.

Таблица 1

Свойства смешанного осадка маслоэмульсионных и кислотно-щелочных сточных вод

Вид осадка	Плотность, г/см^3	Влажность осадка, %	Влажность кека, %	Сухой остаток после просушивания, г/дм^3	Прокал. остаток, г/дм^3		Потери при прокаливании, г/дм^3		Зольность, %		Удельное сопротивление осадка фильтрации, см/г
					450 °С	800 °С	450 °С	800 °С	450 °С	800 °С	
					Исходный	0,96	97,8	86,6	22	9,3	

Таблица 2

Результаты экспериментальных исследований

Доза коагулянта, мг/дм ³	0,5	1	2,5	5	7,5
Удельное сопротивление осадка фильтрации, см/г	366,2	150,49	158,37	287,38	350,32

Изменение свойств осадков было подтверждено при использовании термического метода исследования. Наряду с дифференциальной сканируемой калориметрией применялся термогравиметрический метод (ТГ), основанный на изменении массы используемых образцов осадка при нагревании в зависимости от температуры. Исследования проводились на приборе NETZSCH STA 449 F1 в диапазоне 30/20,0 (К/мин)/1000 при использовании программного обеспечения NETZSCH Proteus. Термограммы осадков представлены на рис. 1 и 2 в виде кривых ДСК – ТГ (где ДСК – дифференциальная сканирующая калориметрия, мкВ/мг; ТГ – кривая изменения массы, %; ДТГ – дифференциальная термогравиметрическая кривая, %/мин).

При сопоставлении термограмм исходного осадка и осадка, обработанного

POLYPACS-30 LF, видны отличия по значениям термоэффектов и ширине пиков. Эндотермические эффекты при $t = 119,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 1) и $t = 123,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 2) показывают удаление слабосвязанной воды; при $t = 303,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 1) и $t = 301,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 340,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 2) происходят полиморфные превращения гидроокислов алюминия. При $t = 430\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 1) и $t = 363,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 2) наблюдается эндотермический эффект обезвоживания и дегидроксилирования гидроксидов алюминия. При $t = 460,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t = 440,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 2) пики характерны для сгорания масел. Пик при $t = 788,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 2) объясняется разложением карбонатов [6]. В данной работе был поставлен эксперимент по обработке осадка коагулянтном POLYPACS-F – это неорганический полимер на основе полиалюминия хлорида с содержанием оксида железа $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 2,5\%$. В табл. 3 представлены свойства осадка, обработанного данным коагулянтном оптимальной дозой 5 мг/дм^3 .

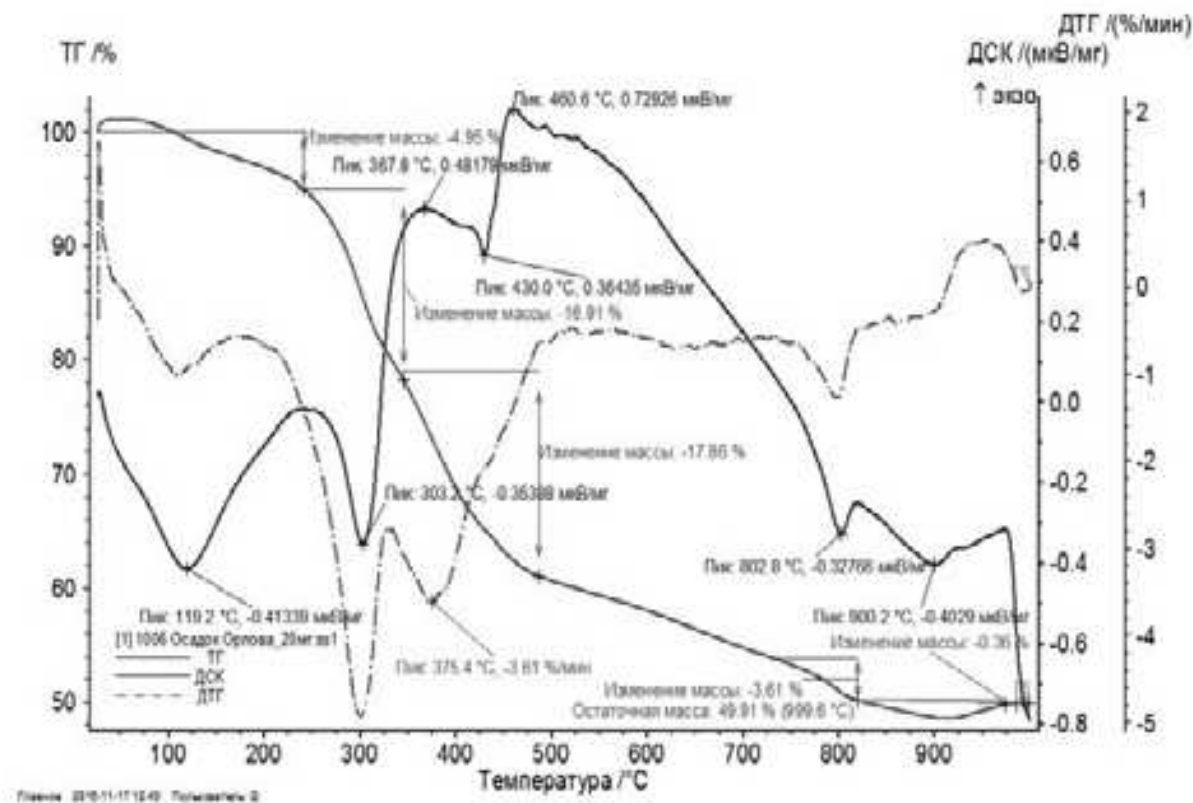


Рис. 1. Термограмма исходного смешанного осадка

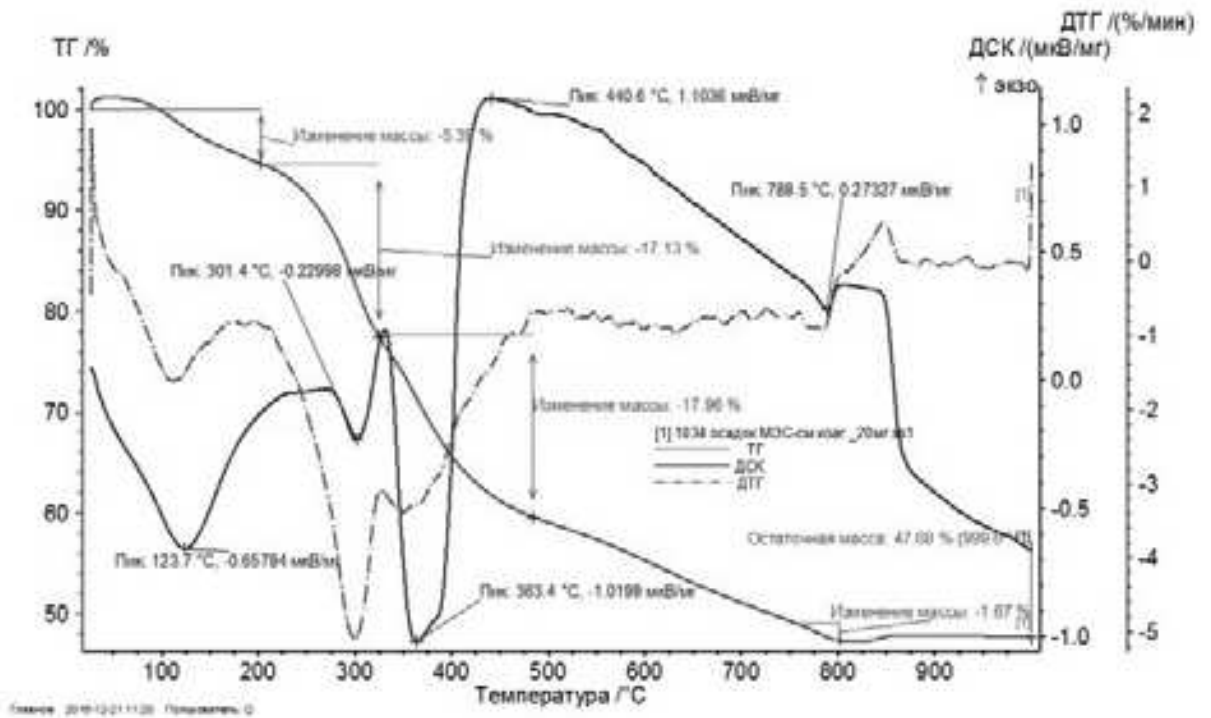


Рис. 2. Термограмма смешанного осадка, обработанного POLYPACS-30 LF

Таблица 3

Свойства осадка, обработанного коагулянтом POLYPACS-F

Влажность W, %	Плотность ρ, г/см ³	Сухой остаток 105 °С, г/дм ³	Остаток после прокаливания, г/дм ³		ППП, г/дм ³		Удельное сопротивление осадка фильтрации, см/г
			450 °С	800 °С	450 °С	800 °С	
96,57	0,987	33,86	23,08	19,26	25,98	29,79	139,7*1010

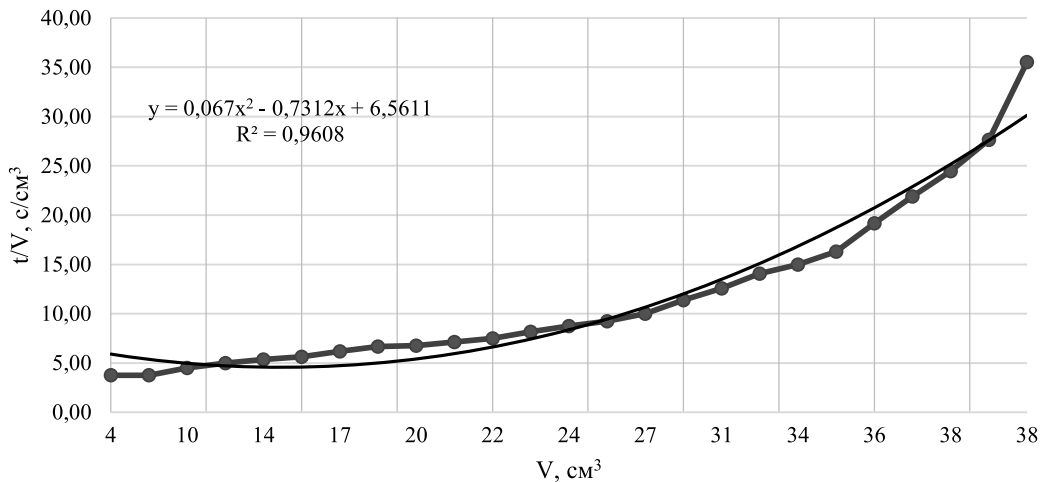


Рис. 3. График для параметра ν , определяющий удельное сопротивление осадка фильтрации кондиционированным коагулянтом POLYPACS-F

Для определения удельного сопротивления осадка, кондиционированного коагулянтом POLYPACS-F, были обработаны экспериментальные данные в табличном процессоре Excel, построен график для параметра ν и получено уравнение аппроксимации (рис. 3).

Как видно из табл. 3, удельное сопротивление осадка фильтрации снижается в 3,6 раза.

Для изучения состава осадков, обработанных коагулянтом POLYPACS-F, были проведены рентгенофазовый и термогравиметрический анализы на приборах D8ADVANCE фирмы Bruker (Германия) в CuK_2 -излучении при использовании рентгеновской картотеки PDF-2 (2008) и NETZSCHSTA 449 F1. Дифрактограмма и термограмма представлены на рис. 4, 5.

На дифрактограмме (рис. 4) наблюдаются линии, характерные для гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($d=3,019; 2,77; 2,37; 2,32 \text{ \AA}$), интенсивные линии характерны для гематита Fe_2O_3 ($d=3,5; 2,66; 2,01; 1,69 \text{ \AA}$), для гиббсита, байерита и бемита линии с $d=3,48; 2,66; 2,4 \text{ \AA}$, для карбоната кальция CaCO_3 $d=2,83; 1,98 \text{ \AA}$.

Как видно из термограммы рис. 5, на кривой ДСК наблюдаются эндоэффекты. Пик при $t = 129 \text{ }^\circ\text{C}$ связан с дегидратацией, пик при $t = 305 \text{ }^\circ\text{C}$ характеризует полиморфные превращения гидроокислов алюминия. Термоэффект при $t = 747 \text{ }^\circ\text{C}$ объясняется разложением CaCO_3 . Пики при $t = 275 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t = 375 \text{ }^\circ\text{C}$ указывают на наличие окислов железа, при $t = 480 \text{ }^\circ\text{C}$ объясняются выгоранием нефтепродуктов. Остаточная масса составляет 59,23 %.

Были изучены свойства и состав осадков, обработанных коагулянтом POLYPACS-PFS (полиоксисульфат железа (полимерный сульфат железа) $\text{Fe}_2(\text{OH})_n(\text{SO}_4)_{3-n/2}/m$ ($n < 2, m = f(n)$), он представляет собой высокоэффективный неорганический коагулянт с помощью рентгенофазового и термогравиметрического анализов (табл. 4, рис. 6, 7).

Как видно из табл. 3, удельное сопротивление осадка фильтрации снижается в 3,32 раза.

Исследование также проводилось с помощью рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ADVANCE D8 фирмы Bruker-AXS (Германия) при использовании рентгеновской картотеки PDF-2, 2008. Дифрактограмма осадка представлена на рис. 6.

Как следует из дифрактограммы, основу кристаллической фазы составляют гематит Fe_2O_3 ($d=3,68; 2,2; 1,86; 1,64 \text{ \AA}$) и магнетит Fe_3O_4 ($d=1,69 \text{ \AA}$). Кроме того, на дифрактограмме осадка наблюдаются фазы, представленные оксидами алюминия ($d = 3,56; 3,1; 2,17; 2,07; 1,97; 1,74 \text{ \AA}$), CaSO_4 ($d = 3,47; 2,84; 2,32 \text{ \AA}$), CaCO_3 ($d = 3,1 \text{ \AA}$).

Определение состава осадка также было проведено с помощью термогравиметрического анализа на приборе NETZSCHSTA 449 F1 в диапазоне 30/20,0 (к/мин)/1000 в режиме ДСК-ТГ (где ДСК – дифференциальная сканирующая калориметрия, мкВ/мг; ТГ – кривая изменения массы, %; ДТГ – дифференциальная термогравиметрическая кривая, %мин). Термограмма представлена на рис. 7.

Как видно из термограммы рис. 7, на кривых ДСК показан эндоэффект при $t = 122,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Пик

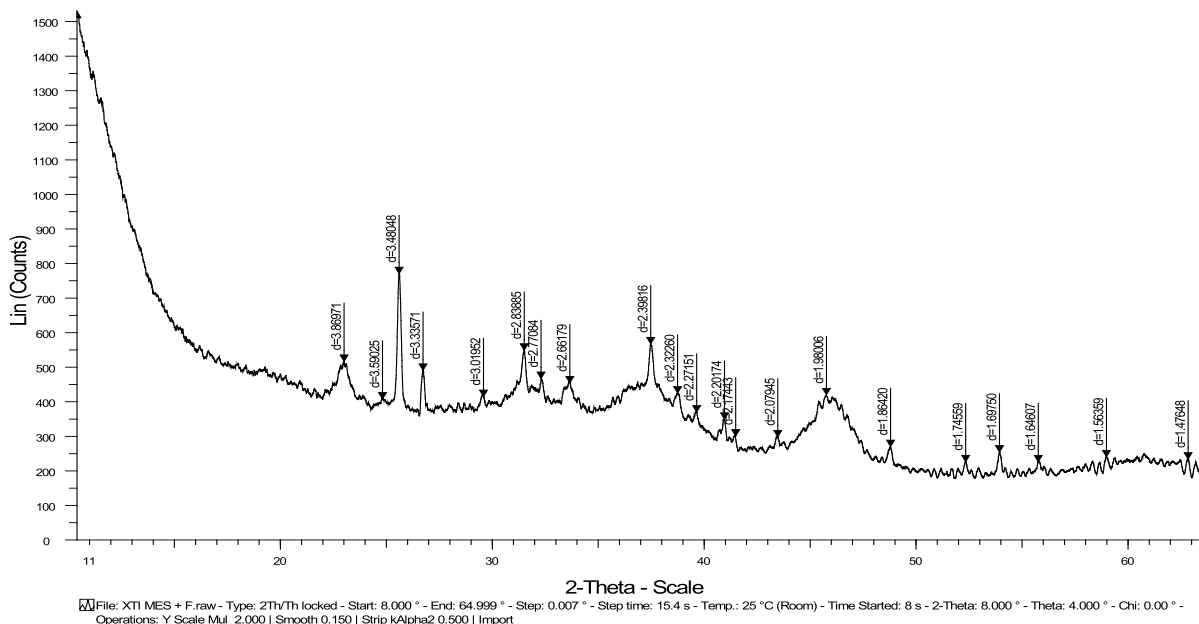


Рис. 4. Дифрактограмма осадка, обработанного коагулянтом POLYPACS-F

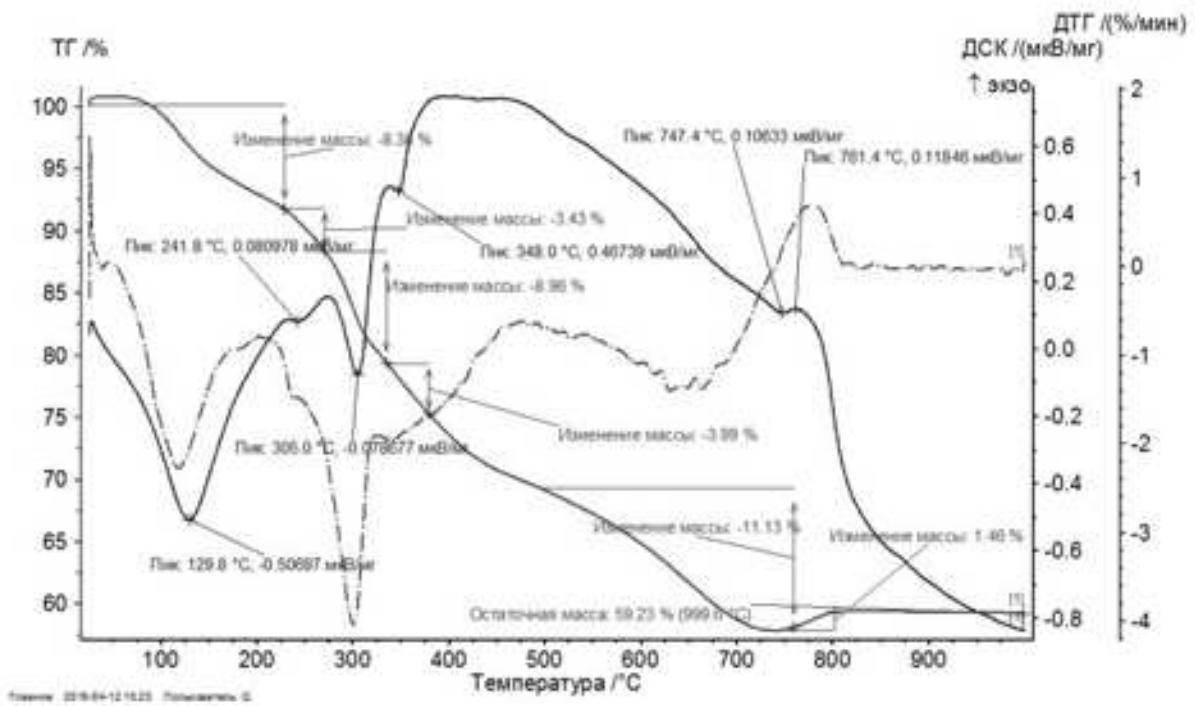


Рис. 5. Термограмма осадка, обработанного коагулянтом POLYPACS-F

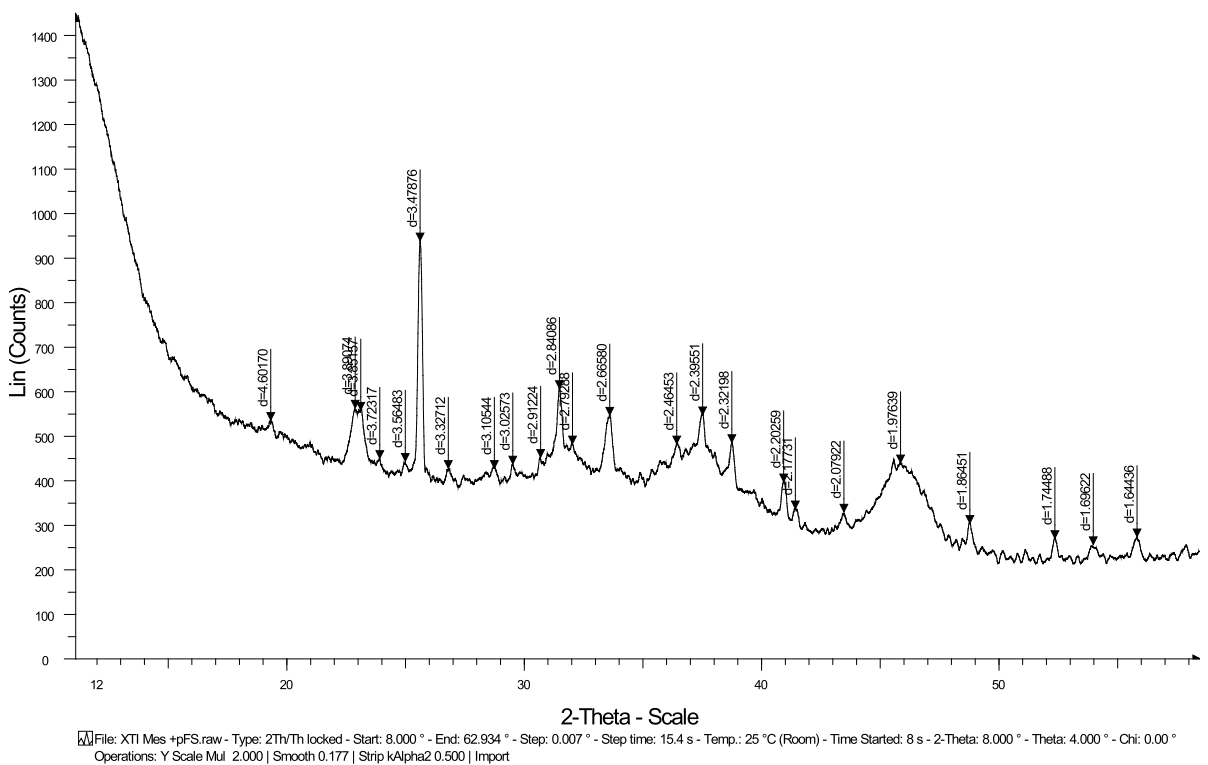


Рис. 6. Диффрактограмма осадка, обработанного коагулянтом POLYPACS-PFS

при $t = 242,0 \text{ }^\circ\text{C}$ характерен для полиморфных превращений оксигидратных форм алюминия. Эндотермический эффект при $t = 305,5 \text{ }^\circ\text{C}$ связан с наличием в образце $\text{FeO}\cdot\text{H}_2\text{O}$. Термический эффект при $t = 342,0 \text{ }^\circ\text{C}$ характерен для магнетита $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$. Эффект при $t = 375,0\text{--}480,0 \text{ }^\circ\text{C}$ свидетельствует о горении масел. Пики при $t = 873,7 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t = 898,0 \text{ }^\circ\text{C}$ характерны для разложения карбонатов. Термогравиметрические кривые (ТГ) показывают, что все основные тепловые эффекты сопровождаются изменением массы образца осадка в зависимости от температуры. Остаточная масса составляет 52,22 %.

Альтернативным решением обработки осадка является реагентная обработка при использовании коагулянтов, полученных из шлака металлургических предприятий. Учитывая региональные условия и наличие отходов производства – гранулированного металлургического шлака [7], была изучена возможность интенсификации обезвоживания осадка при применении раствора реагента, полученного из шлака. В качестве сырья для получения раствора коагулянта использовали металлургический шлак Норильского никелевого завода. Состав шлака был определен с помощью рентгенофазового и рентгено-

Таблица 4

Свойства осадка, обработанного коагулянтом POLYPACS-PFS

Влажность W, %	Плотность ρ , г/см ³	Остаток после прокаливания, г/дм ³			ППП, г/дм ³		Удельное сопротивление осадка фильтрации, см/г
		105 °С	450 °С	800 °С	450 °С	800 °С	
96,9	0,979	30,39	20,55	18,58	9,85	11,81	$153,26 \times 10^{10}$

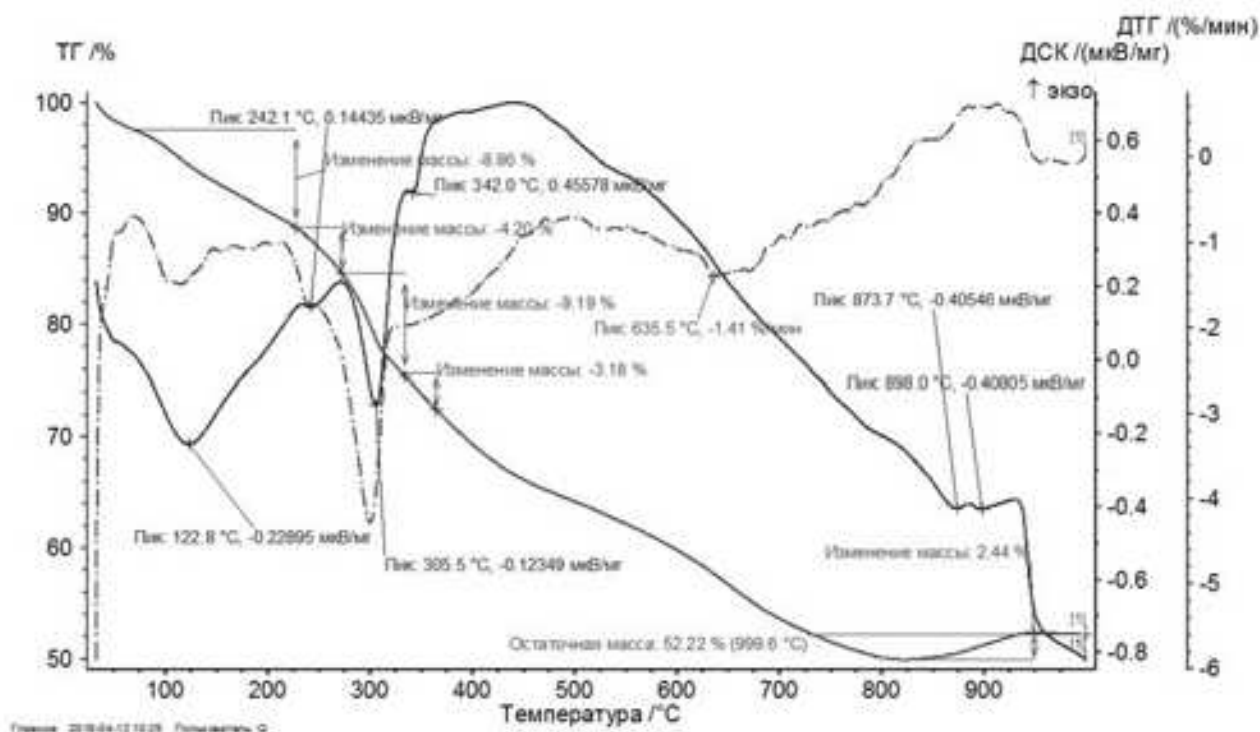


Рис. 7. Термограмма осадка, обработанного коагулянтом POLYPACS-PFS

спектрального анализа. Съемка рентгенограмм осуществлялась на автоматизированном рентгеновском дифрактометрическом оборудовании фирмы «Shimadzu XRD-7000S» (излучение CuK_α). РФА проводился с использованием информационно-поисковой системы рентнофазовой идентификации материалов (ИПС ФИ), совмещающей качественный и полуколичественный (по методу «корундовых чисел») анализ. В табл. 5 показан фазовый состав образца шлака по данным РФА. Для полуколичественного РСА применялся метод фундаментальных параметров (волновой рентнофлуоресцентный спектрометр фирмы «Shimadzu XRF-1800»). На рис. 8 представлена рентгенограмма образца шлака никелевого производства. Элементный и фазовый составы исходного и обработанного реагентом осадка были

определены также с помощью рентнофазового и рентноспектрального анализа.

В табл. 6 представлен химический состав образца шлака по данным рентноспектрального анализа.

Установлено, что гранулированный металлургический шлак содержит в большей мере такие элементы, как железо, кремний, алюминий, кальций, магний.

При обработке шлака кислотой образуется раствор смешанного коагулянта, содержащий ионы Fe^{2+} , Al^{3+} и активную кремниевую кислоту. Частицы активной кремниевой кислоты способствуют коагуляции гидратов окислов железа, алюминия. Как известно, смешанный коагулянт обладает более эффективными коагулирующими свойствами, позволяющими заметно

Таблица 5

Фазовый состав по данным РФА, масс. %	
Формула	Содержание, %
Fe_2SiO_4	87,2
$\text{Ca}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_2$	10,2
SiO_2	2,46

Таблица 6

Химический состав шлака по данным РСА, масс. %								
Элемент	O	Fe	Si	C	Ca	Al	S	Na
Концентрация	35,9435	27,8176	17,5664	3,8917	3,8464	3,6342	2,3717	1,5378
Элемент	Mg	K	F	Ti	Cu	Ni	Co	Cr
Концентрация	1,3917	0,8663	0,3009	0,196	0,1907	0,1182	0,0958	0,0628
Элемент	Mn	Ba	P	Zn	Sr	Cl	Rb	
Концентрация	0,0561	0,0401	0,0186	0,0216	0,0149	0,0127	0,0043	

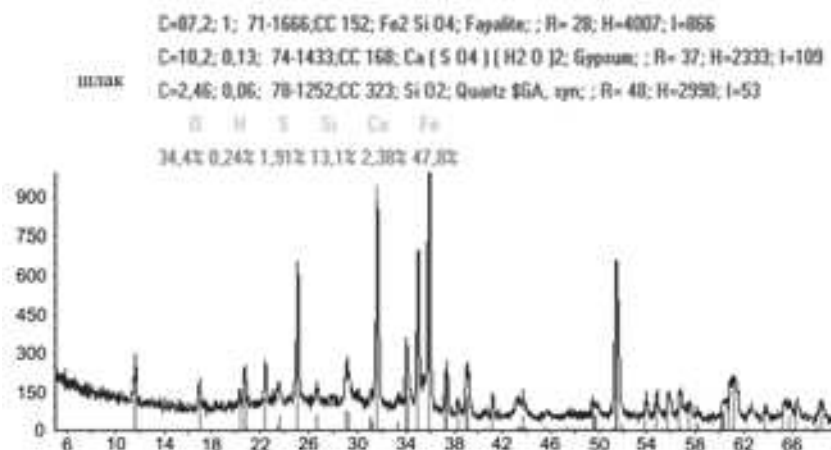


Рис. 8. Рентгенограмма образца шлака

снизить чувствительность процесса коагуляции к солевому составу и расширить ее зоны.

Раствор реагента, полученный при обработке металлургического шлака раствором H_2SO_4 , был исследован на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой «iCAP-6500» для определения концентрации ионов, перешедших в раствор. В табл. 7 представлены концентрации ионов в растворе, полученном из шлака.

Обработка экспериментальных данных по определению зависимости удельного сопротивления фильтрации осадка от дозы реагента, полученного из металлургического шлака, была проведена в табличном процессоре «Excel» для получения уравнения аппроксимации (рис. 9).

Как видно из рис. 9, оптимальная доза реагента для снижения удельного сопротивления осадка фильтрации составляет 960 мг/дм³ или 2 % от массы сухого вещества осадка.

Таблица 7

Концентрация ионов в растворе, полученном из шлака

Ионы химического элемента	Al ³⁺	Fe ²⁺	Co ²⁺	Ni ²⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Si ⁴⁺
Концентрация, мг/дм ³	1002,075	11757,501	11,057	18,153	1061,25	846,253	129,333

Таблица 8

Свойства осадка исходного (осадок № 1) и обработанного раствором из шлака осадка (осадок № 2)

Вид осадка	Плотность, г/см ³	Влажность осадка, %	Влажность кека, %	Сухой остаток после просушивания, г/дм ³	Прокаленный остаток, г/дм ³		Потери при прокаливании, г/дм ³		Зольность, %		Замасленность, %	Удельное сопротивление фильтрации, г*1010 см/г
					450 °C	800 °C	450 °C	800 °C	450 °C	800 °C		
№ 1	0,987	89,819	88,142	100,510	53,240	45,450	47,270	55,060	52,970	45,219	47,030	303,390
№ 2	0,975	89,161	86,273	105,660	66,780	30,900	38,880	74,760	63,203	29,245	36,797	57,257

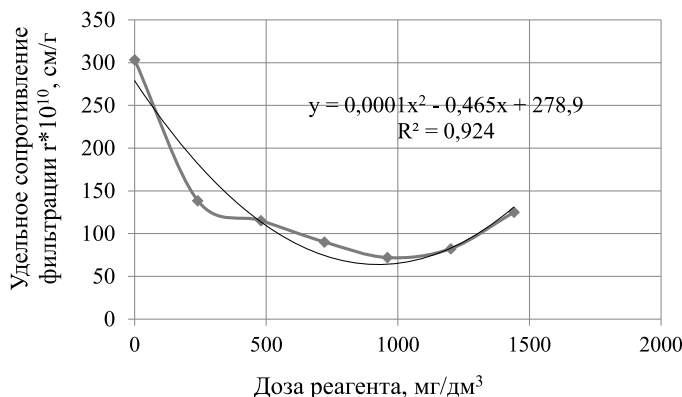


Рис. 9. Зависимость удельного сопротивления фильтрации осадка от дозы реагента

В табл. 8 представлены свойства осадка исходного (осадок № 1) и обработанного раствором коагулянта, полученного из шлака (осадок № 2).

Из табл. 8 видно, что значение удельного сопротивления при обработке раствором смешанного коагулянта, полученного из шлака, снижается в 5,3 раза, а нефтесодержание осадка уменьшается на 10,4 %, что позволит использовать его в качестве реагента для очистки МЭС.

Выводы. 1. Проведено изучение определения оптимальных доз коагулянтов POLYPACS-30 LF, POLYPACS-F, POLYPACS-PFS и реагента, полученного из шлака.

2. Найдены составы смешанных осадков с помощью рентгенофазового (РФА) и термogravиметрического (РСА) анализа на приборах D8 ADVANCE фирмы Bruker (Германия) в CuK α -излучении и NETZSCH STA 449 F1.

3. Определен состав шлака с помощью рентгенофазового (РФА) и рентгеноспектрального (РСА) анализа. Съемка рентгенограмм осуществлялась на автоматизированном рентгеновском дифрактометрическом оборудовании фирмы «Shimadzu XRD-7000S» (излучение CuK α). РФА проводился с использованием информационно-поисковой системы рентгенофазовой идентификации материалов (ИПС ФИ), совмещающей качественный и полуквантитативный (по методу «корундовых чисел») анализ.

4. Применялся метод фундаментальных параметров (волновой рентгенофлуоресцентный спектрометр фирмы «Shimadzu XRF-1800») для полуквантитативного РСА.

5. Полученные данные по исследованию свойств и состава смешанных осадков могут быть использованы для разработки технологии утилизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Туровский И.С. Обработка осадка сточных вод. М.: Стройиздат, 1988. 256 с.
2. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. 2-е изд., перераб. и доп. К.: Вища шк., 1986. 352 с.
3. Халтурина Т.И., Чурбакова О.В. Повышение эффективности процесса обезвоживания осадков маслоэмульсионных сточных вод // Известия вузов «Строительство». 2012. № 11–12. С. 84–89.
4. Халтурина Т.И., Холмута Ю.В., Чурбакова О.В. Интенсификация процесса обезвоживания осадков металлообрабатывающих предприятий // Известия вузов «Строительство». 2004. № 12 (552). С. 69–72.
5. Гандурина Л.В. Органические флокулянты и технологии очистки природных и промышленных сточных вод и обработки осадков: аналитический обзор. М.: Изд-во ЗАО «ДАР/ВОДГЕО», 2001. 74 с.

6. Иванова В.П., Касатов Б.П., Красавина Т.Н., Розина Е.Л. Термический анализ минералов и горных пород. М.: Недра, 1974. 399 с.

7. Халтурина Т.И. К вопросу утилизации металлургического шлака никелевого производства // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2016. № 4(111). С. 178–186.

REFERENCES

1. Turovsky I.S. *Obrabotka osadka stochnykh vod* [Sewage sludge treatment]. Moscow, Stroizdat Publ. 1988. 256p.
2. Kulsky L.A., Strokach P.P. *Tekhnologiya ochistki prirodnykh vod* [Tehnologiya purification of natural waters]. 2nd ed., Pererab. and additional. K. Looks of schk. The main publishing house in 1986. 352p.
3. Khalturina T.I., Churbakova O.V. Improving the efficiency of the process of dewatering of oil emulsion sludge sludge. *Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo* [News of High Schools. Construction], 2012 no. 11–12, pp. 84–89. (in Russian)
4. Khalturina T.I., Khomutova Yu.V., Churbakova O.V. Intensification of the process of dewatering of metal-working enterprises sludge. *Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo* [News of High Schools. Construction], 2014, no. 12 (552), pp. 69–72. (in Russian)
5. Gandurina L.V. *Organicheskie flokulyanty i tekhnologii ochistki prirodnykh i promyshlennykh stochnykh vod* [Organic flocculants and technologies for purification of natural and industrial wastewater and sludge treatment: an analytical review]. Moscow, Publishing house DAR. VODGEO, 2001. 74 p.
6. Ivanov V.P., Kasatov B.P., Krasavina T.N., Rozinova E.L. *Termicheskiy analiz mineralov i gornykh porod* [Thermal analysis of minerals and rocks]. Nedra Publ, 1974, 399 p.
7. Khalturina T.I. On the issue of utilization of metallurgical slag from nickel production. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta* [Bulletin of Irkutsk State Technical University], 2016, no. 4 (111). pp. 178–186. (in Russian)

Об авторах:

ХАЛТУРИНА Тамара Ивановна

кандидат химических наук, профессор кафедры инженерных систем зданий и сооружений
Сибирский федеральный университет
Инженерно-строительный институт
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, ауд. А-137
E-mail: THal1965@yandex.ru

KHALTURINA Tamara I.

PhD in Chemistry, Professor of the Engineering Systems of Buildings and Structures Chair
Siberian Federal University
School of Engineering and Construction
660041, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny av., 82
E-mail: THal1965@yandex.ru

ОРЛОВА Мария Михайловна

аспирант
Сибирский федеральный университет
Инженерно-строительный институт
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, ауд. А-137
E-mail: mm.orlova@rambler.ru

ORLOVA Maria M.

Postgraduate Student
Siberian Federal University
School of Engineering and Construction
660041, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny av., 82
E-mail: mm.orlova@rambler.ru

ЧУРБАКОВА Ольга Викторовна

кандидат технических наук, доцент
Сибирский федеральный университет
Инженерно-строительный институт
660041, Россия, г. Красноярск, пр. Свободный, 82, ауд. А-137
E-mail: ochurbacova@mail.ru

CHURBAKOVA Olga V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor
Siberian Federal University
School of Engineering and Construction
660041, Russia, Krasnoyarsk, Svobodny av., 82
E-mail: ochurbacova@mail.ru

Для цитирования: *Халтурина Т.И., Орлова М.М., Чурбакова О.В.* Экспериментальные исследования по влиянию коагулянтов Polypacs-30 LF, Polypacs-F, Polypacs-PFS и реагента, полученного из шлака, на свойства смешанного осадка маслоэмульсионных и кислотно-щелочных сточных вод // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 74–84. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.10.

For citation: *Khalturina T.I., Orlova M.M., Churbakova O.V.* Experimental Research on the Effect of Polypacs-30 lf, Polypacs-f, Polypacs-pfs and Reagent from Slag on Properties of Oil Emulsion and Acid-Based Waste // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 74–84. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.10.

Уважаемые читатели!

Научно-технический центр «АРХИГРАД» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

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

Руководитель *Вавилонская Татьяна Владимировна*

Контакты:

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



**А. И. ХЛЫСТОВ
Д. И. ИСАЕВ**

ФОСФАТНОЕ СВЯЗЫВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ТОНКОМОЛОТЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

PHOSPHATE LINKING OF MINERAL THIN-MOLTED INDUSTRIAL WASTE

В статье приводятся различные способы синтеза жаростойких вяжущих на основе многотоннажных отходов предприятий. Применение пиритных огарков и керамзитовой пыли, соответственно с Чапаевского химзавода и Самарского керамзитового завода, в составах жаростойких бетонов на фосфатных связующих позволило повысить их остаточную прочность в зоне критических температур (1300–1350 °С). Огнеупорность данных фосфатных связующих оказалась весьма низкой (~1300 °С), что потребовало применения такого способа её повышения, как введение в состав связующего тонкодисперсных высокоглинозёмистых наполнителей с высокими показателями их температуры плавления. Выявлено и обосновано, что использование алюмохромистого отхода нефтехимии ИМ-2201 позволило повысить огнеупорность жаростойкой композиции до 1600 °С. На основе разработанных алюможелезофосфатного, цирконожелезофосфатного и алюмо-силикофосфатного связующих были подобраны составы тяжёлых бетонов с шамотным и высокоглинозёмистым заполнителями марок 400 и 500.

Ключевые слова: жаростойкий бетон, промышленные отходы, пиритные огарки, керамзитовая пыль, алюмохромистый отход нефтехимии ИМ-2201, жаростойкие заполнители, фосфатное связующее

В последнее время для футеровочных конструкций различных тепловых агрегатов и промышленных печей вместо штучных огнеупоров применяют крупногабаритные элементы из жаростойких бетонов, использование которых позволяет увеличить стойкость и повысить долговечность футеровки.

The article describes various methods of synthesizing heat-resistant binders based on large-tonnage wastes of enterprises. The use of pyrite butts and expanded clay dust, respectively, from the Chapayevsky Chemical Plant and the expanded clay plant of the city of Samara in the compositions of heat-resistant concrete on phosphate binders allowed to increase their residual strength in the zone of critical temperatures (1300–1350 °C). The refractoriness of these phosphate binders turned out to be very low (~1300 °C), which required the use of such a method of its increase as the introduction of fine high-alumina fillers with high melting points into the composition of the binder. It was revealed and justified that the use of an alumina-chromium petrochemical waste IM-2201 allowed to increase the refractoriness of the heat-resistant composition to 1600 °C. On the basis of the developed alumina-iron-phosphate, zirconyl-iron-phosphate and alumino-silicophosphate binders, the compositions of heavy concrete with chamotte and high-aluminous aggregates of grades 400 and 500 were selected.

Keywords: refractory concrete, industrial waste, pyrite cinders, expanded clay dust, aluminum-chrome waste petrochemistry IM-2201, refractory aggregates, phosphate binder

Вяжущие вещества, пригодные для приготовления жаростойких бетонов, делятся на гидравлические, воздушные (силикатные) и сульфатно-хлоридные (периклазовый цемент), химические (силикат-глыба, фосфатные и подобные им соединения) и органические. Проведённые в последние годы исследования

показали, что жаростойкие бетоны на фосфатных связующих обладают высокими физико-механическими и термическими характеристиками. Применение фосфатных связующих позволяет повысить температуру применения жаростойких бетонов примерно на 150–200 °С по сравнению с бетонами на других вяжущих.

Основным направлением совершенствования технологий специальных строительных композитов является широкое применение новых материалов, снижение материалоемкости, обеспечение механизации и индустриализации строительства, повышение эксплуатационных характеристик изделий и конструкций, внедрение безотходных технологий в производство строительных материалов за счёт использования отходов промышленности и сохранения таким путём окружающей среды от загрязнения.

Такая задача, как изготовление материалов, обладающих заданными физико-механическими свойствами, важна для футеровочных конструкций промышленных печей и для других тепловых агрегатов, работающих в сложных эксплуатационных условиях (высокая температура, агрессивная газовая или жидкая среда, контакт огнеупорной футеровки с расплавленными шлаками, металлами и сплавами).

Для изготовления фосфатных связующих используются многие оксиды металлов, которые затворяют ортофосфорной кислотой [1, 2] или их кислыми фосфатами.

Большинство работ, посвященных изготовлению огнеупорных материалов на основе фосфатных связующих, связано с применением композиций, содержащих в качестве вяжущего компонента алюмофосфаты. Вызвано это тем, что составы в системе $Al_2O_3 - P_2O_5 - H_2O$, а именно $AlPO_4$ имеют высокую температуру плавления [1, 2]. Алюмофосфатную связку готовят при растворении $Al(OH)_3$ в 65 %-м растворе H_3PO_4 и последующем нагревании массы до 100 °С.

Алюмофосфатные связки (АФС) применяют в качестве жаропрочных клеев для склеивания кварца, стали, стекла, а также в качестве высокотемпературных покрытий по стали и другим металлам [3, 4]. Вводя различные наполнители в состав клея, можно регулировать коэффициент термического расширения (КТР), термостойкость и другие свойства бетонов [5].

Разновидности АФС для жаростойких бетонов получают при нейтрализации H_3PO_4 отвальными шлаками, образующимися при выплавке алюминия или алюминиевых сплавов и содержащими до 10–35 вес. % металлического алюминия [5]. Известна глинистофосфатная связка, получаемая кипячением смеси глины с ортофосфорной кислотой [6].

Хромофосфатную связку (ХФС) получают, растворяя оксиды и гидроксиды хрома, хромит или $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ в ортофосфорной кислоте [2, 3]. В работе [7] хромофосфатную связку получили при смешивании CrO_3 с 60 %-м раствором H_3PO_4 . При нагревании связки CrO_3 восстанавливается до Cr_2O_3 с одновременным образованием фосфатов. Хромофосфатную связку обезвоживают и в этом случае получают стекловидную массу. После измельчения ее затворяют водой и используют как связующее.

Магнийфосфатную связку получают взаимодействием ортофосфорной кислоты с магниевыми материалами (оксид магния, гидроксид магния, периклазовый цемент и каустический магнезит). В воде растворяется только $Mg(H_2PO_4)_2$, поэтому магнийфосфатная связка – это раствор однозамещенного фосфата магния. H_3PO_4 добавляют небольшими порциями в один из видов указанных магниевых материалов в количестве, необходимом для получения однозамещенного фосфата магния. После охлаждения раствор отфильтровывают при производстве различных жаростойких бетонов.

Алюмохромофосфатные связки получают при взаимодействии фосфата алюминия с 5–60 % фосфата хрома или при нейтрализации ортофосфорной кислоты катионами Cr^{3+} и Al^{3+} . Самыми высокими вяжущими свойствами обладает соединение, отвечающее формуле $Al_2O_3 \cdot Cr_2O_3 \cdot 2P_2O_5$. Алюмохромофосфатная связка при хранении значительно дольше сохраняет вяжущие свойства без изменения по сравнению с алюмофосфатными связками. Известны также в практике натрийхромфосфатная, магнийхромфосфатная, цирконийфосфатная связки, которые получают при взаимодействии соответствующих оксидов с ортофосфорной кислотой.

Жаростойкие бетоны на фосфатных связующих практически не разупрочняются при средних температурах нагрева (300–1000 °С). Такое поведение бетонов вызвано постепенным замещением фосфатной связки керамической. Их общим недостатком является то, что для своего затвердевания они требуют термической обработки до 600 °С.

Большинство разработанных бетонов включают в свой состав такие дефицитные материалы, как корунд, электрокорунд, технический глинозем, хромит, циркон и другие [8–10]. Поэтому изыскание более дешевых сырьевых материалов для фосфатных бетонов является актуальной задачей.

Связующие на основе алюмохромистого отхода ИМ-2201 и ортофосфорной кислоты обладают более высокими прочностными харак-

теристиками при высоких температурах по сравнению со связующими на глиноземистом и портландском цементах. Это вызвано тем, что при высоких температурах, начиная с 500 °С, ортофосфорная кислота образует с отходами стабильную фосфатную связку.

Полученные на основе отхода нефтехимии и ортофосфорной кислоты как легкие, так и тяжелые бетоны превосходят по физико-механическим показателям соответствующие виды жаростойких бетонов на других видах вяжущего.

Уфимским филиалом Росоргтехстрема [11] на основе отходов асбестового производства получены в лабораторных и производственных условиях асбофосфатные изделия (кирпич и др.), обладающие повышенными физико-механическими свойствами (механическая прочность до 80 МПа, морозостойкость более 35 циклов).

Г.Д. Дибров с сотрудниками [12] провел исследования по использованию шламов карбида кремния, электрокорунда в жаростойких бетонах фосфатного твердения и для получения огнеупорных заполнителей. В результате исследований установлено, что на основе шламовых отходов абразивного производства можно получить стабильные фосфатные связующие при термической обработке до температуры 200–250 °С с пределом прочности при сжатии до 25,0–30,0 МПа и огнеупорный тяжелый фосфатный заполнитель с прочностью до 140 МПа. В процессе исследования авторами [12] установлено, что температура термической обработки фосфатного связующего и бетонов на его основе снижена с 500–600 до 200–250 °С за счет наличия в шламовых отходах активных по отношению к ортофосфорной кислоте оксидов: CaO, MgO, FeO и др.

Установлено, что основным фактором, определяющим возможность применения оксидов для получения фосфатных связующих, является тепловой эффект реакции $Me_nO_m + H_3PO_4$ [2].

Коэффициент активности оксидов, определяемый по их структурно-энергетическим характеристикам, является основой проектирования составов фосфатных связующих, твердеющих в заданных условиях [13, 14].

Согласно этому коэффициенту оксиды подразделяются на группы по степени их активности. Величины коэффициента активности и теплового эффекта позволяют достоверно подбирать составы различных фосфатных композиций для получения связующих с заданными свойствами.

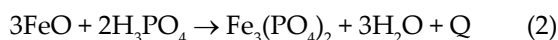
По химическому составу любого техногенного неорганического продукта возможно определить его коэффициент активности и спрогнозировать процесс фосфатного свя-

зывания, т. е. оценить условия применения тех или иных сырьевых компонентов для синтеза жаростойких композиций.

При изучении физико-механических свойств, а также химического состава железосодержащих отходов сернокислотной промышленности – так называемых пиритных огарков Чапаевского химзавода Самарской области было установлено, что они могут быть использованы в качестве тонкомолотого компонента железосодержащего связующего. В естественном состоянии пиритные огарки представляют собой тонкодисперсный порошок, в состав которого входят до 70 % Fe_2O_3 , 5–6 % FeO и 14–24 % SiO_2 . Оксид трехвалентного железа Fe_2O_3 при нормальной температуре взаимодействует с ортофосфорной кислотой H_3PO_4 очень медленно: поэтому требуется подогрев смеси до 70 °С:



Оксид двухвалентного железа FeO, наоборот, реагирует с кислотой энергично, выделяя при этом значительное количество тепла:



В связи с этим использование оксидов железа в отдельности связано с преодолением обычных для фосфатных связующих трудностей: либо требуется частичная нейтрализация ортофосфорной кислоты – в случае применения FeO, либо бетонную смесь нужно подогреть для обеспечения твердения – в случае применения Fe_2O_3 .

В пиритных огарках оксиды железа обычно находятся в оптимальном соотношении: оксид двухвалентного железа быстро реагирует с H_3PO_4 и разогревает смесь до необходимой для проявления вяжущих свойств Fe_2O_3 с H_3PO_4 . В случае использования пиритных огарков после гидроудаления их приходится сушить при температуре 100–120 °С. Фосфатное связующее, полученное путем затворения пиритных огарков 70 %-й ортофосфорной кислотой, начинает схватываться через 45–50 мин и через 2–2,5 ч затвердевает. В дальнейшем, по мере увеличения содержания в цементном камне ортофосфатов железа, прочность его растет примерно пропорционально времени твердения в воздушных условиях и в 7-суточном возрасте стабилизируется на уровне 55,0–60,0 МПа. Таким образом, железосодержащее связующее по основным свойствам аналогично портландцементу марки 500, но контрольный срок его твердения равен 7 суткам. Жаростойкие бетоны на основе железосодержащего связующего в нормальных условиях твердения в суточном

возрасте приобретают прочность, достаточную для распалубки, транспортировки и монтажа изделий. В 7-суточном возрасте они приобретают конечную прочность, величина которой определяется свойствами заполнителей.

Огнеупорность железофосфатного связующего равна 1300 °С, а рабочая температура футеровки из бетона, где применяется керамзит в качестве крупного заполнителя, составляет 1000 °С. При использовании в качестве заполнителя шамотных песка и щебня рабочая температура может достигать 1200 °С.

В целях увеличения температуры бетона на железофосфатном связующем в его состав достаточно ввести огнеупорные глиноземистые и цирконийсодержащие тонкомолотые добавки.

Для получения смешанного алюможелезофосфатного связующего в качестве алюминийсодержащего компонента можно использовать технические продукты, такие как высокоглиноземистый муллитовый мертель ММЛ-62, технический глинозем, тонкодисперсный корунд и др., а также отходы промышленности, например, алюмохромистый отход нефтехимии – отработанный катализатор ИМ-2201, состоящий на 70–75 % из Al_2O_3 и 13–15 % Cr_2O_3 . Для получения смешанного цирконожелезофосфатного связующего можно использовать тонкомолотый цирконовый концентрат КЦ-1. При введении указанных компонентов в композицию пиритных огарков с ортофосфорной кислотой образуются смешанные вяжущие, обладающие иными свойствами, чем чистое железофосфатное. Огнеупорность смешанного железофосфатного вяжущего возрастает практически прямо пропорционально количеству глиноземсодержащего продукта, введенного в фосфатную композицию. Сроки схватывания смешанного вяжущего удлиняются, но даже при введении 80–90 % глинозема, отработанного катализатора ИМ-2201 или мертеля ММЛ-62 сохраняется способность фосфатного связующего схватываться в воздушных условиях и набирать прочность. При последующей термообработке прочность вяжущего возрастает за счет образования алюмофосфатов, цирконийфосфатов и хромофосфатов.

Таким способом удалось создать воздушно-твердеющее алюможелезофосфатное связующее с температурой применения 1500 °С и цирконожелезофосфатное связующее с температурой применения 1600 °С. Термостойкость вяжущих превышает 30 теплосмен, т. е. она близка к термостойкости обычных алюмофосфатных и цирконофосфатных связующих.

На основе разработанных алюможелезофосфатного и цирконожелезофосфатного связующих были подобраны составы тяжелых

бетонов с шамотным и высокоглиноземистым заполнителями марок 400 и 500.

Также воздушно-твердеющие фосфатные связующие были получены на основе такого широко распространённого тонкодисперсного отхода промышленности строительных материалов, как керамзитовая пыль. Она образуется практически на всех предприятиях по производству керамзитового гравия и накапливается в пылесадительной камере, циклонах или в результате выпадения из двухбарабанных печей в месте стыка сушильного барабана с обжиговым. По химическому составу керамзитовая пыль представляет собой алюмосиликатный продукт с присутствием небольшого количества оксида железа (Fe_2O_3 и FeO). Данное присутствие позволило получить воздушно-твердеющий состав фосфатного связующего на основе тонкодисперсной керамзитовой пыли с применением таких затворителей, как ортофосфорная кислота 70 %-й концентрации и водорастворимая алюмохромофосфатная связка (производство Воскресенского химзавода, Московская область) с плотностью $\rho = 1,52$ г/см³. Огнеупорность данного фосфатного связующего оказалась весьма низкой (~1300 °С), что потребовало применения такого способа её повышения, как введение в состав связующего тонкодисперсных высокоглиноземистых наполнителей с высокими показателями их температуры плавления. В наших исследованиях в качестве такого высокотемпературного материала использовался алюмохромистый отход нефтехимии ИМ-2201, имеющий огнеупорность более 2000 °С.

На рис. 1 приведены графические зависимости изменения огнеупорности комплексного фосфатного цемента с применением керамзитовой пыли и алюмохромистого отхода и влияния высокоогнеупорного наполнителя на вяжущие свойства связующего. Данное связующее было названо алюмо-силикофосфатным.

Как видно из графика, фосфатные смешанные цементы, содержащие в составе до 40–50 % алюмохромистого отхода, способны схватываться и твердеть в воздушно-сухих условиях, сохраняя при этом все технологические параметры. На основе разработанного смешанного фосфатного цемента с применением керамзитовой пыли были разработаны составы тяжёлых бетонов с использованием шамотного заполнителя, изготовленного из огнеупорного лома. Затворителями тяжёлых бетонных смесей являлись ортофосфорная кислота 70 %-й концентрации и алюмохромофосфатная связка с плотностью $\rho = 1,52$ г/см³. Физико-термические параметры жаростойких бетонов на смешанных фосфатных цементах представлены в таблице.

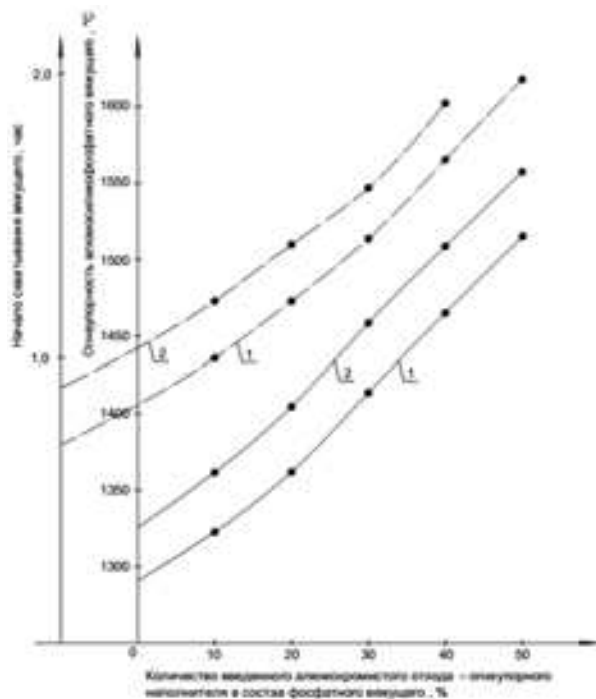


Рис. 1. Изменение огнеупорности и вяжущих свойств смешанных цементов фосфатного твердения
 1 – затворитель – H_3PO_4 – 70 %-й концентрации;
 2 – затворитель – АХФС $\rho=1,52 \text{ г/см}^3$
 ———— – кривые, характеризующие огнеупорность вяжущего
 - - - - - – кривые, характеризующие сроки схватывания вяжущего

Полученные результаты свидетельствуют о весьма высоких физико-термических показателях тяжёлых жаростойких бетонов, что позволяет применять их как для приготовления отдельных элементов и деталей, а также в монолитном варианте.

Разработанные составы бетона можно применять для футеровок плавильно-литейных агрегатов цветной металлургии и тепловых агрегатов керамической промышленности. Изучение химической стойкости новых фосфатных материалов в расплавах флюсов (криолит, карналит), металлического алюминия и его сплавов из легкоплавкого стекла (фритты, предназначенные для приготовления глазури) показало, что жаростойкие бетоны не смачиваются агрессивными расплавами. По химической стойкости фосфатные жаростойкие бетоны значительно превосходят штучные шамотные огнеупоры, т. е. силикатные. Повышенная химическая стойкость фосфатных материалов объясняется специфической структурой ортофосфатов, у которых расположенные на поверхности тетраэдры PO_4 обращены в сторону расплава кислородом, связанным с центральным атомом «Р» двойной связью и поэтому полностью пассивированным (рис. 2).

На фрагменте структуры ортофосфатов видно, что на поверхности структурной группы располагаются ионы кислорода с полностью компенсированным зарядом [3]. Эти соображения подтверждаются результатами наблюдений

Физико-термические свойства жаростойких бетонов на смешанных фосфатных цементах с применением керамзитовой пыли

Состав бетона, $кг/м^3$	Средняя плотность в сухом состоянии, $кг/м^3$	Предел прочности при сжатии, МПа, после нагрева, °С				Термостойкость водной теплосмены
		20 (3 сут)	100	800	1200	
Керамзитовая пыль – 180 Алюмохромистый отход – 260 Шамотный щебень – 650 Шамотный песок – 750 Ортофосфорная кислота (70 %-я концентрация) – 360	2100	5,5	28,6	33,2	30,5	25
Керамзитовая пыль – 160 Алюмохромистый отход – 280 Шамотный щебень – 650 Шамотный песок – 750 АХФС ($\rho = 1,51 \text{ г/см}^3$) – 380	2120	7,5	31,7	35,4	34,2 (1400 °С)	28

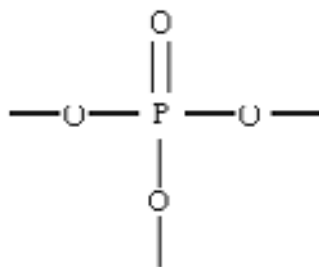


Рис. 2. Фрагмент структурной группы

ний за поведением отдельных бетонных элементов футеровок печей для плавки алюминиевых сплавов. В связи с этим жаростойкие бетоны на фосфатных связующих из-за дороговизны следует применять в крайне редких случаях, т. е. в футеровках тепловых агрегатов с высокими химической агрессивией и температурой.

Выводы. 1. Доказано, что использование керамзитовой пыли и пиритных огарков в составах жаростойких бетонов на фосфатных вяжущих позволило повысить их остаточную прочность в зоне критических температур (1300–1350 °С).

2. Выявлено и обосновано, что использование алюмохромистого отхода нефтехимии ИМ-2201 позволило повысить огнеупорность жаростойкой композиции на основе керамзитовой пыли до 1600 °С.

3. Фосфатные смешанные цементы, содержащие в составе до 40–50 % алюмохромистого отхода, способны схватываться и твердеть в воздушно-сухих условиях, сохраняя при этом все технологические параметры.

4. Полученные таким образом жаростойкие вяжущие на основе пиритных огарков, керамзитовой пыли, алюмохромистого отхода ИМ-2201, фосфатного затворителя явились основой для получения эффективных жаростойких бетонов, используемых непосредственно для продления срока службы футеровок тепловых агрегатов на заводах, где образуются данные отходы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Судакас Л.Г. Фосфатные вяжущие системы: монография. СПб.: РИА «Квинтет», 2008. 260 с.
2. Будников П.П., Хорошавин Л.Б. Огнеупорные бетоны на фосфатных связках. М.: Металлургия, 1971. 192 с.
3. Абызов В.А., Черногорлов С.Н. Глиноземистые вяжущие на основе шлака алюминотермического производства ферротитана и ячеистые бетоны на их основе // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2015. Т. 15, № 3. С. 45–52.

4. Баженов Ю.М. Новому веку – новые эффективные бетоны и технологии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2001. № 1. С. 12–13.

5. Ахтямов Р.Р., Трофимов Б.Я. Жаростойкий бетон на шлакощелочном вяжущем и заполнителе из шамота и высокоглиноземистых шлаков алюминотермического производства // Огнеупоры и техническая керамика. 2014. № 1–2. С. 45–47.

6. Замятин С.Р. Шамотный бетон на глинофосфатной связке: автореф. ... канд. техн. наук. Свердловск, 1969. 19 с.

7. Ефремов А.Н. Сравнительная термостойкость алюмосиликатных бетонов на основе различных вяжущих // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2012. № 5 (97). С. 81–85.

8. Лемешев В.Г., Мельников А.М., Черняховский В.А. Влияние технологических факторов на свойства лёгкого фосфатного заполнителя. Фосфатные материалы: Труды ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Вып. 57. М.: Стройиздат, 1975.

9. Хлыстов А.И., Широков В.А., Сульдин В.В., Исаев Д.И. Повышение физико-термических характеристик огнеупорных защитных покрытий футеровок тепловых агрегатов // Огнеупоры и техническая керамика. 2018. Т. 1–2. С. 7–14.

10. Дворкин Л.И., Гоц В.И., Дворкин О.Л. Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов. М.: Инфра-Инженерия, 2014. 422 с.

11. Абзильдин Ю.Ф. Разработка и исследование фосфатных строительных материалов из отходов промышленности в Уфимском филиале Росортгестрома // Фосфатные и силикатные строительные материалы из отходов промышленности. Уфа, 1978. С. 5–8.

12. Дибров Г.Д., Шпирько Н.В., Козубов В.Г. Жаростойкие вяжущие на отходах промышленности. Приднепровья // Решение проблемы охраны окружающей среды путем использования отходов промышленности в композиционных материалах: Тез. докл. Пенза, 1983. С. 47–48.

13. Хлыстов А.И. Повышение эффективности и улучшение качества огнеупорных футеровочных материалов. Самара, 2004. 134 с.

14. Хлыстов А.И., Власов А.В., Власова Е.М. Высокоглиноземистое шламоподобное нанотехногенное сырье – комплексный модификатор в составах огнеупорных футеровочных материалах // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 11. С. 33–38.

REFERENCES

1. Sudakas L.G. Fosfatnye vyazhushchie sistemy [Phosphate knitting systems]. St. Petersburg, RIA "Quintet" Publ., 2008, 260 p.
2. Budnikov P.P., Khoroshavin L.B. Ogneupornyye betony na fosfatnykh soyazkakh [Refractory phosphate

ligament concretes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1971, 192 p.

3. Abyzov V.A., Chernogorlov S.N. Aluminous binders on the basis of slag of aluminothermal production of ferrotitanium and cellular concrete based on them, *Vestnik YuUrGU Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»* [Proc. of the YuUrGU Series "Building and architecture"]. 2015, Vol.15 No 3, pp. 45-52. (in Russian)

4. Bazhenov Yu.M. New century - new efficient concretes and technologie, *Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI veka* [Building materials, equipment, technologies of the XXI century]. 2001, No 1, pp. 12-13.

5. Akhtyamov R.R., Trofimov B.Ya. Heat-resistant concrete on slag binder and aggregates of fireclay and high-alumina slags of aluminothermic production *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and Technical Ceramics]. 2014, No 1-2, pp. 45-47. (in Russian)

6. Zamyatin S.R. *Shamotnyy beton na glinofosfatnoy svyazke, avtoreferat kand. tekhn. nauk*. [Fireclay concrete on the clay phosphate bond: abstract of Cand. tech. sciences.]. Sverdlovsk, 1969, 19 p.

7. Efremov A.N. Comparative heat resistance of aluminosilicate concrete based on various binders, *Vestnik Donbasskoy natsional'noy akademii stroitel'stva i arkhitektury* [Proc. of the Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2012, No 5, pp. 81-85. (in Russian)

8. Lemeshev V.G., Mel'nikov A.M., Chernyakhovskiy A.M. [Influence of technological factors on the properties of light phosphate aggregate. Fosfatnye materialy. Trudy TsNIISK im. V.A. Kucherenko, Moscow, No 57, Stroyizdat Publ., 1975. (in Russian)

9. Khlystov A.I., Shirokov V.A., Sul'din V.V., Isaev D.I. Improvement of physical and thermal characteristics of refractory protective coatings of thermal units lining. *Ogneupory i tekhnicheskaya keramika* [Refractories and Technical Ceramics]. No 1-2, 2018, Moscow, pp. 7-14. (in Russian)

10. Dvorkin L.I., Gots V.I., Dvorkin O.L. *Ispytaniya betonov i rastvorov. Proektirovanie ikh sostavov*. [Testing of concrete and mortar. Designing their compositions]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ, 2014, 422 p.

11. Abzgil'din Yu.F. *Razrabotka i issledovanie fosfatnykh stroitel'nykh materialov iz otkhodov promyshlennosti v Ufimskom filiale Rosorgtekhstroma* [Development and research of phosphate building materials from industrial waste in the Ufa branch of Rosorgtekhstrom]. Phosphate and silicate building materials from industrial waste, Ufa, 1978, pp. 5-8.

12. Dibrov G.D., Shpir'ko N.V., Kozubov V.G. Heat-resistant binders on waste industry. Dnieper. *Reshenie problemy okhrany okruzhayushchey sredy putem ispol'zovaniya otkhodov promyshlennosti v kompozitsionnykh materialakh, Tez. dokl.* [Solving the problem of environmental protection through the use of industrial waste in composite materials: Proc. report]. Penza, 1983, pp. 47-48.

13. Khlystov A.I. *Povyshenie effektivnosti i uluchshenie kachestva ogneupornykh futerovochnykh materialov* [Improving the efficiency and improving the quality of refractory lining materials]. Samara, 2004, 134 p.

14. Khlystov A.I., Vlasov A.V., Vlasova E.M. High-alumina slime-like nanotechnogenic raw materials – a complex modifier in the compositions of refractory lining materials. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and civil construction], 2017, No 11, pp. 33-38. (in Russian)

Об авторах:

ХЛЫСТОВ Алексей Иванович

доктор технических наук, профессор кафедры производства строительных материалов, изделий и конструкций Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: alex-x1950@yandex.ru

ИСАЕВ Дмитрий Игоревич

аспирант Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: d.i.isaev@bk.ru

KHLYSTOV Aleksey I.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Production of building materials, products and structures Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: alex-x1950@yandex.ru

ISAEV Dmitriy I.

post-graduate student Samara State Technical University Academy of Civil Engineering and Architecture 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: d.i.isaev@bk.ru

Для цитирования: Хлыстов А.И., Исаев Д.И. Фосфатное связывание минеральных тонкомолотых отходов промышленности // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 85–91. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.11. For citation: Khlystov A.I., Isaev D.I. Phosphate Linking of Mineral Thin-Molting Industrial Waste // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 85–91. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.11.



**А. А. МИХАСЕК
Н. Р. МАЛЮГИН**

ВЛИЯНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ В ТЕЛЕ АКТИВНОГО БЕРЕГОЗАЩИТНОГО СООРУЖЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБТЕКАЮЩЕГО ПОТОКА

INFLUENCE OF FILTRATION IN THE BODY OF AN ACTIVE PROTECTIVE STRUCTURE ON THE FLOW CHARACTERISTICS

Приведено описание численной модели потока, огибающего берегозащитное сооружение в виде струенаправляющей шпоры. Рассмотрены различные с точки зрения проницаемости варианты материала тела шпоры. Для моделирования турбулентной фильтрации как местного сопротивления в потоке предложена формула, связывающая коэффициент фильтрации с коэффициентом гидравлического сопротивления проницаемой среды. В результате моделирования получены изображения в виде планового распределения скоростей и давлений в окрестности сооружения. На полученных материалах указано взаимное расположение транзитной и водоворотной зон потока. Сделаны выводы о характере потока, обтекающего берегозащитное сооружение, и влиянии фильтрации в теле сооружения на характеристики данного потока.

Ключевые слова: гидротехническое строительство, берегозащитные сооружения, струенаправляющие шпоры, нелинейная фильтрация, гидродинамическое моделирование

The article describes the numerical model of the flow that envelops the shore protection structure in the form of a stream spur. Various from the point of view of permeability, spur body material options are considered. To model turbulent filtration as local resistance in the flow, a formula is proposed that relates the filtration coefficient to the hydraulic resistance coefficient of a permeable medium. As a result of the simulation, images were obtained in the form of a planned distribution of velocities and pressures in the vicinity of the structure. The obtained materials indicate the relative position of the transit and whirlpool zones of the flow. Conclusions are drawn about the nature of the stream flowing around the shore protection structure and the effect of filtration in the body of the structure on the characteristics of this stream.

Keywords: hydrotechnical engineering, bank protection structures, jet spurs, nonlinear filtration, hydrodynamic modeling

Струенаправляющие шпоры – это поперечные берегозащитные сооружения активного типа, одним концом примыкающие к берегу, а другим выходящие в русло под некоторым углом к направлению течения. Механизм действия шпор заключается в отклонении и сжатии транзитной струи потока с образованием водоворотных областей и областей разрежения. В данных областях со временем происходит отложение наносов, массив которых защищает береговые территории от размыва.

В работе [1] сформулированы основные расчетные положения проектирования струе-

направляющих шпор. Попытки исследования особенностей работы шпор аналитическими методами механики жидкости нашли отражение в работах [3, 4]. Помимо натуральных наблюдений и физического моделирования в последнее время получает все большее распространение численное моделирование с целью уточнения гидравлических особенностей работы данных сооружений [5, 6].

Целью данной работы является определение путем моделирования характера течения вязкой несжимаемой жидкости (воды), обтекающей шпору, а именно распределения ско-

ростей и давлений в потоке при варьировании фильтрационных параметров материала, слагающего тело шпоры. Численное моделирование выполнено в программном комплексе AutodeskCFD 2019 Ultimate [6].

Геометрическая модель потока представляет собой участок призматического русла прямоугольного поперечного сечения. Ширина русла составляет 400 м. На левом берегу посередине моделируемого участка располагается шпора длиной 100 м (рис. 1).



Рис. 1. Схема моделируемого сооружения

В целях снижения количества элементов расчетной сетки трапециевидальный поперечный профиль шпоры заменяется прямоугольным. При этом ширина модельной шпоры определяется как среднее между шириной шпоры на уровне свободной поверхности жидкости и шириной шпоры по дну (рис. 2).

В работе [5] для численной модели непроницаемой шпоры, находящейся в сходных условиях обтекания, установлено, что изменения геометрии потока, вызванные деформацией свободной поверхности жидкости при обтекании шпоры, хотя и имеют место быть, не оказывают заметного влияния при решении уравнения неразрывности потока, и основные изменения скорости обусловлены плановыми очертаниями русла. На основании этого для моделирования течения в окрестности шпор предлагается заменять безнапорный поток напорным. В этом случае действие внешних сил тяжести заменяется действием внешних сил давления; при этом канал с уклоном заменяется горизонтальным руслом, а уклон и относительные отметки «свободной» поверхности жидкости определяются по убыли давления в пределах моделируемого потока. Подобное допущение позволяет решать задачу в стационарной постановке с меньшим количеством расчетных уравнений, что на порядок сокращает время, затрачиваемое на моделирование.

Численное моделирование выполняется для пяти вариантов шпор: непроницаемой и выполненной из пористого материала

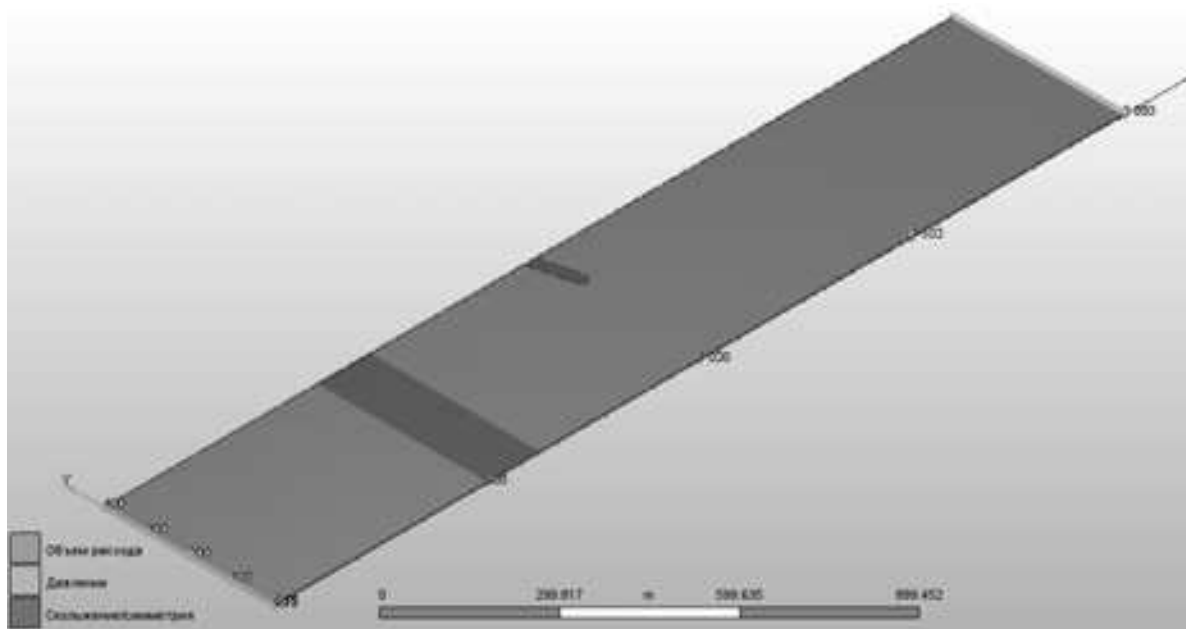


Рис. 2. Геометрическая модель потока, огибающего модельную шпору с указанием расположения граничных условий

с фильтрующими свойствами, аналогичными каменной наброске щебня фракции 20–40 мм. Для каждого варианта в качестве граничных условий используются следующие граничные условия (табл. 1).

Таблица 1

Сценарии моделирования потока в окрестности берегоукрепительной шпору

Расход на входе, м ³ /с	Нормальная глубина потока, м	Средняя ширина шпору, м	Давление на выходе, м в. ст.
2001,724	3,0	24,0	0

Уравнениями, описывающими гидродинамические параметры потока, являются уравнения Навье-Стокса для вязкой несжимаемой жидкости, а также уравнение неразрывности потока [6]. Данные уравнения решаются методом конечного элемента на нерегулярной тетраэдрической трехмерной сетке с 50 тысячами элементов.

Для моделирования турбулентности потока используется модель, в которой уравнение движения жидкости преобразуется к виду, в котором добавлено влияние флуктуации средней скорости потока и процесса её уменьшения за счёт вязкости. Потери напора по длине определяются пристеночной функцией выбранной модели турбулентности [6]. Определяющим параметром при этом является абсолютная шероховатость смачиваемой поверхности. По данным [2] для земляных каналов и природных русел наиболее вероятное значение шероховатости для средних условий составляет 5 мм.

Для оценки влияния фильтрации на параметры потока рассматриваются пять различных вариантов конструкции сооружения:

- условно непроницаемая шпора;
- шпора с телом из песка с гидравлической проницаемостью 10-5 см²;
- шпора с телом из гравия с гидравлической проницаемостью 10-3 см²;
- шпора с телом из крупнопористого бетона на крупном заполнителе фракции 20-40 мм с коэффициентом пористости 0,25;
- шпора с телом из щебня фракции 20–40 мм с коэффициентом пористости 0,4.

В соответствии с рекомендациями [2] фильтрация в песке и плотно сложенном гравии с достаточной степенью точности может определяться по линейному закону фильтрации – закону Дарси. Для песка и гравия значе-

ния коэффициента проницаемости приняты на основании справочных данных [2].

Для моделирования фильтрации в крупнопористом бетоне и щебне закон Дарси неприменим. Известно, что движение жидкости в крупнопористой среде является турбулентным [2, 7, 8]. Потери напора при фильтрации пропорциональны квадрату скорости при условии, что влияние сил вязкого трения пренебрежимо мало.

В программном комплексе AutodeskCFD потери давления при пространственной турбулентной фильтрации жидкости в изотропной крупнопористой среде выражаются по формуле Вейсбаха в дифференциальной форме [6]:

$$\frac{\partial p}{\partial x_i} = \zeta \rho \frac{u_i^2}{2}, \quad (3)$$

где ζ – коэффициент гидравлического сопротивления проницаемой среды; ρ – плотность жидкости.

При этом между коэффициентом фильтрации и коэффициентом гидравлического сопротивления проницаемой среды можно установить следующее взаимно однозначное соответствие:

$$\zeta = \frac{2g}{k^2}. \quad (4)$$

Коэффициент фильтрации, как правило, определяется экспериментально. В отсутствие экспериментальных данных для крупнопористых материалов, таких как щебень и крупнопористый бетон, коэффициент фильтрации можно определить расчетным путем по следующей зависимости [9]:

$$k = 18p\sqrt{d}, \quad (4)$$

где d – средний диаметр фильтрующего материала, см, для щебня фракции 20-40 мм, принимается равным 3 см; p – коэффициент пористости, для щебня принимается равным 0,4; для крупнопористого бетона – 0,25.

Таким образом, окончательно коэффициент гидравлического сопротивления проницаемой среды ζ , характеризующий фильтрационные свойства материала, определяется как

$$\zeta = \frac{g}{182p\sqrt{d}}. \quad (5)$$

Для выбранного материала коэффициент гидравлического сопротивления проницаемой среды ζ , определяемый по вышеуказанной формуле, составляет 0,078 и 0,124 для щебня и крупнопористого бетона соответственно.

Окончательные зависимости и значения параметров, определяющих фильтрационные свойства материалов, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Фильтрационные свойства материалов тела шпору

№ варианта	Материал	Фильтрационная зависимость	Определяющий параметр	Значение
2	Песок	Линейная	κ	0,00001 см ²
3	Гравий	Линейная	κ	0,001 см ²
4	КПБ	Квадратичная	ζ	0,078
5	Щебень	Квадратичная	ζ	0,124

Моделирование потока производится силами встроенного в программный комплекс AutodeskCFD решателя. Решение уравнений движения жидкости выполняется в стационарной формулировке без жестко заданного количества итераций. Остановка решения происходит автоматически по достижении удовлетворительных параметров сходимости по среднему значению вычисляемых параметров.

Результаты моделирования представляют собой плановые распределения скоростей (векторных и абсолютных) (рис. 3) и давлений (рис. 4). По распределению скоростей оценивается общая кинематика потока – расположение транзитной струи, наличие, расположение и размер водоворотных областей. По распределению давлений оценивают подпоры воды, создаваемые сооружением перед собой.

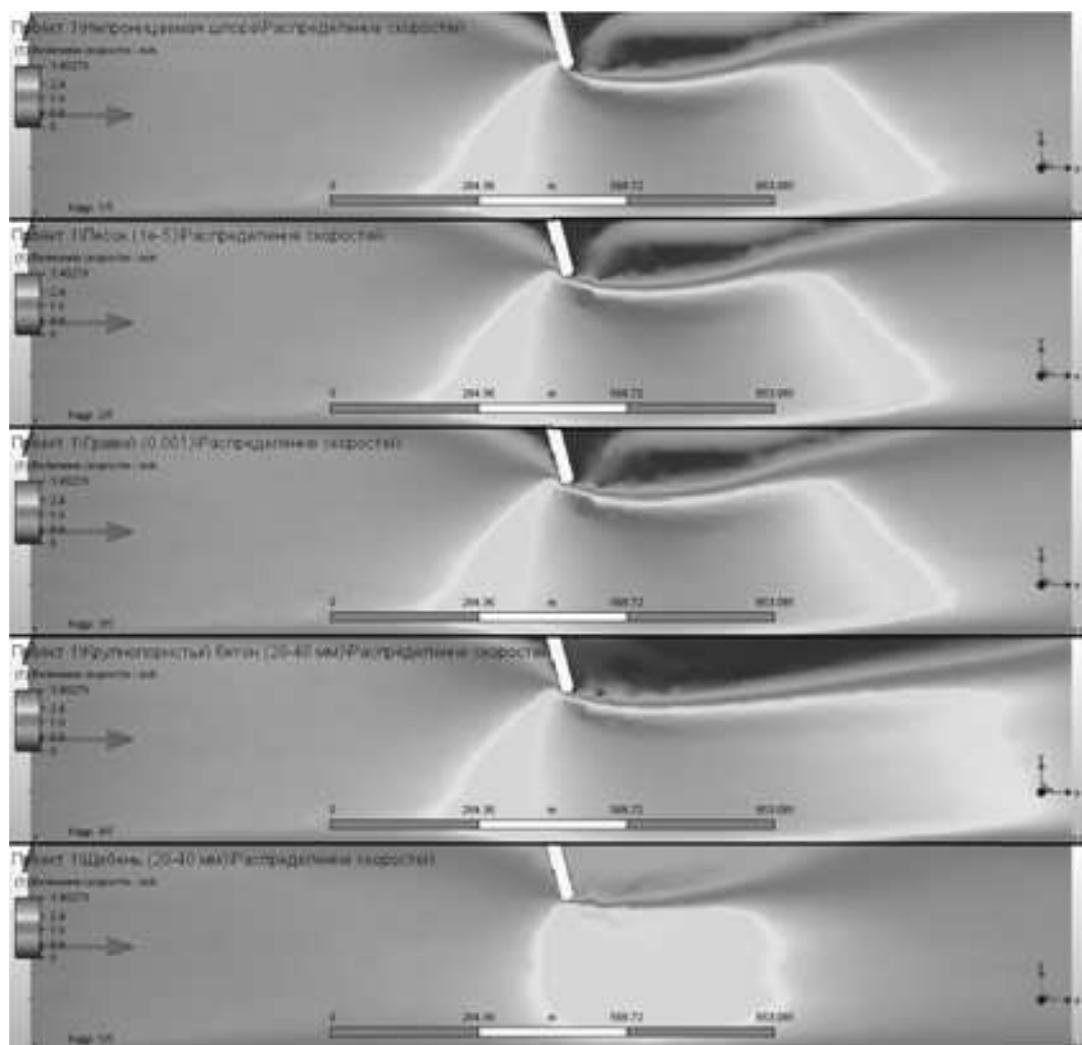


Рис. 3. Распределение абсолютных скоростей потока при обтекании модельной шпору. Сверху вниз: непроницаемая шпору; шпору из песка, гравия, крупнопористого бетона, щебня

Полученные распределения скоростей позволяют сделать вывод о наличии устойчивых водоворотных зон во всех случаях, кроме шпоры с телом из щебня. При этом наблюдается «распластывание» в плане водоворотной зоны пониженных скоростей за шпорой, достигающее своего максимума в случае шпоры с телом из крупнопористого бетона. При этом увеличивается относительная длина берега, защищаемого шпорой от 4 до 10 длин сооружения.

У головы шпоры наблюдается снижение скоростей с увеличением фильтрационной способности тела шпоры, а следовательно, величины предполагаемых размывов в этой области.

По распределению давлений (напоров) жидкости можно сделать вывод о величине подпора воды, создаваемого сооружением: подпор составляет примерно 0,5 м (1/6 часть нормальной глубины русла) во всех случаях, кроме случая, в котором тело шпоры сложено щебнем.

В данном случае величина подпора в два раза меньше и составляет примерно 0,25 м.

Выводы. 1. Фильтрация в теле шпоры оказывает влияние на гидродинамические характеристики потока, огибающего ее. Особенно заметно это влияние в случае крупнопористых материалов с нелинейными фильтрационными свойствами (щебень, крупнопористый бетон).

2. По достижении некоторого значения фильтрационной способности за шпорой прекращается образование водоворотных областей, а следовательно, утрачивается способность шпоры накапливать наносы за собой.

3. Наиболее выгодным с гидравлической точки зрения вариантом шпоры является шпора с телом, выполненным из крупнопористого бетона с низким коэффициентом пористости. Эффективная длина такой шпоры может быть уменьшена в 2,5 раза по срав-

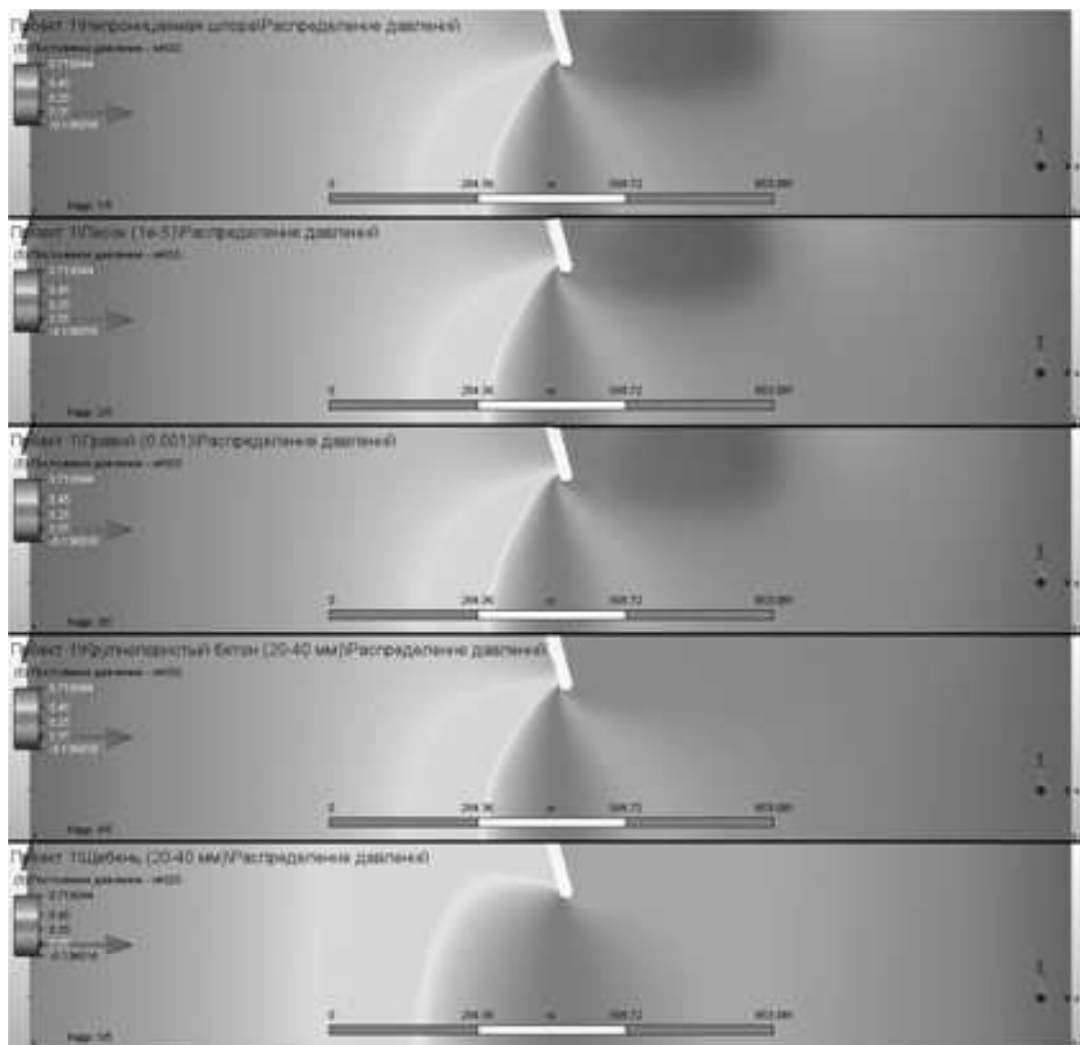


Рис. 4. Распределение давлений потока при обтекании модельной шпоры. Сверху вниз: непроницаемая шпора; шпора из песка, гравия, крупнопористого бетона, щебня

нению с малопроницаемыми шпорами для сохранения аналогичной длины защищаемого участка берега.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтунин С.Т. Регулирование русел. 2-е изд. М.: Сельхозиздат, 1962. 352 с.

2. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П. Г. Киселева. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1972. 322 с.

3. Бакиев М.Р., Шукурова С.Э. Обтекание комбинированной дамбы с затопленной сквозной частью постоянной застройки // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2015. Т. 15. № 5. С. 154–157.

4. Бакиев М.Р., Шукурова С.Э. Оценка отклонения динамической оси потока, стесненного комбинированной дамбой со сквозной частью переменной застройки // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2015. Т. 15. № 5. С. 158–161.

5. Михасек А.А., Малюгин Н.Р. Влияние водопропускных отверстий в теле активного берегозащитного сооружения на их совместную работу // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. Самара, 2018. С. 212–215.

6. CFD 2019 Help // Autodesk Inc. 2019. URL: <http://help.autodesk.com/view/SCDSE/2019/ENU/> (дата обращения: 4.03.2019).

7. Шабанов В.А. Расчет паводковых фильтрующих водосбросов // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2011. № 14. С. 218–220.

8. Монахов В.Н., Губкина Е.В. Безнапорная нелинейная фильтрация жидкости в областях с непроницаемыми включениями // Доклады Академии наук. 2008. Т. 420. № 4. С. 451–454.

9. Проектирование сооружений для забора поверхностных вод / ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии / разраб. А. С. Образовский и др. М.: Стройиздат, 1990. 255 с.

variable development. *VestnikKyrgyzsko-Rossiiskogoslavianskogouniversiteta* [Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University], 2015, vol. 15, no. 5, pp. 154-157. (in Russian).

5. Mikhasek A.A., Malyugin N.R. The effect of culverts in the body of an active shore protection structure on their joint work. *Tradiciiiinnovacii v stroitel'stveiarhitekture. Stroitel'stvo* [Tradition and innovation in construction and architecture. Civil engineering]. Samara, 2018, pp. 212-215. (in Russian).

6. Shabanov V.A. Calculation of flood filter spillways. *Vestnikvolzhskogoregional'nogootdeleniayarossiiskojakademiiarhitekтурыistroitel'nyhnauk* [Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences], 2011, no. 4, pp.218-220. (in Russian).

7. Monakhov V.N., Gubkina E.V. Non-pressure non-linear fluid filtration in areas with impermeable inclusions. *DokladyAkademiiinauk* [Reports of the Academy of Sciences], 2008, vol. 420, no. 4, pp. 451-454. (in Russian).

8. CFD 2019 Help (2019). Availableat: <http://help.autodesk.com/view/SCDSE/2019/ENU/> (accessed 4 March 2019).

REFERENCES

1. Altunin S.T. Regulirovanierusel [Regulation channels]. Moscow, Sel'hozizdat Publ., 1962. 352 p.

2. Kiselev P.G., Al'tshul' A.D., Danil'chenko I.V. *Spravochnik po gidravlicheskimraschetam* [Handbook of hydraulic calculations]. Moscow, Energiya Publ., 1972. 322 p.

3. BakievM.R., Shukurova C.E. Wrapping of a combined dam with a flooded through part of permanent building. *VestnikKyrgyzsko-Rossiiskogoslavianskogouniversiteta* [Bulletin of the Kyrgyz-Russian Slavic University], 2015, vol. 15, no. 5, pp. 154-157. (in Russian).

4. BakievM.R., Shukurova C.E. Estimation of the deviation of the dynamic axis of the stream, constrained by a combined dam with a through part of the

Об авторах:

МИХАСЕК Андрей Александрович

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

MIKHASEK Andrey A.

PhD in Engineerig Science, Associate Professor of the
Environmental and Hydraulic Engineering Chair
Samara state Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: andremixas@mail.ru

МАЛЮГИН Николай Робертович

студент IV курса кафедры природоохранного
и гидротехнического строительства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: eo127@yandex.ru

MALYUGIN Nikolay R.

Student
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: eo127@yandex.ru

Для цитирования: Михасек А.А., Малюгин Н.Р. Влияние фильтрации в теле активного берегозащитного сооружения на характеристики обтекающего потока // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 92–98. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.12.

For citation: Mikhasek A.A., Malyugin N.R. Influence of Filtration in the Body of Active Protective Structure on the Characteristics of the Circular Flow // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 92–98. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.12.

Уважаемые читатели!

Научно-технический центр «Пожарная безопасность» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

- оказание образовательных услуг по направлению «Пожарная безопасность»
- разработка мероприятий по предотвращению пожаров

НТЦ «ПБ» осуществляет образовательную деятельность по направлениям:

- курсы повышения квалификации
- профессиональная переподготовка
- обучение по профстандартам

Слушатель получает:

- удостоверение установленного образца о повышении квалификации
- диплом о профессиональной переподготовке
- свидетельство о полученной рабочей профессии
- сертификат о прохождении курсов

Руководитель Яценко Петр Павлович

Контакты:

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 650
тел. (846) 242-11-19
E-mail: samara-pb@inbox.ru



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

КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ КАК КРИТЕРИИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОНА

KINETIC CHARACTERISTICS OF FRACTURE PROCESSES AS CRITERIA OF CONCRETE DURABILITY

Рассматриваются результаты исследования процессов разрушения бетона различными видами внешнего воздействия, полученные самарской школой по разрушению материалов. Анализируется процесс разрушения бетона с выделением основных этапов, формируемых по объему выделяемой энергии трещинообразования. Согласно исследованиям одна из групп параметров разрушения бетона – кинетические характеристики – предлагается в качестве критерия долговечности этого материала. В предложенную группу входят такие показатели, как интенсивность трещинообразования и склонность бетона к трещинообразованию. При этом обосновывается возможность применения предлагаемых характеристик.

Ключевые слова: механика разрушения, кинетические характеристики, интенсивность трещинообразования, склонность бетона к трещинообразованию, долговечность бетона

The results of the study of the processes of destruction of concrete by different types of external influences obtained by the Samara school of architecture and construction Academy are considered. The process of destruction of concrete with the release of the main stages formed by the volume of the released energy of cracking is analyzed. According to researches one of groups of parameters of concrete destruction – kinetic characteristics-is offered as criteria of durability of this material. The proposed group includes such indicators as the intensity of cracking and the tendency of concrete to crack. In this case, the possibility of using the proposed characteristics is justified.

Keywords: fracture mechanics, kinetic characteristics, the intensity of cracking, the tendency of concrete to crack formation, durability of concrete

Долговечность конструкционных материалов, в том числе и строительных, в значительной мере определяется скоростью их разрушения в условиях эксплуатации и зависит как от вида внешнего воздействия, так и от его интенсивности [1–4]. При этом, в отличие от других материалов, конструкционный бетон имеет ту особенность, что его долговечность не только обеспечивает надёжность эксплуатации зданий и сооружений, но в значительной степени повышает эффективность капитальных вложений. Как показывает опыт, затраты на эксплуатацию зданий и сооружений, как правило,

превышают первоначальные капитальные вложения в течение срока службы строительных конструкций. Поэтому чем точнее определены сроки безотказной эксплуатации бетонной или железобетонной конструкции, тем эффективнее капитальные вложения, тем длительнее межремонтные сроки эксплуатации здания или сооружения и тем меньше затраты на их эксплуатацию.

В настоящее время практически отсутствуют количественные методы прогнозирования долговечности конструкционного бетона, как, впрочем, и в целом зданий и сооружений. Для

этого существует набор качественных показателей в виде капитальности зданий и требований нормативных документов, где ряд параметров бетона регламентируются на уровне «не хуже». При этом, учитывая особенности строительства, а также низкий уровень технологической дисциплины и контроля качества в российском строительстве, трудно надеяться на то, что любое возведённое здание или сооружение «продержится» до планового капитального ремонта без дополнительных работ по поддержанию его работоспособности.

Бетонные и железобетонные конструкции, используемые в настоящее время практически повсеместно и для различного назначения в больших объемах, отличаются от конструкций, выполненных из других материалов, тем, что их структура, прочностные и эксплуатационные свойства возможно прогнозировать только с определенной вероятностью. На строительной площадке, да и в заводских условиях, свойства материала формируются непосредственно в конструкции. Их нельзя, как, например, стальные или пластмассовые конструкции, собрать из проката или деталей, изготовленных в заводских условиях при строго регламентированных технологических параметрах. При изготовлении бетонных и железобетонных конструкций и изделий вариация технологических параметров зачастую в несколько раз выше по сравнению с требованиями технологии. Поэтому большое значение имеет не только повышение культуры производства, но и контроль качества полученной строительной продукции, который позволяет гарантировать долговечность конструкций.

Как показывают исследования, в том числе и выполненные авторами данной статьи [5, 6], долговечность бетона является следствием процессов трещинообразования, проявляющихся в его структуре под внешним воздействием (силовым, низкотемпературным, влажностным и др.). Именно кинетика их протекания и в конечном итоге их последствия в виде процессов разрушения материала определяют сроки службы любой бетонной или железобетонной конструкции.

В данной работе предлагаются количественные критерии оценки долговечности бетона как конструкционного материала, в качестве которых предложены кинетические характеристики процессов разрушения бетона при определенном виде воздействия: склонность бетона к трещинообразованию и интенсивность трещинообразования.

Исследования процессов разрушения бетона, выполненные авторами данной работы, показали, что, как и другие конструкционные

хрупко разрушающиеся материалы, последний имеет три стадии разрушения, независимо от вида и интенсивности внешних воздействий. Они квалифицируются тремя уровнями энергетического состояния в соответствии с основными положениями энергетической теории разрушения [6–8].

На первом уровне, при малой интенсивности внешнего воздействия, энергия разрушения бетона мала, что объясняется малым числом и небольшими параметрами образованных в материале трещин. На следующем уровне, по мере повышения интенсивности внешнего воздействия, энергия разрушения возрастает и достигает такой величины, что может фиксироваться приборами. При этом количество трещин и их параметры возрастают, они начинают объединяться и намечаются пути развития магистральных трещин. Этот этап в физике разрушения называется этапом «подготовки разрушения». И на последнем этапе, называемом собственно «разрушение», увеличение интенсивности внешнего воздействия приводит к образованию магистральных трещин и разделению материала на отдельные части, не способные противостоять внешним воздействиям. На этом этапе энергия разрушения достигает максимального значения, характеризующего энергетические способности разрушенного материала.

Для исследований были использованы образцы из шестнадцати составов бетона с различными составами, приведенными в табл. 1.

Авторам данной работы удалось математически описать последовательность разрушения бетона на всех трех этапах его деструкции при циклическом низкотемпературном, силовом воздействии сжатием, растяжением и изгибом, а также при гидростатическом давлении [10]. При этом был использован математический аппарат энергетической теории механики разрушения, основанный на работах А.А. Гриффитса [11] и кинетической концепции С.Н. Журкова [12]. Исследования показали, что скорость разрушения бетона зависит от двух видов характеристик: начальных параметров структуры материала и кинетических характеристик, количественно связывающих скорость приложения внешнего воздействия к материалу со скоростью его разрушения. К начальным параметрам структуры бетона были отнесены: поверхностная энергия, модуль упругости, коэффициент Пуассона и прочность бетона на сжатие; к кинетическим – склонность бетона к трещинообразованию и интенсивность трещинообразования. Количественные значения начальных физико-механических параметров представлены в табл. 2.

Таблица 1

Составы исследуемых бетонов

№ п/п	Вид цемента	Расход цемента, кг/м ³	Водоцементное отношение В/Ц	Состав бетонной смеси по массе Ц:П:Щ	Расход химической добавки ПАЩ-1, %
1	Быстротвердеющий портландцемент	375	0,4	1:1,59:3,18	-
2		375	0,6	1:1,52:3,03	-
3		625	0,4	1:0,78:1,57	-
4		625	0,6	1:0,72:1,44	-
5	Алюминатный портландцемент	375	0,4	1:1,59:3,18	-
6		375	0,6	1:1,52:3,03	-
7		625	0,4	1:0,78:1,57	-
8		625	0,6	1:0,72:1,44	-
9	Шлакопортланд-цемент	500	0,7	1:0,83:1,67	-
10		300	0,7	1:1,81:3,62	-
11		500	0,5	1:1,90:1,80	-
12		300	0,5	1:1,94:3,88	-
13		500	0,7	1:0,83:1,67	0,4
14		300	0,7	1:1,81:3,62	0,2
15		500	0,5	1:1,90:1,80	0,4
16		300	0,5	1:1,94:3,88	0,2

Таблица 2

Значения физико-химических характеристик в воздушносухом и водонасыщенном состоянии

№ п/п	Модуль упругости E, МПа		Коэффициент Пуассона μ		Удельная поверхностная энергия ν , Дж/м ²		Прочность на сжатие R _{сж} , МПа	
	Воздушно-сухие	Водонасыщенные	Воздушно-сухие	Водонасыщенные	Воздушно-сухие	Водонасыщенные	Воздушно-сухие	Водонасыщенные
1	30561,3	37167,6	0,220	0,219	4,87	3,79	39,1	38,8
2	21818,2	26113,3	0,221	0,210	7,24	1,28	25,9	21,2
3	22862,3	32295,7	0,218	0,155	8,54	2,68	35,2	28,5
4	25382,4	27897,5	0,187	0,206	6,11	2,82	26,0	23,1
5	20374,2	26337,7	0,248	0,235	2,15	1,37	27,0	21,5
6	17118,0	22790,6	0,254	0,243	3,41	0,55	17,7	14,9
7	22522,6	29504,6	0,196	0,212	3,35	0,46	19,4	14,1
8	22007,1	24651,6	0,237	0,233	2,48	0,51	18,2	14,2
9	21138,3	25160,6	0,229	0,221	4,06	1,11	23,7	17,0
10	15481,9	18469,9	0,237	0,243	3,27	1,07	22,1	15,5
11	26189,5	29894,3	0,218	0,204	6,34	2,56	30,6	25,9
12	22894,6	25990,4	0,234	0,221	5,85	2,92	37,8	32,8
13	22815,6	24457,1	0,217	0,174	4,23	3,50	28,6	26,5
14	22561,9	24064,0	0,198	0,212	3,30	2,60	28,6	26,6
15	25174,0	26801,1	0,201	0,163	6,50	5,04	33,9	31,3
16	24367,3	25266,9	0,220	0,219	6,57	5,34	35,2	32,6

Анализ кинетических характеристик показал, что они достаточно информативны, доступны для физического понимания и могут быть определены экспериментальным путем. В частности, склонность бетона к трещинообразованию имеет размерности, включающие в себя опосредованный временной параметр: м/цикл при низкотемпературном циклическом воздействии или м/Па при силовом или гидростатическом давлении. Интенсивность трещинообразования – величина безразмерная, характеризующая относительный уровень разрушения материала при определенном уровне его нагружения внешним воздействием. Принятая авторами методика определения значений совокупности кинетических характеристик [3] через выполнение экспериментальных исследований и проведение лабораторных испытаний материала по стандартным методикам и вычисление последних позволили получить их количественные значения, представленные в табл. 3.

Было отмечено, что эти характеристики достаточно чувствительны к интенсивности при-

ложения внешнего воздействия и в какой-то мере могут служить критерием долговечности бетона. В частности, была установлена количественная связь между интенсивностью нагружения материала и значениями совокупности кинетических характеристик. А также отмечено влияние влажности и пористости на значения кинетических характеристик. Зависимость совокупности кинетических характеристик от пористости представлена графически на рис. 1 и 2.

В настоящее время ведутся исследования по разработке относительно простой и достаточно достоверной методики определения кинетических характеристик процессов разрушения бетона, которые позволили бы квалифицировать долговечность бетона в зависимости от интенсивности внешнего воздействия определенного вида.

При этом особое внимание уделяется неразрушающему способу, позволяющему определить реальный уровень разрушения материала в конструкции. Перспективным в этом направлении является акустический метод определения затухания ультразвука при различных уровнях нагружения материала.

Таблица 3

Значения совокупности кинетических характеристик в воздушносухом и водонасыщенном состоянии

№ п/п	Совокупность кинетических характеристик	
	Воздушносухие	Водонасыщенные
1	16,06	16,33
2	4,46	10,01
3	8,91	3,79
4	2,51	5,14
5	25,68	13,34
6	5,74	14,89
7	11,62	7,36
8	5,6	10,93
9	7,09	7,15
10	19,36	10,03
11	6,71	7,17
12	10,7	18,87
13	9,54	4,24
14	9,41	10,86
15	7,42	3,69
16	11,03	10,06

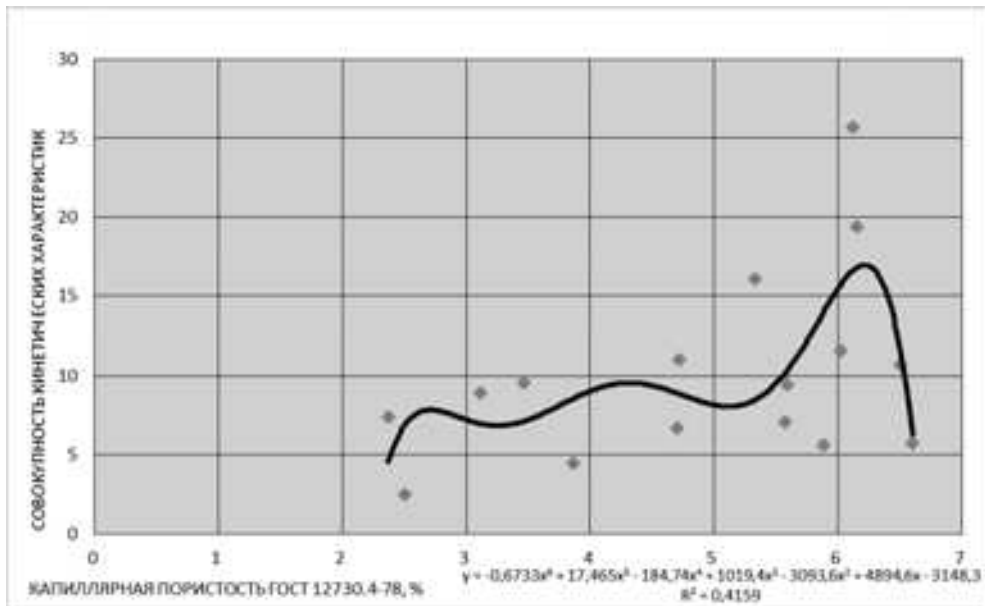


Рис. 1. Зависимость совокупности кинетических характеристик от капиллярной пористости для образцов в воздушносухом состоянии

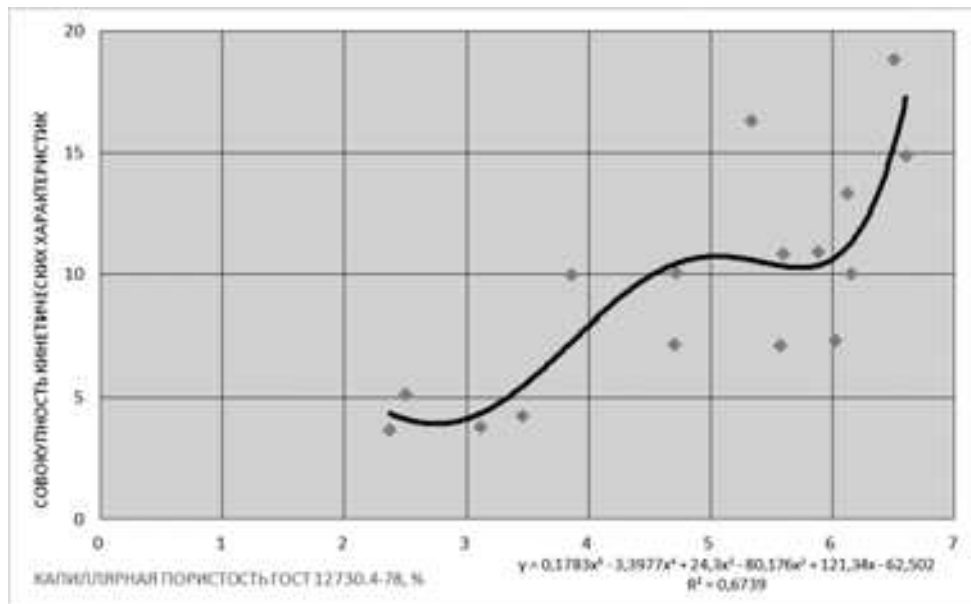


Рис. 2. Зависимость совокупности кинетических характеристик от капиллярной пористости для образцов в водонасыщенном состоянии

Выводы. Выполненные авторами исследования позволяют развить и в дальнейшем применить на практике количественный метод прогнозирования долговечности конструкционного бетона на базе измерения значений кинетических характеристик процессов его разрушения, таких как склонность бетона к трещинообразованию и интенсивность трещинообразования [13,14].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко В.М., Селяев В.П., Селяев П.В., Кечуткина Е.Л. Основы механики разрушения бетона // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 70-летию В.П. Селяева. М., 2014. С. 9–20.

2. Селяев В.П., Селяев П.В., Кечуткина Е.Л. Основы фрактальной механики разрушения бетона // Механика разрушения строительных материалов и конструкций: материалы VIII Академических чтений РААСН. М., 2014. С. 289–298.
3. Комохов П.Г., Попов В.П. Энергетические и кинетические аспекты механики разрушения М.: Издво РИА, 1999. 111 с.
4. Штарк И., Вишт Б. Долговечность бетона. Киев: Оранта, 2004. 295 с.
5. Попов В.А., Давиденко А.Ю. Анализ действия «эффекта Ребиндера» при разрушении бетона и оценка эффективности применения химических добавок // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 2006. № 11–12. С. 11–17.
6. Попов В.П., Коренькова С.Ф., Попов Д.В. Моделирование процесса разрушения бетона гидростатическим давлением на базе механики разрушения // Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. 2010. № 10. С. 5–7.
7. Истомин А.Д., Беликов Н.А. Зависимость границ микротрещинообразования бетона от его прочности и вида напряженного состояния // Вестник МГСУ. 2011. № 2–1. С. 159–16.
8. Фурса Т.В., Петров М.В., Данн Д.Д., Лыков А.Е. Разработка комплексного метода оценки процессов трещинообразования при одноосном сжатии армированного бетона // Дефектоскопия. 2017. № 6. С. 63–69.
9. Васильевская Н.Г., Енджиевская И.Г., Дружинкин С.В., Зубенко В.А., Зырянов Е.В. Структурные факторы управления прочностью высокопрочного монолитного бетона // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 4. С. 151.
10. Попов В.П., Давиденко А.Ю., Попов Д.В. Особенности описания процессов разрушения бетона при различных видах внешнего воздействия // Научное обозрение. 2015. № 7. С. 123–127.
11. Griffith A.A. The phenomena of rupture and flow in solids // Phil. Trans. Roy. Soc. 1921. Series A-221. Pp. 163–198.
12. Журков С.Н. Проблемы прочности твердых тел // Вестник АН СССР. 1957. № 11. С. 78–82.
13. Мосесов М.Д. Акустические методы определения долговечности материалов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сборник статей. Самара: СамГТУ (АСА). 2017. С. 61–65.
14. Фурса Т.В., Осипов К.Ю., Данн Д.Д. Разработка нового неразрушающего метода контроля процесса трещинообразования в бетоне под воздействием климатических факторов // Технологии бетонов. 2013. № 2 (79). С. 36–38.
15. Shtark I., Viht B. *Dolgovechnost' betona* [Durability of concrete]. Kiev, Oranta Publ., 2004. 295p.
16. Popov V.A., Davidenko A.Ju. Analysis of the “Rebinder effect” in the destruction of concrete and evaluation of the effectiveness of chemical additives. *Izvesti VUZov. Stroitel'stvo i arhitektura* [News of Universities. Construction and Architecture], 2006, no. 11-12, pp. 11-17. (in Russian)
17. Popov V.P., Koren'kova S.F., Popov D.V. Modeling of concrete destruction process by hydrostatic pressure on the basis of fracture mechanics. *Izvesti VUZov. Stroitel'stvo i arhitektura* [News of Universities. Construction and Architecture], 2010, no. 10, pp. 5-7. (in Russian)
18. Istomin A.D., Belikov H.A. The dependence of the boundaries of micro-cracking of concrete on its strength and type of stress state. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering], 2011, no. 1-2, pp. 159-162. (in Russian)
19. Fursa T.V., Petrov M.V., Dann D.D., Lykov A.E. Development of a comprehensive method for assessing the processes of cracking in uniaxial compression of reinforced concrete. *Defektoskopija* [Defectoscopy], 2017, no. 6, pp. 63-69. (in Russian)
20. Vasilovskaja N.G., Endzhevskaja I.G., Druzhinkin S.V., Zubenko V.A., Zyrjanov E.V. Structural factors control the strength of high strength reinforced concrete. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2012, no. 4, 151 p. (in Russian)
21. Popov V.P., Davidenko A.Ju., Popov D.V. Description features of fracture processes of concrete under various types of external influences. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2015, no. 7, pp. 123-127. (in Russian)
22. Griffith A.A. The phenomena of rupture and flow in solids. *Phil. Trans. Roy. Soc. 1921. Series A-221*. pp. 163-198.
23. Zhurkov S.N. The problem of strength of solids. *Vestnik AN SSSR* [Bulletin of the USSR Academy of Sciences], 1957, no. 11, pp. 78-82. (in Russian)
24. Komohov P.G., Popov V.P. *Jenergeticheskie i kineticheskie aspekty mehaniki razrusheniya* [Energy and kin

REFERENCES

1. Bondarenko V.M., Seljaev V.P., Seljaev P.V., Kechutkina E.L. Fundamentals of concrete fracture mechanics. *Dolgovechnost' stroitel'nyh materialov, izdelij i*

netic aspects of fracture mechanics]. Moscow, RIA Publ., 1999. 111 p.

13. Mosesov M.D. Acoustic methods for determining the durability of materials. Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. *Stroitel'stvo sbornik statej. Samarskij gosudarstvennyj tehniceskij universitet* [Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Construction collection of Articles. Samara State Technical University], Samara, 2017, pp. 61-65. (In Russian)

14. Fursa T.V., Osipov K.Ju., Dann D.D. Development of a new non-destructive method for monitoring the process of cracking in concrete under the influence of climatic factors. *Tehnologii betonov* [Concrete technology], 2013, no. 2(79), pp. 36-38. (in Russian)

Об авторах:

ДАВИДЕНКО Анна Юрьевна

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства

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

DAVIDENKO Anna Yu.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Technology and Organization of Construction Production Chair

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

ПОПОВ Валерий Петрович

доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: npc-ria@yandex.ru

POPOV Valery P.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Engineering Geology, Bases and Foundations Chair Samara State Technical University

Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: npc-ria@yandex.ru

ПОПОВ Дмитрий Валерьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: popov38@yandex.ru

POPOV Dmitry V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Engineering Geology, Bases and Foundations Chair Samara State Technical University

Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: popov38@yandex.ru

Для цитирования: Давиденко А.Ю., Попов В.П., Попов Д.В. Кинетические характеристики процессов разрушения как критерии долговечности бетона // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 99–105. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.13.

For citation: Davidenko A.Yu., Popov V.P., Popov D.V. Kinetic Characteristics of Fracture Processes as Criteria of Concrete Durability // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 99–105. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.13.

**М. А. ЗОРИНА
Г. Н. РЯЗАНОВА
В. Ю. АЛПАТОВ**

ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТРОЙГЕНПЛАНОВ НА ВОЗВЕДЕНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЮ ЗДАНИЙ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

OPTIMIZATION OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS IN THE DESIGN OF THE CONSTRUCTION PLAN FOR THE CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION OF BUILDINGS IN CRAMPED CONDITIONS OF THE CONSTRUCTION SITE

Классифицированы особенности проектирования строительных генеральных планов в стесненных условиях. Приведены примеры определения различной технологической последовательности возведения зданий. Анализируется возможность изменения конструктивных решений здания, вызванных применяемой технологией. Рассмотрены возможности определения габаритов внутрипостроечных проездов в стесненных условиях. Представлены основные принципы проектирования внутрипостроечных проездов. Даны рекомендации по размещению приобъектных складов и временных бытовых помещений.

Ключевые слова: технологическое проектирование, стройгенплан, строительная площадка, стесненные условия, опасная зона, технологическая последовательность, внутриплощадочные проезды, приобъектные склады, временные бытовые помещения

Технологическое проектирование осуществляется в рамках проектов организации строительства (ПОС) и проектов производства работ (ППР). В соответствии с нормативной документацией, определяющей составы ПОС и ППР, в их состав входят стройгенпланы. В последнее время специалисты, занимающиеся технологическим проектированием, все чаще сталкиваются с ситуацией, когда приобъектное хозяйство необходимо разместить в стесненных условиях строительной площадки.

Для правильной организации строительной площадки необходимо предусмотреть следующие условия:

- анализ границ отведенной территории и возможность размещения (проектирования) ограждения строительной площадки;
- при необходимости устройство дорожных проездов для объездов строительной площадки;

Features of design of construction master plans in the constrained conditions are classified. Examples of definition of various technological sequence of construction of buildings are given. The possibilities of determining the dimensions of internal driveways in cramped conditions are considered. Recommendations on placement of on-site warehouses and temporary household premises are given.

Keywords: process engineering, layout and location plan, construction site, constrained conditions, the danger zone, technological sequence, in-site driveways, on-site warehouses, temporary welfare facilities

- организация подъезда на строительную площадку и выезда с нее;
- анализ возможных способов и методов возведения здания или сооружения;
- анализ перечня применения возможного подъемно-транспортного оборудования и необходимой строительной техники;
- доставка строительного оборудования на объект;
- размещение грузоподъемного оборудования на строительной площадке;
- возможность обеспечения работы строительной техники;
- возможность монтажа или установки крана;
- обеспечение условий работы крана;
- возможности демонтажа крана и вывоза его со строительной площадки;
- размещение временных проездов для строительного транспорта;

- размещение временных бытовых помещений;
- возможность использования существующих коммуникаций и места подключения к ним.

Таким образом, основными проблемами проектирования строительства в стесненных условиях строительной площадки являются [1]:

- выбор и обоснование грузоподъемных машин и оборудования, их привязка к конкретным условиям;
- особые условия в формировании границ рабочих и опасных зон;
- устройство временных дорог и проездов;
- устройство открытых и закрытых складов;
- обустройство площадки временными бытовыми помещениями;
- при необходимости внесение изменений в технологическую последовательность возведения зданий.

Немаловажным условием организации строительной площадки является размещение проездов (дорог), которые составляют единую транспортную сеть, обеспечивающую сквозную или кольцевую схему движения строительного транспорта. Обычно при проектировании строительных проездов руководствуются следующими принципами [1]:

- временные проезды должны обеспечить проезд транспорта от основных транспортных магистралей до строительной площадки. При этом следует минимизировать движение строительного транспорта через густозаселенные жилые кварталы или застроенные территории существующих предприятий;
- временная дорога должна заходить в зону действия монтажного крана, чтобы обеспечить разгрузку конструкций, а также подходить к открытым и закрытым складам;
- временные дороги, по возможности, должны проходить по трассе проектируемых дорог;
- временные дороги следует закольцовывать. Если нет возможности закольцевать дорогу, то в тупиках следует устраивать площадку для разворота строительного транспорта размерами не менее 12×12 м.

Ширина временных дорог определяется исходя из необходимой пропускной способности временного проезда. Обычно временные дороги для строителей устраивают в одну или две полосы. При этом ширина дорог составляет от 3,5 до 8 м.

Радиус закругления временных проездов определяется исходя из маневровых свойств автомашин и автопоездов. Минимальный радиус закругления для строительных поездов – 12 м. В местах закруглений ширина однополосной дороги должна быть увеличена до 5 м.

Расчётная видимость по направлению движения для однополосных дорог должна быть не менее 50 м, а боковая (на перекрестке) – не менее 35 м.

При производстве строительных работ в условиях плотной городской застройки или на действующем предприятии существующие городские проезды не имеют достаточных для провоза длинномерных грузов радиусов поворота. В этих случаях доставляемые конструкции делят на отправочные элементы, которые собирают в условиях строительной площадки.

Конструкции временных дорог необходимо проектировать согласно нагрузкам, возникающим при движении большегрузного автотранспорта. При проектировании временных проездов для строительных машин в стесненных условиях не всегда можно реализовать вышеприведенные требования. В этой ситуации можно запроектировать сквозные проезды через строительную площадку. Ниже рассмотрен пример проектирования сквозного проезда в стесненных условиях строительной площадки (рис. 1). Причем на этих проездах можно предусмотреть как одностороннее, так и двухстороннее движение. В особо сложных случаях, когда невозможно организовать сквозной проезд или площадку для разворота строительных машин, можно подать машину в зону действия крана задним ходом. При этом на въезде на строительную площадку следует выполнить площадку для разворота машин или радиус поворота дороги на въезде должен быть равен длине транспортного средства.

При разработке стройгенпланов важно правильно разместить складское хозяйство. При проектировании складского хозяйства в стесненных условиях застройки объемы складирования должны быть сведены к минимуму. В случае, если размещение складов в должном объеме выполнить невозможно, следует предусмотреть монтаж и подачу материалов «с колес». Варианты возможного применения данного способа монтажа конструкций представлены на рис. 2 и 7.

Одним из важных условий правильной организации строительной площадки является размещение временных бытовых помещений. При проектировании зданий в стесненных условиях для временных бытовых помещений следует выбирать блокируемые контейнерные здания, так как их не только можно поставить вплотную друг к другу, но и разместить в два яруса.

При выполнении работ по реконструкции зданий, техническому перевооружению предприятий временные бытовые помещения и склады можно расположить в существующей или готовой части здания, но при этом строго

следить за соблюдением правил техники безопасности при выполнении монтажных и других работ. Иногда представляется возможность разместить данные помещения в соседних зданиях.

Примером сложности выбора технологии возведения здания и кранового оборудования может служить строительство торгового центра в г. Ульяновске. Здание трехэтажное с полным сборным железобетонным каркасом. Размеры в плане 30,0×23,0 м. Здание трехэтажное с подвалом. Отметка парапета +14,3 м. Отметка пола подвала – 4,2 м. Отметка подколонников – 5,85 м. Каркас состоит из колонн, ригелей и плит перекрытия и покрытия. Сетка колонн 6×6 и 6×3 м. Участок зарегистрирован по Западному бульвару. С северной стороны участка расположена пл. Горького и жилые дома, с западной – автостоянка. По Западному бульвару проходит трамвай и другой общественный транспорт. В непосредственной близости от территории застройки находится стоянка общественного транспорта.

Здание возводится в очень стесненных условиях городской застройки (рис. 1–3). Для монтажа конструкций такого здания могут подходить как самоходно-стреловые, так и башенные или быстромонтируемые краны [2–4]. Но расположить кран можно только со стороны осей А-А и 8-8. Башенный кран на данной строительной площадке разместить невозможно [1]. Вдоль оси А-А от здания до границы строительной площадки расстояние 5,5 м, а вдоль оси 8-8 – 9 м. Как показано выше, чтобы расположить подкрановые пути длиной 12,5 м, необходима свободная площадка длиной 20,7 м и шириной 11,8 м. Более того, кран должен быть установлен около открытого котлована глубиной 5,8 м. В таком случае кран следует расположить вне призмы обрушения откоса грунта несмотря на то, что разработка котлована должна быть выполнена с применением шпунтового ограждения. Можно сделать вывод, что без увеличения размеров отведенной под строительство территории башенный кран на данной строительной площадке установить невозможно.

Для возведения проектируемого здания можно рассмотреть технологию, при которой оно возводится по захваткам сразу на всю высоту в пределах одной захватки [3, 4]. При такой технологии возведения каркаса необходимо:

- разбить здание на две захватки: первая захватка – по всей ширине здания и в осях 1 – 3, вторая захватка – в осях 3 – 8. Длина первой захватки – 12 м, второй – 18 м;

- разработать котлован 25 × 20 м и пандус длиной 58 м для производства работ на первой захватке. Котлован и пандус устраивают с применением шпунтового ограждения;

- возвести все конструкции каркаса первой захватки от подвальной части до установки элементов покрытия;

- перенести бытовые помещения на место вдоль оси А-А;

- разработать котлован под вторую захватку, снять лишнее шпунтовое ограждение и засыпать лишнюю часть пандуса;

- возвести конструкции здания второй захватки.

В данных стесненных условиях этот способ возведения здания потребует возведения пандуса длиной 58 м для съезда строительной техники в котлован с применением шпунтового ограждения (см. рис. 1).

Применение такой технологической последовательности возведения здания может быть ограничено конструкцией этого здания. В данном проекте запроектирован монолитный каркас. Деформационные или температурные швы, по которым можно произвести разделение здания на отдельно возводимые захватки, не предусмотрены. При устройстве монолитного перекрытия может быть уложена неразрезная арматура, которая не позволит оборвать конструкцию. В случае, если специалист, занимающийся тех-

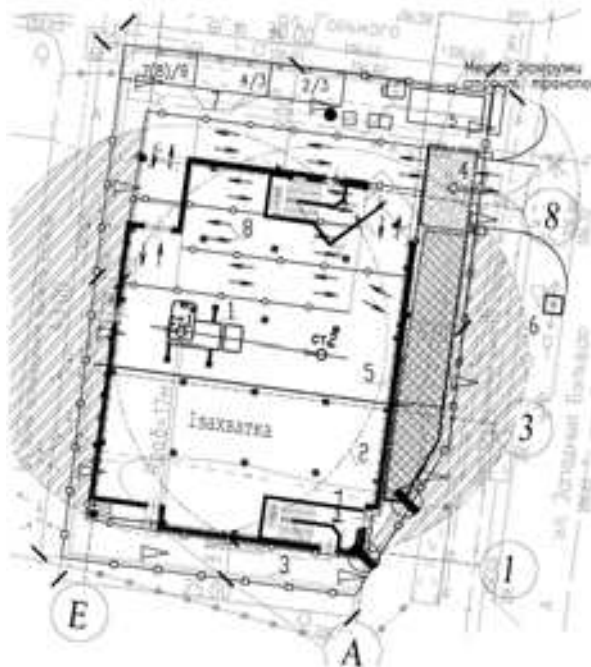


Рис. 1. Возведение торгового центра в г. Ульяновске при помощи автомобильного крана на первой захватке:

1 – самоходно-стреловой кран; 2 – зона действия крана; 3 – опасная зона действия крана; 4 – зона ограничения высоты подъема крюка; 5 – открытый склад с ограничением зоны подъема крюка; 6 – зона ограничения вылета стрелы; 7 – бытовые помещения, установленные в два яруса

нологическим проектированием, решит принять данную технологию, ее необходимо согласовать со специалистами, занимающимися проектированием разделов архитектурных решений (АР) и конструкций железобетонных (КЖ). Возможно, будет необходимо внести изменения в конструктивные решения здания.

Для представленного проекта метод возведения здания по захваткам сразу на всю высоту является неприемлемым по следующим причинам (см. рис. 1, 2):

- появляется необходимость в изменении конструкции здания;
- невозможно организовать въезд на строительную площадку и выезд с нее при помощи площадки для разворота;
- невозможно провести длинномерные грузы, так как пандус и поворот строительного проезда с радиусом 6 м позволяет пройти лишь транспорту длиной до 6 м;
- значительно повышается длина шпунтового ограждения и объем разрабатываемого грунта, что ведет к увеличению затрат на строительство;
- потребуется снимать шпунтовое ограждение пандуса и устанавливать его при разработке котлована под вторую захватку;

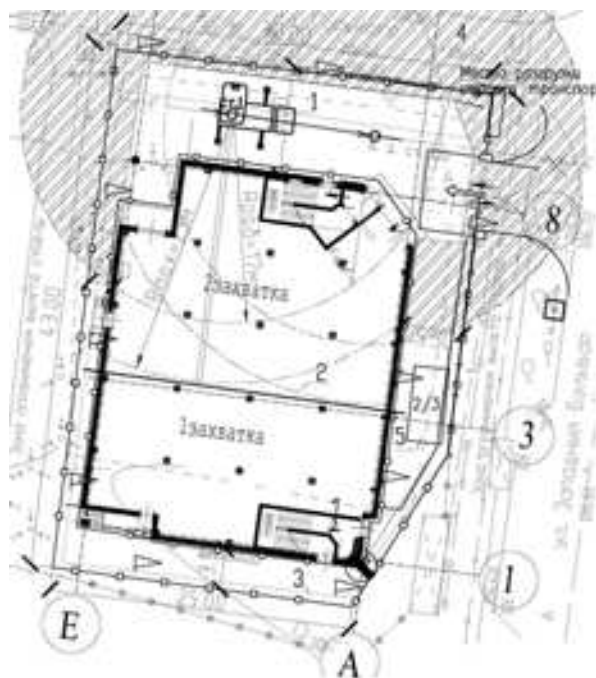


Рис. 2. Возведение торгового центра в г. Ульяновске при помощи автомобильного крана на второй захватке:

- 1 – самоходно-стреловой кран; 2 – зона действия крана; 3 – опасная зона действия крана; 4 – зона ограничения вылета стрелы; 5 – бытовые помещения, установленные в два яруса

– потребуется засыпка лишней части пандуса;

– на втором этапе производства работ появляется необходимость переноса временных бытовых помещений;

– при выполнении работ на второй захватке ограничено место для установки временных бытовых помещений;

– невозможно установить мойку колес в пределах строительной площадки;

– на втором этапе ограничивается площадь открытой площадки для складирования строительных конструкций и приема раствора и бетонной смеси.

Анализ вариантов размещения строительной техники и методов возведения здания показал, что наиболее приоритетным вариантом является установка строительного крана вдоль оси А-А и возведение здания традиционным поэтажным способом. Вдоль оси А-А возможно установить пневмоколесный самоходно-стреловой кран или быстромонтируемый кран (см. рис. 3).

Еще одним ярким примером сложности выбора технологических решений для возведения объекта капитального строительства «Жилой комплекс со встроенно-пристроенными помещениями, расположенный по адресу:

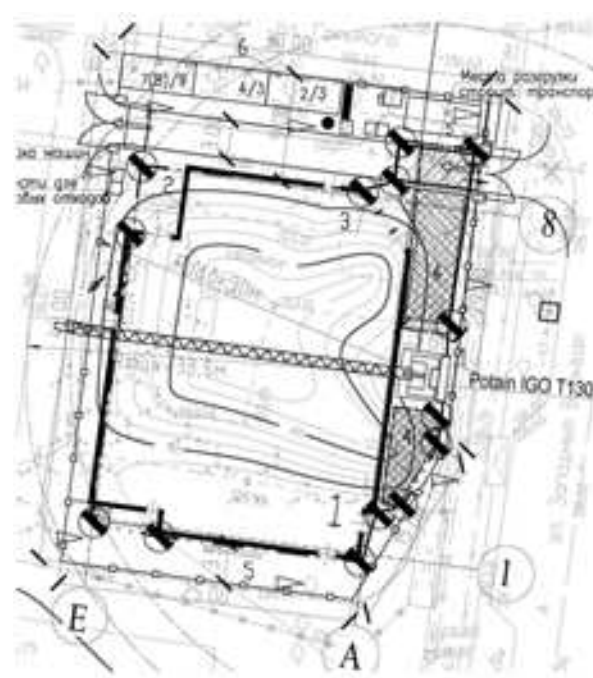


Рис. 3. Возведение торгового центра в г. Ульяновске при помощи быстромонтируемого крана:

- 1 – быстромонтируемый кран; 2 – линия ограничения переноса груза; 3 – знак ограничения переноса груза; 4 – открытый склад с ограничением зоны подъема крюка; 5 – опасная зона действия крана; 6 – бытовые помещения, установленные в два яруса

г. Самара, Самарский район, ул. Водников, 33». Здание сложной конфигурации переменной этажности. Подземная часть здания прямоугольная в плане, двухэтажная. Здесь располагаются паркинг и коммерческие помещения. Здание разделено деформационными швами: по длине 31,09 + 36,19 м, по ширине 21,49 + 22,99 м. Расстояние между осями в деформационных швах 0,65 м. Высота здания переменная до 35,8 м. Жилая часть здания состоит из трех кирпичных секций переменной этажности от 6 до 8 этажей. Четвертая секция – двухэтажные коммерческие помещения и паркинг, над которым расположена дворовая территория жилого дома. Здание располагается на склоне, поэтому «подземная часть» здания вдоль оси 8-8 полностью находится ниже уровня грунта, а вдоль оси 1-1 уже полностью возвышается над уровнем грунта.

Строительство выполняется в крайне стесненных условиях и в окружении плотной существующей городской застройки.

Здание возводится в 5 этапов:

– 1 этап. Разрабатывается котлован под все здание. Сначала разрабатывается грунт под четвертую секцию, затем под первую, вторую и третью секции. При разработке котлована вдоль осей А-А, Н-Н, 18-18 необходимо выполнить крепление откоса при помощи шпунтовых свай (рис. 4);

– 2 этап. Производится бетонирование фундаментной плиты в следующей последовательности: сначала бетонируется плита фундамента четвертой секции, затем первой, второй и третьей секций (см. рис. 4);

– 3 этап. На фундаментную плиту четвертой секции устанавливается башенный кран с вылетом стрелы 40 м. Башенным стационарным краном бетонироваются конструкции паркинга под жилыми секциями и возводятся сами жилые секции. Башенный кран разбирается и вывозится со стороны ул. Водников (рис. 5);

– 4 этап. Короткобазовым самоходно-стреловым краном монтируются конструкции паркинга и коммерческих помещений, кроме помещений в осях И - К и 1 - 2/1 (рис. 6);

– 5 этап. Чтобы не выходить за пределы строительной площадки, самоходно-стреловой кран устанавливается на уже забетонированные конструкции покрытия четвертой секции и с них производится бетонирование конструкций в осях И - К и 1– 2/1 (рис. 7).

Для бетонирования конструкций четвертой секции, после снятия башенного крана применяется короткобазовый кран СТ-2-2-40 (заменяющий кран SRC550С). При работе крана с перекрытия под аутригеры необходимо подложить двойные деревянные щиты площадью не менее 1 м². С конструкций каркаса паркинга необходимо на период работы крана не снимать конструкции опалубок.

При проектировании работы крана с конструкций перекрытия здания необходимо проверить несущую способность данного перекрытия на такую усиленную нагрузку. Возможность такого рабочего расположения крана необходимо обязательно согласовать с проектировщиками раздела КЖ. Обычно в таких ситуациях кран устанавливается на конструкциях

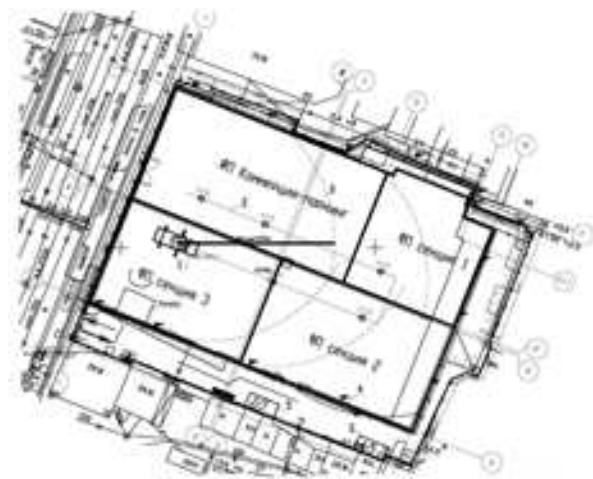


Рис. 4. Возведение жилого комплекса по ул. Водников в г. Самаре, 1 и 2 этапы:

1 – самоходно-стреловой кран; 2 – путь движения крана; 3 – зона действия крана; 4 – опасная зона действия крана; 5 – бытовые помещения, установленные в два яруса

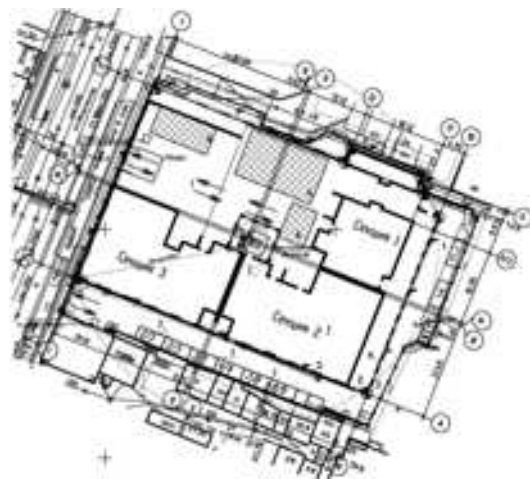


Рис. 5. Возведение жилого комплекса по ул. Водников в г. Самаре, 3 этап:

1 – башенный кран; 2 – зона действия крана; 3 – знак ограничения переноса груза; 4 – линия ограничения переноса груза; 5 – опасная зона действия крана; 6 – открытый склад; 7 – бытовые помещения, установленные в два яруса

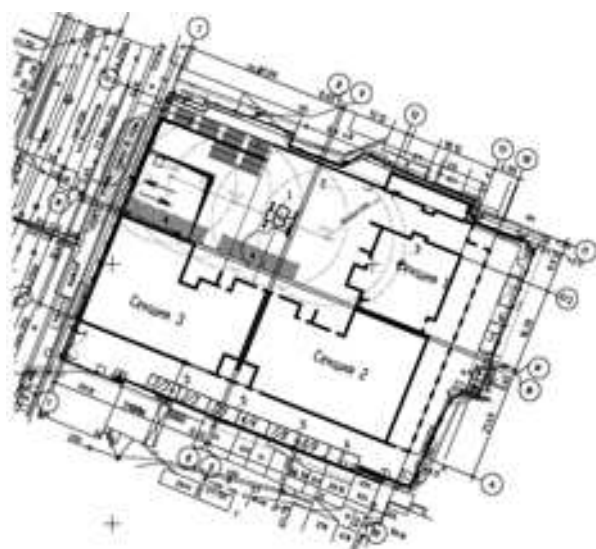


Рис. 6. Возведение жилого комплекса по ул. Водников в г. Самаре, 4 этап:

1 – самоходно-стреловой кран; 2 – зона действия крана; 3 – опасная зона действия крана; 4 – открытый склад; 5 – бытовые помещения, установленные в два яруса

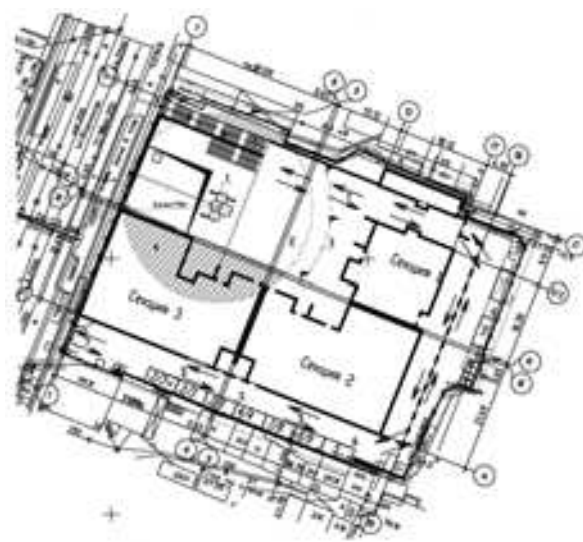


Рис. 7. Возведение жилого комплекса по ул. Водников в г. Самаре, 5 этап:

1 – самоходно-стреловой кран; 2 – зона действия крана; 3 – опасная зона действия крана; 4 – зона ограничения вылета стрелы крана; 5 – бытовые помещения, установленные в два яруса; 6 – бытовые помещения, установленные в один ярус

подземного паркинга, перекрытие которого рассчитано на вес пожарной машины с заполненной водой емкостью. Вес самоходно-стрелового крана с грузом обычно не превышает веса пожарной машины.

Выводы. Проектирование стройгенпланов в стесненных условиях многогранная задача, в которой необходимо учесть конструктивные особенности здания, возможности доставки оборудования конструкций и материалов, размещение внутриплощадочных проездов, особенности размещения приобъектных складов и временных бытовых помещений, а в некоторых случаях предусмотреть возможность изменения традиционной технологической последовательности возведения зданий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Невзоров Л.А., Полосин М.Д. Краны башенные и автомобильные. М: ИЦ «Академия», 2005. 416 с.
2. Рязанова Г.Н., Давиденко А.Ю. Основы технологии возведения зданий и сооружений. Самара: СГА-СУ, 2016. 200 с.
3. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лapidус А.А. Технология строительных процессов: в 2 ч.: Ч.1. Изд. 3-е, стер. М.: Высш. шк., 2006. 392 с.
4. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лapidус А.А. Технология строительных процессов: в 2 ч.: Ч. 2. Изд. 3-е, стер. М.: Высш. шк., 2006. 391 с.
5. Доладов Ю.И., Хмылёва О.Ю. Устройство для монтажа вертикальных панелей // Градостроительство и архитектура. 2016. № 3. С. 38-43.

6. Казанков А.П., Васильчикова З.Ф., Игнатъев П.В. Оценка влияния строящегося многоэтажного дома на близрасположенные существующие панельные здания // Градостроительство и архитектура». 2017. Т. 7, № 1. С. 17-25.

7. Рязанова Г.Н., Попова Д.М. Анализ существующих методов возведения конструкций из монолитного бетона и железобетона в зимних условиях // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 1. С. 16-23.

8. Доладов Ю.И., Добрянин К.Э., Хмылёва О.Ю., Васильчикова З.Ф. Демонтаж здания в черте города // Градостроительство и архитектура. 2018. Т. 8, № 2. С. 60-64.

REFERENCES

1. Nevzorov L.A., Polosin M.D. *Krany bashennye i avtomobil'nye* [Tower and truck cranes]. Moscow, 2005. 416 p.
2. Ryazanova G.N., Davidenko A.Yu. *Osnovy tehnologii vozvedeniya zdaniy i sooruzhenij* [Fundamentals of the technology of construction of buildings and structures]. Samara, SGASU, 2016. 200 p.
3. Telichenko V.I., Terent'ev O.M., Lapidus A.A. *Tehnologiya stroitel'nyh processov* [Technology of construction processes]. Part I. Moscow, High School, 2006. 392 p.
4. Telichenko V.I., Terent'ev O.M., Lapidus A.A. *Tehnologiya stroitel'nyh processov* [Technology of construction processes]. Part II. Moscow, High School, 2006. 391 p.
5. Doladov Yu.I., Khmyleva O.Yu. Device for vertical panels mounting. *Gradostroitel'stvo i arhitektura*

[Urban construction and Architecture], 2016, no.3, pp. 38-43. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2016.03.6

6. Kazankov A.P., Vasilchikova Z.F., Ignatyev P.V. Evaluation of influence of multistory building under construction on existing bearing-wall buildings. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban construction and Architecture], 2017, no.1, pp. 17-25. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2017.01.3

7. Ryazanova G.N., Popova D.M. Analysis of existing methods of construction from monolithic concrete and reinforced concrete in winter conditions. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban construction and Architecture], 2018, no.1, pp. 16-23. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2018.01.3

8. Doladov Yu.I., Dobryanin K.E., Khmyleva O.Yu., Vasilchikova Z.F. Dismantling of the building in the city. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban construction and Architecture], 2018, no.2, pp. 60-64. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.10

Об авторах:

ЗОРИНА Марина Александровна

ассистент кафедры технологии и организации строительного производства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: zorina1804@mail.ru

ZORINA Marina A.

Assistant of the Technology and Organization of Construction Production Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: zorina1804@mail.ru

РЯЗАНОВА Галина Николаевна

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительного производства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: ryazanovagn55@mail.ru

RYAZANOVA Galina N.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Technology and Organization of Construction Production Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: ryazanovagn55@mail.ru

АЛПАТОВ Вадим Юрьевич

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии и организации строительного производства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: avu75@mail.ru

ALPATOV Vadim Yu.

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Technology and Organization of Construction Production Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
E-mail: avu75@mail.ru

Для цитирования: Зорина М.А., Рязанова Г.Н., Алпатов В.Ю. Оптимизация организационных и технологических решений при проектировании стройгенпланов на возведение и реконструкцию зданий в стесненных условиях строительной площадки // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 106–112. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.14.

For citation: Zorina M.A., Ryazanova G.N., alpatov V.Yu. Optimization of Organizational and Technological Solutions in the Design of the Construction Plan for the Construction and Reconstruction of Buildings in Cramped Conditions of the Construction Site // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 106–112. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.14.

АРХИТЕКТУРА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ТВОРЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ АРХИТЕКТУРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



УДК 721.11:574

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.15

Т. Я. ВАВИЛОВА

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ КОНЦЕПЦИЙ ЭКОЛОГИЗАЦИИ СРЕДЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

REVIEW OF MODERN CONCEPTS OF ENVIRONMENTALIZATION
OF THE LIVING ENVIRONMENT

Рассматривается проблема несоответствия действующих в России алгоритмов формирования среды жизнедеятельности глобальным тенденциям учёта целей «зелёной» экономики и задач повышения качества жизни. Объект исследования – новейшие зарубежные концепции экологизации, применяемые в градостроительстве и архитектуре. Предмет исследования – теоретические подходы и инновационные прикладные технологии, способствующие адаптации методов архитектурно-градостроительного проектирования к изменяющимся условиям окружающей среды. Цель исследования – выявление новых направлений повышения потребительских свойств среды жизнедеятельности. Осуществлен сбор информации из литературных и интернет-источников, её обобщение и анализ. Основные сведения о теоретических разработках были получены из отечественных и зарубежных научных журналов, в том числе представленных на портале E-library и мультимедийной платформе ScienceDirect компании Elsevier, а также из электронных библиотек ряда зарубежных университетов и специализированных научно-исследовательских организаций. Дана краткая характеристика таким зарубежным концепциям, как «природоохранное проектирование», «целесообразная технология», «оценка жизненного цикла», «Cradle to Cradle», «бережливое производство», «повторное использование», «планируемое устаревание» и «регенеративный дизайн». Выявлено, что большинство из них обусловлено необходимостью ресурсосбережения. Показано, что внедрению инновационных разработок в практику способствуют активные лабораторные исследования, переход на BIM-технологии, экономические стимулирующие механизмы и активная популяризация. Сделан вывод, что внедрение в практику

The problem of inconsistency of the life-forming environment and global trends forming algorithms in Russia is considered. Attention focused on taking into account the goals of a “green” economy and the tasks of improving the quality of life while regulating the parameters of urban planning and architectural decisions. The newest foreign concepts of ecologization had been study as an object of research. The subject of the research were theoretical approaches and innovative applied technologies that contribute to adapting the methods of architectural and town planning activities to changing environmental conditions. Identification of new ways to improve the consumer properties of the living environment has become the goal of the study. An integrated approach, collection of information from literary and online sources, compilation and analysis of thematic materials. The basic information about theoretical developments discovered in domestic and foreign scientific journals. They are present on the Russian portal E-library and on ScienceDirect – the Elsevier’s multidisciplinary platform. Some aspects were refined according to the information that posted on the websites of electronic libraries of a number of foreign universities and specialized research institutions. Brief description of such foreign concepts as “environmental design”, “appropriate technology”, “life cycle assessment”, “Cradle to Cradle”, “lean manufacturing”, “upcycling”, “planned obsolescence” and “regenerative design” prepared. Analysis of publications showed that the most popular topic is the need for resource conservation. Active laboratory research, transition to BIM-technologies, economic incentive mechanisms and active popularization contribute to the introduction of innovative resource-saving developments in practice. Currently, various aspects of the “green” economy considered in the natural Sciences, engineering, Humanities and Economics. One of the most important tasks of the modern stage of development of urban plan-

проектирования и строительства современных технологий, соответствующих задачам «зелёной» экономики, – важнейшая задача современного этапа развития градостроительства и архитектуры в России. В связи с этим синхронизация проблемного поля и методов градостроительных, архитектурных и инженерных исследований с ключевыми вопросами и технологиями устойчивого развития, которые разрабатываются в смежных естественно-научных, инженерных, гуманитарных и экономических сферах, является необходимым условием повышения качества среды жизнедеятельности.

Ключевые слова: градостроительство, архитектура, «зелёная» экономика, экологизация, качество жизни, потребительские свойства объектов

Введение. В России, как и в большинстве прогрессивных стран, экономика ориентируется на 17 глобальных целей, провозглашенных ООН в 2015 году в «Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года». Заложенный в неё системный подход призван обеспечить повышение качества жизни и предотвратить возникновение проблем в трёх основных взаимосвязанных сферах – экологической, социальной и экономической. К XXI в. «зелёная» экономика была признана наиболее эффективной формой реализации идей теории устойчивого развития, а следовательно, и повышения качества жизни [1]. Стратегия и тактика «зелёной» экономики базируется на целенаправленном улучшении состояния окружающей среды, снижении антропогенного воздействия на природу, следовании принципам экологизации и гуманизации урбанизированных территорий и субурбий [2–5].

Индикаторы устойчивого развития, используемые международным сообществом для оценки качества жизни, с недавнего времени стали отражаться в официальной информации на сайте Федеральной службы государственной статистики. Тем не менее, значительная часть показателей, связанных с экологизацией нашей экономики, не включается в отчёты. В частности, не отслеживается экологическое соответствие градостроительных и архитектурных решений задачам «зелёной» экономики. Это не только не согласуется с общемировыми тенденциями, но и говорит о недостаточном внимании, которое уделяется вопросам ресурсосбережения и инновациям.

В России фундаментальные основы инвентаризационных градостроительных методов были заложены ещё в прошлом веке. Идеи основоположников применения методов охраны окружающей среды – В.В. Владимирова, С.Б. Чистяковой, В.Л. Глазычева получили разви-

ning and architecture in Russia is the introduction into practice of design and construction of modern technologies corresponding to the tasks of the “green” economy. In this regard, the actual direction of science researches, which are associated with the optimization of urban planning, architectural and engineering solutions, is the synchronization of the field of sectoral problems with the key issues of sustainable development.

Key words: urban planning, architecture, “green” economy, ecologization, quality of life, application properties of facilities

тие в трудах В.А. Колясникова, А.Г. Большакова, В.А. Нефёдова и др. В начале XXI столетия в ряде отечественных докторских и кандидатских диссертаций были подняты вопросы экологизации градостроительных и архитектурных решений. Общие и частные проблемы рассматривались в работах О.Н. Сокольской (2012), А.В. Ищенко (2013), Д.В. Дарьенковой (2013), П.А. Шамеева (2014), Е.В. Мартыновой (2014), В.В. Прокопенко (2015), З.К. Петровой (2016), Д.Г. Гриценко (2016), М.А. Слепнева (2017), И.А. Тигановой (2017), Ю.М. Моисеева (2017), В.Д. Оленькова (2018) и др. В теорию новейшей современной экологической архитектуры внесли вклад А.В. Воронина (2012), А.П. Раков (2013), Е.В. Денисенко (2013), Е.А. Сухина (2014), О.О. Смолина (2017), Я.И. Радулова (2017) и др. Некоторые концептуальные, типологические и технологические аспекты архитектурного проектирования экологичных зданий стали предметом диссертационных исследований А.А. Воронина (2012), А.В. Рябова (2012), И.В. Ждановой (2013), И.Н. Бутыревской (2013), Я.Ю. Усова (2013), А.Д. Гридюшко (2013), Е.В. Купцовой (2014), П.П. Семикина (2014), Л.В. Желнаковой (2017) и др.

Анализ выполненных в России диссертационных, а также исследований опубликованных за последнее десятилетие научных статей позволяет констатировать, что динамика продвижения актуальных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований, которые должны быть нацелены на формирование практических разделов «зелёной» экономики и формализацию экологических свойств урбанизированных территорий, зданий и сооружений, не соответствует задачам инновационного продвижения страны. В исследовательское поле отечественной градостроительной и архитектурной науки не вошёл широкий диапазон проблем, решение которых способствует

повышению качества жизни. Поэтому особый интерес представляют современные зарубежные концепции экологизации среды жизнедеятельности, а также опыт их воплощения на практике.

Материалы и методы. Многомерность категорий и понятий, применяющихся в настоящее время для оценки качества среды жизнедеятельности [6], потребовала привлечения комплексного подхода, который включал сбор обширного материала из литературных и интернет-источников, его систематизацию и анализ. Это позволило обнаружить ключевые точки соприкосновения науки и практики, выявить наиболее перспективные концепции экологизации среды жизнедеятельности и найти подтверждение реализации их методов в архитектурно-градостроительной практике. Рассмотрим важнейшие положения, позволяющие охарактеризовать теоретический фундамент и современный уровень разработанности проблемы.

1. Для определения стратегии развития современной экономики принципиальное значение имеет содержание понятия «**качество жизни**». Одним из наиболее авторитетных считается мнение, высказанное в коллективной работе, которая выполнялась под руководством нобелевских лауреатов из США Дж. Стиглица и А. Сена при участии известного французского экономиста Ж.-П. Фитоусси. В 2009 г. результаты исследования были опубликованы на платформе Еврокомиссии [7]. В итоговом докладе обозначено три концептуальных подхода к измерению качества жизни: а) субъективная оценка благополучия (удовлетворённость человека семейной жизнью, трудовыми и финансовыми условиями); б) анализ функциональных возможностей (здравоохранение, образование, личная активность, политические свободы и управление, общественные связи, условия окружающей среды, личная безопасность, экономическая защищённость); в) измерение справедливого распределения. Авторами были сделаны следующие выводы:

- главную информацию о качестве жизни дают показатели субъективного благополучия;
- качество жизни зависит от объективных условий жизни людей, и поэтому необходимо предпринимать шаги по совершенствованию сфер здравоохранения, образования, условий для личной деятельности, политической активности, налаживания социальных связей по улучшению качества окружающей среды и обеспечению безопасности;
- показатели качества жизни во всех охватываемых ими аспектах должны оцениваться комплексно и с учётом значимости (весомости);

– статистика должна содержать информацию об индикаторах качества жизни [8].

Таким образом, качество жизни в значительной степени определяется состоянием среды жизнедеятельности, потребительские свойства которой в контексте задач «зелёной» экономики зависят от выбора экологических и социальных стратегий и тактики применения экономических механизмов их реализации.

2. **Уровень экологизации экономики Российской Федерации** отражается в Глобальном индексе «зелёной» экономики (Global Green Economy Index™ – GGEI), который с 2014 г. представляет американская консалтинговая компания Dual Citizen. Мониторинг результатов нашей страны проводится с 2016 г. Методология GGEI основана на принципах, изложенных в «Справочнике по конструированию комплексных индикаторов» международной Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) [9]. Показатели GGEI объединены в следующие группы: 1) лидерство и изменение климата; 2) сектора эффективности; 3) рынки и инвестиции; 4) окружающая среда. Используемая система позволяет учитывать, что сфера недвижимости вносит значительный вклад в загрязнение окружающей среды и обладает высоким потенциалом снижения негативного воздействия.

Данные о внедрении «зелёных» технологий в строительную отрасль входят первым пунктом во вторую группу. В качестве индикатора соответствия в GGEI используются официальные сведения Совета по «зелёному» строительству США (United States Green Building Council, USGBC), в которых фиксируется динамика сертификации зданий по самому авторитетному на сегодняшний день экологическому стандарту – LEED (Leadership in Energy and Environmental Design). Изучение открытых баз данных показывает, что в Российской Федерации на начало 2019 г. было сертифицировано 39 зданий и проектов, в Чехии – 49, Венгрии – 55, Германии – 327, Бразилии – 526, Китае – 1487, Канаде – 3200, США – 33 237 [10]. Для сравнения: к 2019 г., т. е. за 4 года существования российской системы «зелёных» стандартов GREEN ZOOM – с момента её учреждения в 2015 г., сертификатов отечественного образца удостоились лишь 47 объектов недвижимости.

Помимо зданий, в рейтинге GGEI применяется оценка секторов, без которых немаловажна жизнь современного человека: транспорт, туризм, энергетика, а также эффективность использования ресурсов. По совокупности результатов GGEI за 2018 г. Россия оказалась на 105-м месте из 130 стран-участниц. В лидирующую десятку вошли Швеция, Швейцария,

Исландия, Норвегия, Финляндия, Германия, Дания, Тайвань, Австрия и Франция. Китай оказался на 27-м месте, США – на 30-м, Бразилия – на 32-м, Индия – на 35-м, ОАЭ – на 58-м. Очевидно, что верхние позиции заняли страны, в которых различным технологиям экологизации уделяется пристальное внимание со стороны управленческих структур, научного сообщества и бизнеса [11].

3. Несмотря на усиление интереса к проблемам устойчивого развития [12–18], в тематике современных российских исследований по архитектуре имеется методологический пробел: стратегические и тактические вопросы «зелёной» экономики изучены поверхностно, а инновационные методы, которые способствуют повышению качества жизни, разрабатываются и внедряются фрагментарно, без активного привлечения междисциплинарного подхода. Поэтому пристальное внимание следует уделить **современным зарубежным концепциям экологизации среды жизнедеятельности**, которые воплощаются на практике. Рассмотрим некоторые из них.

3.1. **«Природоохранное проектирование»** (“design for the environment” – DfE, “sustainable environmentally design”, “environmentally conscious design”, “eco-design” и т. п.). Подход, который имеет несколько близких по смыслу названий, связан с идеей снижения в течение всего жизненного цикла услуги воздействия продукта, процесса или услуги на здоровье человека и окружающую среду. Истоки подхода связаны с программой предотвращения загрязнения, которая реализуется с 1992 г. Агентством по охране окружающей среды США (EPA) и с 2015 г. стала именоваться как «Безопасный выбор» [19]. Отправной точкой природоохранного проектирования стал диалектический подход, позволивший первоначально связать экологические проблемы с методами строительной физики, которые распространяются и на строительные площадки, и на объекты недвижимости. Благодаря этому в Великобритании к началу XXI в. были созданы условия междисциплинарной интеграции учёных и проектировщиков. В 1999 г. коллективом, объединившим учёных из разных университетов, был опубликован аналитический обзор научных основ и передовой практики экологического строительства. Как отметил редактор монографии доктор наук R. Thomas, «проектирование начинается с участка и продолжается посредством выбора формы, выбора материалов и разработки инженерных систем, которые обеспечивают то, что не могут природная среда и строительство. В экологически ответственной архитектуре нет четкого раз-

личия между архитекторами и инженерами». Во втором разделе книги была представлена информация о построенных и реконструированных зданиях, в которых нашёл применение экологический подход. Работа с конкретными объектами стала частью экспериментов, проведённых с целью совершенствования национальной системы экологической сертификации зданий BREEAM [20].

Наряду с требованиями тщательного учёта интересов природы, в рамках природоохранного проектирования в Великобритании постепенно актуализировались критерии потребительского качества антропогенных объектов. В конце XX в. процесс разработки и внедрения системы экологической сертификации сопровождался обновлением показателей, характеризующих средовой комфорт, в том числе термические, визуальные и акустические условия, качество воздуха в помещениях, электромагнитные поля и статическое электричество. Ведущее место отводилось разработке критериев, позволяющих проектировать здания, которые не просто позволяли избежать болезней, но даже способствовали улучшению здоровья. Для негативной оценки объектов был даже предложен термин – «синдром больного здания». При этом стала очевидной необходимость выявления измеримых пределов или диапазонов для каждого из факторов окружающей среды, в том числе с учётом их вероятных взаимодействий [21].

Одним из драйверов природоохранного проектирования стало Решение № 1600/2002/ЕС Европейского парламента и Совета от 22 июля 2002 г. о разработке Шестой программы действий сообщества в области окружающей среды, рассчитанной на десятилетний срок. Цели Программы соответствовали ключевым экологическим приоритетам в следующих областях: изменение климата; природа и биоразнообразие; окружающая среда, здоровье и качество жизни; природные ресурсы и отходы. В число главных задач были включены: содействие высокому уровню качества жизни и социальному благополучию граждан, поддержание качества среды обитания, которое не вызывает негативного воздействия на здоровье человека и окружающую среду, и поощрение устойчивого развития городов [22].

Разработка синергетического подхода как важнейшего инструмента природоохранного проектирования приобрела популярность в первое десятилетие XXI в. Её становление происходило практически параллельно с внедрением в проектирование цифровых технологий. С помощью интегрированных систем строительного проектирования (Integrated Building

Design System – IBDS) – предвестников BIM появились новые возможности для регулирования взаимосвязанных параметров градостроительных решений, формы зданий, дизайна фасадов и осуществления подбора строительных материалов. Эпоха BIM началась в 2002 г. благодаря инновационным разработкам компании Autodesk. Это позволило постепенно придать процедуре целенаправленного энергосберегающего проектирования структурированный характер. В ней выделяется четыре ключевых направления – энергосбережение, предпроектные исследования, конструирование и обслуживание зданий. В разных странах мира предпринимаются попытки выявления принципов устойчивого проектирования. В фокусе внимания оказываются факторы, от которых зависят энергетические показатели и достижение необходимого комфорта: пассивный солнечный дизайн, дневное освещение, естественная вентиляция и критерии комфорта [23].

Одним из эффективных способов экологизации среды жизнедеятельности в поселениях считается формирование «зеленой» инфраструктуры. За несколько десятилетий различные аспекты этой концепции изучались в таких дисциплинах, как ландшафтная архитектура, ландшафтная экология и планирование. В ходе дискуссии и поиска лучших подходов к пониманию механизмов была осознана необходимость междисциплинарного сотрудничества теоретиков и практиков. Это подтверждается, в частности, в работе учёных архитектурного факультета из Университета Ааалто (Финляндия), в которой были исследованы три финских города – Вантаа, Тампере и Ювяскюля, население и власти которых оказались заинтересованными в разработке и внедрении новых стратегий формирования экологической инфраструктуры застроенной среды. К работе было привлечено 23 официальных специалиста (архитекторы, ландшафтные архитекторы, инженеры и эксперты в области естественных наук) из департаментов городского планирования, а также четыре исследователя в области ландшафтной архитектуры и городского планирования [24].

3.2. В конце XX – начале XXI в. поводом для возникновения в западных странах целого ряда схожих по философской и инженерной основе направлений экологизации среды жизнедеятельности стала актуализация проблем **ресурсосбережения**. В 2012 г. Еврокомиссия закрепила необходимость ресурсосбережения в «Манифесте за ресурсоэффективную Европу» [25].

В рамках общего движения наибольший общественный и научный резонанс вызвали следующие **концепции**:

– **«целесообразная»** (экологически приемлемая) технология» («appropriate technology») и родственные прикладные подходы – «эколотек» («natural building»), и «автономное здание» («autonomous building»);

– **«Cradle to Cradle»** («от колыбели до колыбели»);

– **«бережливое производство»** (“lean manufacturing”, “lean production”) и «теория ограничений» (“theory of constraints (TOC)”);

– **«повторное использование»** («recycling») и «творческое повторное использование» («creative reuse»);

– **«планируемое устаревание»** (“planned obsolescence”, “built-in obsolescence”);

– **«регенеративный дизайн»** (“regenerative design”).

Каждая из этих концепций опирается на методологию научной оценки **«экологического следа»** и **«жизненного цикла»**.

Появление теории «экологического следа» зданий закономерно выводит на передний план науки проблему синхронизации градостроительных, архитектурных, конструктивных и инженерных решений с позиций системного метода. Опираясь на законы физики, термодинамики, биологии, микробиологии, экологии, медицины и других фундаментальных наук, ученые первой четверти XXI в. формируют целостное понимание методологии проектирования застройки и зданий в соответствии с глобальными целями устойчивого развития. Как отмечают Vallero D.A., Brasier C., руководства по энергетическому и экологическому проектированию LEED, BREEAM и Green Globes, которые появились для стимулирования экологизации средового дизайна и строительства, позволили переместить на более ранние этапы разработки проекта оценку воздействия объекта на окружающую среду. Благодаря внедрению BIM, кардинально изменившему процесс проектирования, стало возможным вариантом (альтернативное) моделирование, позволяющее выбрать для реализации оптимальное решение [26].

Теория «жизненного цикла», зародившаяся в США в 1940-е гг. и получившая признание в конце 1950-х гг. [27], сравнительно недавно стала распространяться на сферу строительства и архитектуры. В большинстве стран Евросоюза в начале XXI в. основным стимулом стала реализация концепции циркулярной экономики. Её полномасштабное внедрение сопровождается обновлением законодательных актов, продвижением комплексных инициатив. Наиболее эффективными инструментами стали экодизайн и энергетическая маркировка (Ecodesign and Energy Labelling),

экологическая маркировка ЕС (EU Ecolabel), «зелёные» государственные закупки (Green Public Procurement, GPP) и схема расширенной ответственности производителей (Extended Producer Responsibility, EPR) [28].

В 2011 г. была опубликована фундаментальная работа, посвящённая оценке жизненного цикла застройки городских территорий. Её автором стал австралиец R. Crawford. Автор изложил основы оценки жизненного цикла и на примере проведённых тематических исследований продемонстрировал методы инновационного гибридного подхода, который опирался на затраты и результаты показателей жизненного цикла. Исследованию были подвергнуты такие элементы сферы недвижимости, как жилое здание, коммерческое офисное здание и ветряная турбина, а также отдельные компоненты зданий, в частности фотоэлектрическая система энергоснабжения жилья. Применялся всесторонний анализ потребностей в ресурсах, а также экологических результатов. Он позволил выявить потенциальные последствия строительства или инфраструктурной системы на окружающую среду. Были представлены и продемонстрированы возможности методики оценки жизненного цикла реализованных экопроектов, а также преимущества алгоритма оценки экологических показателей проектов. R. Crawford предложил подход, позволяющий сравнивать варианты дизайна зданий на протяжении всего жизненного цикла и определять пути улучшения их экологических показателей [29].

Датские учёные В. Goldstein и F.N. Rasmussen исследовали результативность экологической деятельности в некоторых городах Австрии, Австралии, Великобритании, Канады, Китая, Португалии, Финляндии и Южно-Африканской Республики. Опираясь на работы многочисленных предшественников, они предложили внедрить дифференцированные подходы в оценку жизненного цикла (ОЖЦ) зданий и поселений. Для зданий ключевыми компонентами стали материалы, модель потребления энергии, использование воды, методы строительства и технологии утилизации. Основные учтённые категории потребления при строительстве поселений – это строительная техника, металлы, пластмассы, продукты питания, древесина, топливо (транспорт и отопление), вода, электроэнергия, производство отходов (твёрдых, жидких, газообразных). В работе было отмечено, что методология ОЖЦ стала более целостной в результате развития систем экологической сертификации (BREEAM, DGNB и др.) и параллельной разработке стандартов. Например, согласование подходов к структу-

рированию и оценке воздействия жизненного цикла здания на окружающую среду обеспечивает ISO/TC 59 SC 17 и серия европейских стандартов CEN/TC 350 по оценке устойчивости зданий и сооружений [30].

4. Новая парадигма целостного системного мышления вызвала в **Европе и Северной Америке трансформацию традиционных представлений о роли градостроительства и архитектуры**: сообщество проектировщиков стало внимательнее относиться к экологическим свойствам зон проектирования. Трансляция популярных концепций ресурсосбережения в сферу развития среды жизнедеятельности привела к разработке гипотез о том, что традиционные технические знания о бетоне, стали, других материалах и методах должны дополняться пониманием их происхождения, оценкой климата и микроклимата, геологических и биологических систем. Постепенно была сформирована точка зрения, что самое важное в деятельности архитекторов и инженеров – это понимание непрерывных, регенеративных процессов или циклов, встречающихся в природе [26].

В зонах урбанизации одной из самых масштабных является проблема утилизации строительных отходов. Их доля в общих объёмах накопления по оценке австралийских учёных достигает 40 % [31]. Исследовательский альянс архитектора W. McDonough и химика M. Braungart – авторов концепции «Cradle to Cradle» (2002), привёл к разработке оригинального видения условий применения вторичных ресурсов (материалов). Была предложена двухчастная классификация ресурсов: или как биологических, или как технических питательных веществ. По гипотезе учёных «биологические питательные вещества» – это продукт, который после использования предназначен для возвращения в биосферу для вовлечения в биологический цикл. По аналогии, «технические питательные вещества» – это тоже сырьевые ресурсы, которые по истечении срока эксплуатации должны быть возвращены в технический цикл, в промышленный метаболизм, из которого они появились [32]. На протяжении многих лет концепция «Cradle to Cradle» активно обсуждается в научных кругах. В частности, высоко оценивая её теоретическую основу, голландские учёные M.E. Toxopeus, B.L.A de Koeijera, A.G.G.H. Meij, отмечают, что эффективность практического внедрения этого инновационного подхода в значительной мере зависит от взаимопонимания предприятий-партнёров и от синхронности процедур сертификации продукции [33].

Особенностью современного этапа развития ресурсосберегающих технологий является не только их совершенствование, но

и общественное признание. Один из наиболее сложных вопросов – это выбор лучшей (приемлемой) технологии. В условиях рыночной конкуренции разработка объективной системы оценки становится одной из трудно разрешимых задач. Рассмотрим пример. Попытка получения обобщающих выводов была предпринята молодыми учёными из США (М. Bauer, А. Brown), которые были привлечены к оптимизации систем отопления жилья общины Уэствуд в Денвере (штат Колорадо). Жители указали на серьезные проблемы со здоровьем, безопасностью и качеством жилья. Проблема усугублялась высокой стоимостью отопления, так как система не соответствовала теплотехническим характеристикам зданий. В ходе исследования учёными было проанализировано более 50 научных трудов, что позволило выявить 49 показателей, необходимых для комплексной оценки. Опираясь на концепцию устойчивого развития общин, для выбора лучшего решения был проведён социологический опрос, к которому привлекалось три группы экспертов – «заинтересованные организации», «местное население» и «пользователи». В ходе обсуждений стороны согласились, что облегчить расходы поможет оборудование зданий системами солнечного отопления [34].

В контексте идей природоохранного проектирования с 2009 г. в странах Европейского Союза учитываются требования Директивы по экологическому проектированию (2009/125/ЕС), обусловленные необходимостью снижения энергопотребления продукции. Действие Директивы распространяется как на промышленную и бытовую технику, так и на строительное сырьё, материалы, инженерную оснастку зданий и объекты недвижимости в целом. Важнейшим отличием этого документа от ранее действовавших предписаний стало условие, что добиваться сокращения потребления ресурсов (энергии, материалов, воды и др.) и снижения негативных экологических последствий (выбросы загрязняющих веществ, отходы и др.) следует уже на этапе проектирования (разработки). Минимальные экологические требования назначаются для каждой группы продуктов. Если продукция не соответствует определённым критериям, то запрещается к продаже и использованию [35]. В мае 2010 г. отдельные положения были уточнены в Директиве 2010/31/EU об энергетических показателях зданий [36]. Следующим шагом повышения энергоэффективности сферы недвижимости стала Директива 2012/27/EU, согласно которой государства-члены ЕС должны были к 30 апреля 2014 г. представить национальные планы действий в области энергосбережения

с изложением принятых программ экономии энергии. В июле 2014 г. Европейская комиссия объявила о новой цели – повышении к 2030 г. энергоэффективности на 30 % [37]. Последнее обновление целевых показателей 2030 г. произошло в декабре 2018 г.: целью стало повышение энергоэффективности на 32,5 % [38].

Совершенствование методологии устойчивого развития среды жизнедеятельности в европейских странах сопровождается мониторингом внедрения экологических инноваций, который Еврокомиссия проводит с 2010 г. Обеспечение **энергоэффективности** зданий является одним из критериев оценки сферы строительства [39]. Ознакомление с многолетними результатами за 2010–2017 гг. позволяет выявить страны, стабильно входящие в группу экологических лидеров. Это Дания, Германия, Финляндия и Швеция. Кроме того, верхние строчки рейтинга занимают Австрия, Великобритания, Испания, Ирландия, Люксембург, Нидерланды и Словения.

Весомый вклад в достижение высоких показателей в этих странах вносят учёные. В новейших научных исследованиях тематика повышения потребительских свойств среды жизнедеятельности практически всегда рассматривается с позиций экологизации. К примеру, в 2019 г. была опубликована статья междисциплинарной команды, в которую входили представители нескольких вузов Великобритании. Они пришли к выводу о необходимости перехода к экономике, основанной на внедрении рециклинга во все сферы деятельности. Был сделан вывод, что для создания инфраструктуры повторного использования материалов необходимо укрепление межотраслевых и межсекторальных связей, разработка инструментов, стратегий, стандартов и дорожной карты, привлечение огромного количества информационных данных. Их обработка с помощью цифровых технологий, включая BIM, позволяет оценить эффективность повторного использования ресурсов, которые высвобождаются в результате реконструкции или сноса зданий. Отмечалось, что инновации открывают новые возможности для совершенствования инфраструктуры и приводят к увеличению природоохранного эффекта [40].

В работе шведского учёного М. Kurdve обращено внимание на то, что внедрение цифровых технологий является необходимым условием в практике бережливой производства. В строительной сфере концепции «бережливого производства» соответствуют индустриальные методы и стандартизированные технологии реализации тиражируемых проектных решений. Именно такие методы используются

при возведении массового жилья. Анализ перспектив развития деревянного домостроения привёл к выводам о том, что цифровые технологии производства позволяют добиться максимально высокого качества сборки в результате отказа от трудоёмкой механической обработки изделий [41].

Ещё одна проблема, которой в Швеции уделяется пристальное внимание – повышение энергоэффективности зданий. В последние годы акцент смещается в сторону реновации существующих объектов. Группа учёных из Гётеборга, применяя математические модели описания состояния компонентов, определила три основные части здания, изменение параметров которых влияет на энергопотребление: окна, фасады и крыша. С учётом положений методологии жизненного цикла было подготовлено несколько сценариев их периодического (поддерживающего) и капитального ремонта (реновации). Удалось выявить, что игнорирование экономической оценки результатов реновации приводит к переоценке её потенциальных выгод. Исследователи пришли к выводу, что энергетическое обновление, отложенное на конец жизненного цикла, ограничивает возможности оптимизации параметров энергоэффективности. Более того, ухудшение условий эксплуатации приводит к сокращению срока службы здания, так как при запоздалой реконструкции не обеспечивается достижение желаемых результатов в полной мере [42].

5. Глобальный масштаб экологических проблем и стремительное развитие цифровых интеллектуальных систем вывели на передовые позиции **«зелёные» технологии Азии**. В значительной степени этому способствовало проведение в Сингапуре в 2012-2015 гг. Всемирных архитектурных фестивалей, где, как никогда прежде, акцент был сделан на инновациях.

По активности проведения научных исследований выделяется несколько азиатских стран – Вьетнам, Египет, Индия, Индонезия, Иран, Китай, Малайзия, Объединённые Арабские Эмираты и Сингапур.

В двух странах (Египет и Малайзия) внимание акцентируется на концепции «бережливое производство». Так, например, целью одного из недавних исследований в Египте стало изучение роли бережливого производства в деле совершенствования принципов устойчивого проектирования и строительства. Для достижения этой цели были использованы два подхода – анализ применяемых в Европе и Северной Америке систем экологической сертификации зданий (BREEAM, BEPAC, LEED) и публикаций по их внедрению, а также обобщение методологий в корреляционной матрице. Выводы по

применению интегрированных принципов бережливого производства и устойчивости приняли форму рекомендаций для местных архитектурных, инженерных и строительных компаний [43].

Самые благоприятные условия для внедрения экологических инноваций созданы в настоящее время в Китае. В этой стране проводятся фундаментальные и прикладные исследования по широкому кругу вопросов: оценивается международный опыт экологизации моделей градостроительства [44], осуществляется поиск путей совершенствования технологий производства и распределения энергетических ресурсов, оптимизации алгоритмов формирования и эксплуатации региональных сетей энергоснабжения и региональных показателей оценки энергетики в программах территориального планирования [45], разрабатываются новые технологии инженерного оборудования, обеспечивающие комфорт пребывания людей в зданиях [46]. Для целей продления жизненного цикла объектов культурного наследия привлекаются средства имитационного моделирования [47]. Тщательным образом изучаются европейские и американские научно обоснованные стратегии, тактика реконструкции исторически сложившейся застройки и преобразования традиционных поселений в эко-города [48]. Реальным успехам китайских проектировщиков способствовало создание в ведущих университетах страны научных центров, занимающихся вопросами устойчивого развития среды жизнедеятельности. Одна из самых разветвлённых лабораторных сетей, в которой сразу несколько научных коллективов изучают проблемы экологизации, создана в Университете Цинхуа.

Результаты исследования. Изучение зарубежного опыта позволяет выделить несколько приоритетных концепций, влияющих на тематику проводимых в разных странах академических и отраслевых научных исследований, а также на разработку практических методов «зелёной» экономики.

В течение первой четверти XXI столетия в теоретических исследованиях учёных Европы, Северной Америки и Азии было сформировано и детализировано два основных подхода: «природоохранное проектирование», которое связано с идеей снижения общего воздействия градостроительной деятельности на окружающую среду и здоровье человека, а также «ресурсосберегающий подход», нацеленный на сокращение потребления (изъятия) ресурсов. В рамках последнего получили распространение такие концепции, как «Cradle to Cradle» («от колыбели до колыбели»); «бережливое производство» («lean manufacturing», «lean

production») и «теория ограничений» («theory of constraints (ТОС)»); «повторное использование» («recycling») и «творческое повторное использование» («creative reuse»); «планируемое устаревание» («planned obsolescence», «built-in obsolescence»), «регенеративный дизайн» («regenerative design»).

Эффективность практического применения ключевых концепций экологизации связана с системным подходом, который обеспечивается при разработке проблем в самых разных отраслях экономики и сферах – научной и образовательной (разработка методологии, проведение экспериментов, распространение и популяризация передового опыта), градостроительной (мониторинг, социально-функциональное прогнозирование, проектно-градостроительное моделирование, нормативно-правовое и экономико-градостроительное регулирование); правовой (расширение прав граждан и организаций, участвующих в программах реновации и др., а также ограничение прав нарушителей программ); административной (партисипаторные технологии, превентивные и радиальные методы) и финансовой (поддержка, стимулирование, применение санкций).

Выводы. Экологизация среды жизнедеятельности в Российской Федерации – одна из важнейших задач современного этапа развития градостроительства и архитектуры. Процесс экологизации, являясь частью общемирового движения по пути устойчивого развития, может быть обеспечен целенаправленным и последовательным внедрением в практику проектирования и строительства современных технологий, соответствующих задачам «зелёной» экономики.

В связи с этим ключевые вопросы устойчивого развития, которые рассматриваются в естественно-научных, инженерных, гуманитарных и экономических научных специальностях, становятся фактором корректировки проблемного поля отечественных градостроительных и архитектурных исследований. Решение вопросов синхронизация актуальных задач «зелёной» экономики и возможных направлений развития архитектурной науки связано с созданием условий, позволяющих проводить моделирование различных процессов. Как показывает передовая зарубежная практика, эффективность внедрения экологических инноваций повышается в результате перехода к ВИМ, а для получения востребованных обществом прогнозов и достоверных результатов необходимо создание профильных и межотраслевых научно-исследовательских (лабораторных) центров – академических, университетских и корпоративных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобылев С.Н., Захаров В.М. «Зелёная» экономика и модернизация. Эколого-экономические основы устойчивого развития // Бюллетень Института устойчивого развития Общественной палаты РФ «На пути к устойчивому развитию России». 2012. № 60. 90 с. URL: http://www.ecopolicy.ru/upload/File/Bulletins/B_60.pdf.
2. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Принципы стратегического планирования развития территорий (на примере федеральной земли Бавария) // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 2 (125). С. 158-168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168.
3. Никонов С.М. К «зелёной» экономике через «зелёные» финансы, биоэкономику и устойчивое развитие // Русская политология. 2017. № 3 (4). С. 12-15.
4. Медовый А.Е., Медовый В.В. Инструменты «зелёной» экономики в стратегиях развития рынка недвижимости России // Вестник экспертного совета. 2017. № 2 (9). С. 57-61.
5. Медведева Л.Н., Козенко К.Ю., Комарова О.П. Продвижение зеленых технологий как основа для стратегического развития городских и сельских поселений России // Фундаментальные исследования. 2015. № 11. С. 1009-1113. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=39550>.
6. Теличенко В.И. «Зелёные» технологии среды жизнедеятельности: понятия, термины, стандарты // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 4 (103). DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.364-372.
7. Stiglitz J.E., Sen A., Fitoussi J.-P. Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress. 2009. 291 p. URL: http://ec.europa.eu/environment/beyond_gdp/download/CMESP-final-report.pdf.
8. Стиглиц Д., Сен А., Фитусси Ж.-П. Неверно оценивая нашу жизнь: почему ВВП не имеет смысла? Доклад Комиссии по измерению эффективности экономики и социального прогресса. М.: Изд-во Института Гайдара, 2016. 216 с. URL: <http://institutions.com/download/books/2966-neverno-ocenivaya-nashu-zhizn-pochemu-vvp-ne-imeet-smysla.html>.
9. Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and User Guide. 2008. OECD PUBLICATIONS. FRANCE. 158 p. URL: <http://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>.
10. Country Market Brief: United States. URL: <https://www.usgbc.org/advocacy/country-market-brief>.
11. 2018 Global Green Economy Index (GGEI). URL: <https://dualcitizeninc.com/global-green-economy-index/>.
12. Generalova E., Generalov V., Kuznetsova A. Innovative solutions for building envelopes of bioclimatical high-rise buildings // Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 11-th International Scientific and Practical Conference. 2017. Pp. 103-108.

13. *Ахмедова Е.А., Жоголева А.В.* Кластерные стратегии устойчивого развития агломерации на примере Самарско-Тольяттинской агломерации // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 4 (29). С. 88–92. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.15.
14. *Вавилова Т.Я., Трифонкина Д.С.* Приоритеты устойчивого развития: инфраструктура для научных исследований в вузах // Научное обозрение. 2015. № 9. С. 299–303.
15. *Вавилова Т.Я., Каясова Д.С., Лукьянова Ю.А.* Архитектурно-типологические приоритеты устойчивого развития урбанизированной среды // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7, № 3 (28). С. 106–112. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.18.
16. *Лоншаков Д.А., Трибунцева К.М., Перькова М.В., Большаков А.Г.* Принципы устойчивого развития, рекреационной системы малых городов и субурбий Белгородской области // Безопасность жизнедеятельности в техносфере. 2014. С. 292–297.
17. *Птичкинова Г.А.* Устойчивое развитие городов на принципах биосферной совместимости с природным комплексом // Innovative Project. 2016. Т. 1. № 4 (4). С. 112–116. DOI: 10.17673/IP.2016.1.04.13.
18. *Стрикаускас Л.В., Копьёва А.В., Масловская О.В.* Выявление уровня комфортности придомовых территорий жилой застройки в г. Владивостоке // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2018. Т. 2. С. 311–317.
19. History of Safer Choice and Design for the Environment. URL: <https://www.epa.gov/saferchoice/history-safer-choice-and-design-environment>.
20. Environmental Design. An introduction for architects and engineers / Edited by Randall Thomas // Taylor & Francis. Oxfordshire. 2005. 292 p.
21. Environmental design. CIBSE Guide A. / The Chartered Institution of Building Services Engineers // The Yale Press Ltd. Norwood. London. 1999. 330 c.
22. Decision No 1600/2002/EC of the European Parliament and of the Council of 22 July 2002 laying down the Sixth Community Environment Action Programme. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2002/1600/oj>.
23. *Koen Steemers.* Integrated Building Design / Environmental Design of Urban Buildings. An Integrated Approach / Edited by Mat Santamouris // Earthscan. London. 2006. Pp. 310–318.
24. *Lähde E., Di Marino M.* Multidisciplinary collaboration and understanding of green infrastructure Results from the cities of Tampere, Vantaa and Jyväskylä (Finland) // Urban Forestry & Urban Greening. Vol. 40. April 2019. Pp. 63–72. DOI: 10.1016/j.ufug.2018.03.012.
25. Manifesto for a resource-efficient Europe. URL: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-989_en.htm.
26. *Vallero D.A., Brasier C.* Sustainable design: the science of sustainability and green engineering // Hoboken, New Jersey. John Wiley & Sons, Inc. 2008. 318 p.
27. Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products. 2012. 640 p. DOI: [org/10.1007/s11367-014-0734-1](https://doi.org/10.1007/s11367-014-0734-1).
28. *Носко П.А.* Тенденции развития экономики замкнутого цикла в Европейском союзе // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2019. № 1. Т. 6. URL: <https://resources.today/PDF/04ECOR119.pdf>. DOI: 10.15862/04ECOR119.
29. *Crawford R.* Life cycle assessment in the built environment. Spon Press, New York. 2011. 272 c. DOI: 10.4324/9780203868171.
30. *Goldstein B., Rasmussen F.N.* LCA of Buildings and the Built Environment // Life Cycle Assessment. Theory and Practice. 2018. Chapter 28. Pp. 695–720. DOI 10.1007/978-3-319-56475-3.
31. *Elgizawy S.M., El-Haggar S.M., Nassar K.* Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study // Procedia Engineering. Vol. 145. 2016. Pp. 1306–1313. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.04.168.
32. *McDonough W., Braungart M.* Cradle to cradle: remaking the way we make things. New York. North Point Press, 2002. 193 p.
33. *Toxopeus M.E., de Koeijer B.L.A., Meij A.G.G.H.* Cradle to Cradle: Effective Vision vs. Efficient Practice? // Procedia CIRP. 2015. № 29. С. 384–389. DOI: 10.1016/j.procir.2015.02.068.
34. *Bauer A.M., Brown A.* Quantitative assessment of appropriate technology // Procedia Engineering. 2014. № 78. Pp. 345–358. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.07.076.
35. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009. Establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125>.
36. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of buildings. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>.
37. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC, 2012. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027>.
38. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018, Amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&from=EN>.
39. Eco-innovation at the heart of European policies. URL: https://ec.europa.eu/environment/ecoap/indicators/index_en.
40. *Hart J., Adams K., Giesekam J., Tingley D.D., Pomponi F.* Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment // Procedia CIRP. 2019. № 80. Pp. 619–624. DOI: 10.1016/j.procir.2017.04.009.
41. *Kurdve M.* Digital assembly instruction system design with green lean perspective. Case study from building module industry // Procedia CIRP. 2017. № 72. Pp. 762–767. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.118.

42. Farahani A., Wallbaum H., Dalenbäck J.-O. The importance of life-cycle based planning in maintenance and energy renovation of multifamily buildings // *Sustainable Cities and Society*. Vol. 44. January 2019. Pp. 715–725. DOI: 10.1016/j.scs.2018.10.033.
43. Khodeir L.M., Othman R. Examining the interaction between lean and sustainability principles in the management process of AEC industry // *Ain Shams Engineering Journal*. 2018. № 9. Pp. 1627–1634. DOI: 10.1016/j.asej.2016.12.005.
44. Zhao Ya., Xiao G., Zhou Ji., Wu Ch. International comparison of the patterns in urban transition towards greening // *Procedia Engineering*. 2017. № 198. Pp. 770–780. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.128.
45. Liu Zh., Yu H., Tang Yu., Li Ch. A method to calculate energy station's output in community energy planning considering the attenuation and delay of pipe network // *Energy Procedia*. December 2017. Vol. 143. Pp. 216–222. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.674.
46. Zhang H., Xie Ch., Liu Sh., Yang H., Luo Ch., Wang X., Niu Ch. Experimental investigation on moisture transfer of carbon nanotube membranes // *Energy Procedia*. December 2017. Vol. 143. Pp. 245–250. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.678.
47. Zhang Q., Jiao Yu., Cao M., Jin L. Simulation analysis on summer conditions of ancient architecture of tower buildings based on CFD // *Energy Procedia*. December 2017. Vol. 143. Pp. 313–319. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.690.
48. Hu Ch., Gong C. Exploring the creation of ecological historic district through comparing and analyzing four typical revitalized historic districts // *Energy Procedia*. June 2017. Vol. 115. Pp. 308–320. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.028.
1. Bobylev S.N., Zaharov V.M. Green Economy and Modernization. Economic and Environmental Outlines of Sustainable Development. *Byulleten' Instituta ustojchivogo razvitiya Obshestvennoj palaty RF «Na puti k ustojchivomu razvitiyu Rossii»* [Bulletin of the Institute of Sustainable Development of the RF Civic Chamber «Towards a Sustainable Russia»]. 2012, issue 60, 90 p. Available at: http://www.ecopolicy.ru/upload/File/Bulletins/B_60.pdf. (In Russian)
2. Ilyichev V.A., Kolchunov V.I., Bakaeva N.V. Principles of area development strategic planning (the case of the free state of Bavaria). *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2019, vol. 14, no. 2 (125), pp. 158–168. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.2.158-168. (In Russian)
3. Nikonorov S.M. Towards a green economy through green financing, bioeconomy and sustainable development. *Russkaya politologiya* [Russian Political Science]. 2017, no. 3 (4), pp. 12–15. (In Russian)
4. Medovy A.E., Medovy V.V. [Tools of “green” economy in strategies of development of the real estate market of Russia. *Vestnik ekspertnogo soveta*. 2017, no. 2 (9), pp. 57–61. (In Russian)
5. Medvedeva L.N., Kozenko K.Y., Komarova O.P. Promoting green technologies as a basis for the strategic development Russian urban and rural settlements. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research]. 2015, no. 11-5, pp. 1009–1113. (In Russian)
6. Telichenko V.I. Green technologies of living environment: concepts, terms, standards. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 4 (103). DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.364-372. (In Russian)
7. Stiglitz J.E., Sen A., Fitoussi J.-P. Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress. 2009, 291 p. Available at: http://ec.europa.eu/environment/beyond_gdp/download/CMEPSP-final-report.pdf.
8. Stiglitz D., Sen A., Fitoussi J.-P. Mismeasuring Our Lives: Why GDP Doesn't Add Up. Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress]. *Izdatel'stvo instituta Gajdara* [Publishing of Gaidar Institute]. 2016, 216 p. Available at: <http://institutions.com/download/books/2966-neverno-ocenivaya-nashu-zhizn-pochemu-vvp-ne-imeet-smysla.html>. (In Russian)
9. Handbook on Constructing Composite Indicators. Methodology and User Guide. 2008. OECD PUBLICATIONS. FRANCE. 158 p. Available at: <http://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>.
10. Country Market Brief: United States. Available at: <https://www.usgbc.org/advocacy/country-market-brief>.
11. 2018 Global Green Economy Index (GGEI). Available at: <https://dualcitizeninc.com/global-green-economy-index/>.
12. Generalova E., Generalov V., Kuznetsova A. Innovative solutions for building envelopes of bioclimatical high-rise buildings // *Environment. Technology. Resources*. Proceedings of the 11-th International Scientific and Practical Conference. 2017, pp. 103–108.
13. Achmedova E.A., Zhogoleva A.V. The cluster strategy for sustainable development of the agglomeration on the example Samara-Togliatti agglomeration. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture]. 2017, vol. 7, no. 4 (29), pp. 88–92. (In Russian)
14. Vavilova T.Ya., Trifonkina D.S. Stable development priorities: infrastructure for scientific research in universities. *Nauchnoe obozrenie* [Science Review]. 2015, no. 9, pp. 299–303. (In Russian)
15. Vavilova T.Ya., Kayasova D.S., Lukyanova Yu.A. Architectural-typological priorities for sustainable development of the urban environment. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture]. 2017, vol. 7, no. 3 (28), pp. 106–112. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.03.18 (In Russian)
16. Lonshakov D.A., Tribuntceva K.M., Perkova M.V., Bol'shakov A.G. Principles for sustainable development of the recreational system of small cities

and suburbs in the Belgorod region. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti v tekhnosfere* [Life Safety in the Technosphere]. 2014, pp. 292–297. (In Russian)

17. Ptichnikova G.A. Sustainable development of cities on the principles of the biosphere compatibility. *Innovative Project* [Innovative Project]. 2016, vol. 1, issue 4 (4), pp. 112–116. DOI: 10.17673/IP.2016.1.04.13. (In Russian)

18. Strikauskas L.V., Kopyeva A.V., Maslovskaya O.V. Direction of the level of comfort the primean territories of residential buildings in various type in Vladivostok. *Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii FAD TOGU* [New Ideas of New Century – 2018]. 2018, vol. 2, pp. 311–317. (In Russian)

19. History of Safer Choice and Design for the Environment. Available at: <https://www.epa.gov/saferchoice/history-safer-choice-and-design-environment>.

20. Environmental Design. An introduction for architects and engineers. Edited by Randall Thomas. Taylor & Francis. Oxfordshire. 2005, 292 p.

21. Environmental design. CIBSE Guide A. / The Chartered Institution of Building Services Engineers. The Yale Press Ltd. Norwood. London. 1999, 330 p.

22. Decision No 1600/2002/EC of the European Parliament and of the Council of 22 July 2002 laying down the Sixth Community Environment Action Programme. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dec/2002/1600/oj>.

23. Koen Steemers. Integrated Building Design. Environmental Design of Urban Buildings. An Integrated Approach. Edited by Mat Santamouris. Earthscan. London. 2006, pp. 310–318.

24. Lähde E., Di Marino M. Multidisciplinary collaboration and understanding of green infrastructure Results from the cities of Tampere, Vantaa and Jyväskylä (Finland). *Urban Forestry & Urban Greening*. 2019, vol. 40, pp. 63–72. DOI: 10.1016/j.ufug.2018.03.012.

25. Manifesto for a resource-efficient Europe. Available at: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-989_en.htm.

26. Vallero D.A., Brasier C. Sustainable design: the science of sustainability and green engineering // Hoboken, New Jersey. John Wiley & Sons, Inc. 2008. 318 p.

27. Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products. 2012, 640 p. DOI: [org/10.1007/s11367-014-0734-1](https://doi.org/10.1007/s11367-014-0734-1).

28. Nosko P.A. Trends in the circular economy development in the European Union. *Internet-zhurnal «Othody i resursy»* [Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling]. 2019, no. 1, vol. 6. URL: <https://resources.today/PDF/04ECOR119.pdf>. DOI: 10.15862/04ECOR119. (In Russian)

29. Crawford R. Life cycle assessment in the built environment. Spon Press, New York. 2011, 272 p. DOI: 10.4324/9780203868171.

30. Goldstein B., Rasmussen F.N. LCA of Buildings and the Built Environment. Life Cycle Assessment. Theory and Practice. 2018, chapter 28, pp. 695–720. DOI 10.1007/978-3-319-56475-3.

31. Elgizawy S.M., El-Haggar S.M., Nassar K. Slum Development Using Zero Waste Concepts: Construction Waste Case Study. *Procedia Engineering*. 2016, vol. 145, pp. 1306–1313. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.04.168.

32. McDonough W., Braungart M. Cradle to cradle: remaking the way we make things. New York. North Point Press, 2002, 193 p.

33. Toxopeus M.E., de Koeijer B.L.A., Meij A.G.G.H. Cradle to Cradle: Effective Vision vs. Efficient Practice? *Procedia CIRP*. 2015, no. 29, pp. 384–389. DOI: 10.1016/j.procir.2015.02.068.

34. Bauer A. M., Brown A. Quantitative assessment of appropriate technology. *Procedia Engineering*. 2014, no. 78, pp. 345–358. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.07.076.

35. Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009. Establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0125>.

36. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of buildings. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>.

37. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC, 2012. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027>.

38. Directive (EU) 2018/2002 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018, Amending Directive 2012/27/EU on energy efficiency. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2002&from=EN>.

39. Eco-innovation at the heart of European policies. Available at: https://ec.europa.eu/environment/ecoap/indicators/index_en.

40. Hart J., Adams K., Giesekam J., Tingley D.D., Pomponi F. Barriers and drivers in a circular economy: the case of the built environment. *Procedia CIRP*. 2019, no. 80, pp. 619–624. DOI:10.1016/j.procir.2017.04.009.

41. Kurdve M. Digital assembly instruction system design with green lean perspective. Case study from building module industry. *Procedia CIRP*. 2017, no. 72, pp.762–767. DOI: 10.1016/j.procir.2018.03.118.

42. Farahani A., Wallbaum H., Dalenbäck J.-O. The importance of life-cycle based planning in maintenance and energy renovation of multifamily buildings. *Sustainable Cities and Society*. 2019, vol. 44, pp. 715–725. DOI: 10.1016/j.scs.2018.10.033.

43. Khodeir L.M., Othman R. Examining the interaction between lean and sustainability principles in the management process of AEC industry. *Ain Shams Engineering Journal*. 2018, no.9, pp. 1627–1634. DOI: 10.1016/j.asej.2016.12.005.

44. Zhao Y., Xiao G., Zhou J., Wu C. International comparison of the patterns in urban transition towards

greening. *Procedia Engineering*. 2017, no. 198, pp. 770–780. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.07.128.

45. Liu Z., Yu H., Tang Y., Li C. A method to calculate energy station's output in community energy planning considering the attenuation and delay of pipe network. *Energy Procedia*. 2017, vol. 143, pp. 216–222. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.674.

46. Zhang H., Xie C., Liu S., Yang H., Niu C. Experimental investigation on moisture transfer of carbon nanotube membranes. *Energy Procedia*. 2017, vol. 143, pp. 245–250. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.678.

47. Zhang Q., Jiao Y., Cao M., Jin L. Simulation analysis on summer conditions of ancient architecture of tower buildings based on CFD. *Energy Procedia*. 2017, vol. 143, pp. 313–319. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.12.690.

48. Hu Ch., Gong C. Exploring the creation of ecological historic district through comparing and analyzing four typical revitalized historic districts. *Energy Procedia*. 2017, vol. 115, pp. 308–320. DOI: 10.1016/j.egypro.2017.05.028.

Об авторе:

ВАВИЛОВА Татьяна Яновна

кандидат архитектуры, доцент, профессор кафедры архитектуры жилых и общественных зданий Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 339-14-42
E-mail: vatatyan63@yandex.ru

VAVILOVA Tatiana Ya.

PhD in Architecture, Professor of the Architecture of Residential and Public Buildings Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 339-14-42
E-mail: vatatyan63@yandex.ru

Для цитирования: Вавилова Т.Я. Обзор современных зарубежных концепций экологизации среды жизнедеятельности // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 113–125. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.15.
For citation: Vavilova T.Ya. Review of Modern Foreign Concepts of Environmentalization of the Living Environment // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 113–125. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.15.

Уважаемые читатели!

Центр «Энергосбережение в строительстве» приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

- проведение теплотехнических обследований
- тепловизионный контроль объектов строительства
- экспериментальное исследование характеристик строительных материалов
- проектирование и обследование систем водоснабжения и водоотведения
- проектирование и обследование систем теплогазоснабжения и вентиляции
- выполнение работ по акустике и звукоизоляции зданий и сооружений
- автоматизация инженерных систем зданий и сооружений
- обеспечение светового комфорта застройки
- проведение мероприятий по пропаганде и внедрению энергоэффективных технологий в Самарской области
- изучение, обобщение и распространение передового опыта в области энергосбережения
- формирование общественного сознания в вопросах энергосбережения
- создание современной материально-технической базы для выполнения научно-проектной документации
- координация разработки и продвижения новых образовательных программ в области энергосбережения, проектирования и строительства

Руководитель *Вытчиков Юрий Серафимович*

Контакты:

443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, каб. 481
тел. (846) 339-14-76, 339-14-55
E-mail: git.2008@mail.ru

Н. Н. ВОЛОГДИНА
Д. Е. ЦАЦЫНА

РЕКОНСТРУКЦИЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ ТЕРРИТОРИИ, УТРАТИВШЕЙ ГРАДООБРАЗУЮЩУЮ ФУНКЦИЮ

**RECONSTRUCTION AND RESTORATION OF THE CULTURAL
AND HISTORICAL BASIS OF THE TERRITORY WITH A LOST
CROP-FUNCTIONING FUNCTION**

На основе исследования территории, утратившей градообразующую функцию, разработаны принципы и модели реконструкции объекта, обладающего уникальной культурно-исторической основой и структурой, встроенной в градостроительный каркас города. Обращается внимание на отсутствие политики и адекватных программ реновации в отношении промышленных территорий, находящихся в девастированном состоянии. Результат хаотичности освоения территории случайными функциями, затянувшегося на десятилетия, отражает состояние застоя в решении глобальных вопросов градостроительного планирования и регулирования. Раскрыта уникальность объекта реконструкции как носителя культурных смыслов и важного транспортно-коммуникационного узла. Это положение приводит авторов к выводу о необходимости рассматривать действия по сохранению и использованию объекта как императив.

Ключевые слова: градостроительная структура, принцип проектирования, реконструкция, реновация, городская среда, паллиатив, издательский комплекс, полиграфия, императив, сохранение

Реконструкция промышленных территорий, утративших основную градоформирующую функцию, в настоящее время является проблемой для крупнейших городов. В результате смены политических и экономических предпочтений, отсутствия градостроительных решений и адекватных программ огромные участки приобрели неопределенный статус и длительное время находятся в девастированном состоянии. Это положение приводит к нарушению целостности градостроительной структуры. Случайное, временное использование территорий не способствует важнейшим социальным процессам в городе [1–4]. Ситуация усложняется в тех случаях, когда участок выполняет роль транспортно-коммуникационного узла и является структуроформирующей

Based on the study of the area that has lost the city-forming function, the principles and models for the reconstruction of the object, which has a unique cultural and historical basis and structure built into the town-planning framework of the city, have been developed. Attention is drawn to the lack of policies and adequate renovation programs for industrial areas that are in a devastating state. The result of randomness of the development of the territory by random functions, which lasted for decades, reflects the state of stagnation in solving global issues of urban planning and regulation. The uniqueness of the object of reconstruction as a carrier of cultural meanings and an important transport and communication hub is revealed. This provision leads the authors to conclude that it is necessary to consider actions to preserve and use sign architecture as an imperative.

Keywords: urban structure, design principle, reconstruction, renovation, urban environment, palliative, publishing complex, printing, imperative, conservation

частью градостроительного каркаса. Эти территории являются носителями историко-культурных смыслов, идей, ценностей [1, 2, 4–6].

Одна из таких уникальных ситуаций сложилась на участке в границах улиц Авроры, Съездовской, пр. Карла Маркса и 4-го проезда, где находится один из значительных объектов истории и культуры – Самарский Дом печати (рис. 1–4).

Огромный издательско-полиграфический комплекс являлся собственностью областного комитета КПСС и занимался выпуском крупного федерального и регионального заказа. В середине 90-х гг. прошлого века предприятие было приватизировано, после чего большие задолженности собственников привели типографию к ситуации на грани банкрот-

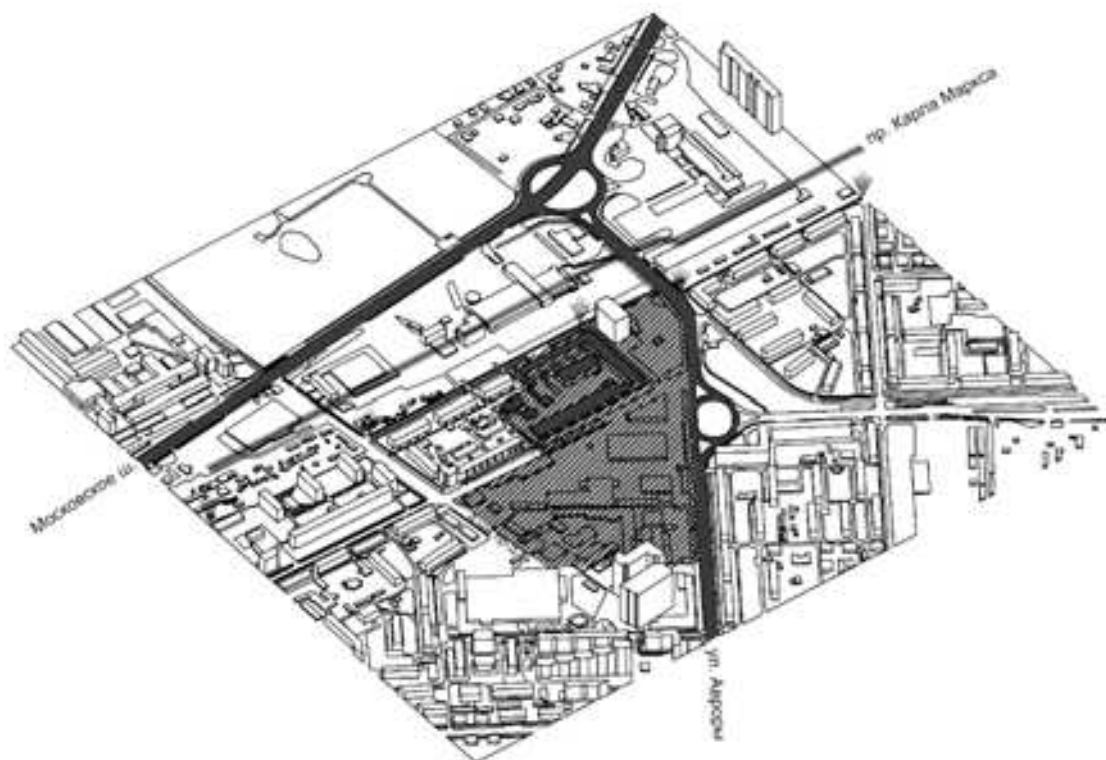


Рис. 1. Территория в границах улиц Авроры, Съездовской, пр. Карла Маркса и 4-го проезда



Рис. 2. Самарский (Куйбышевский) Дом печати в 1970–1980-е гг.



Рис. 3. Интерьеры Дома печати



Рис. 4. Декоративные элементы фасадов Дома печати

ства. Попытка руководства сдавать помещения арендаторам закончилась разорением предприятия. Последующие многочисленные продажи объекта повлекли за собой долгие судебные разбирательства, которые окончательно привели комплекс к запустению. Осенью 2015 г. во время пожара была полностью утрачена крыша главного корпуса. Сегодня здание пустует и подвергается разрушению, а ценная территория хаотично заполняется объектами

с функциями, не являющимися центроформирующими [7–9] (рис. 5, 6).

Участок Дома печати находится в той части города, где наблюдается повышенный уровень транспортной нагрузки. Улица Авроры и Московское шоссе являются городскими магистралями, а по улицам Гаражной и 4-му проезду проходят трамвайные пути. Ситуация усложняется близким размещением Центрального автовокзала, что само по себе многократно



Рис. 5. Панорама Дома печати в 60-х гг. XX в.

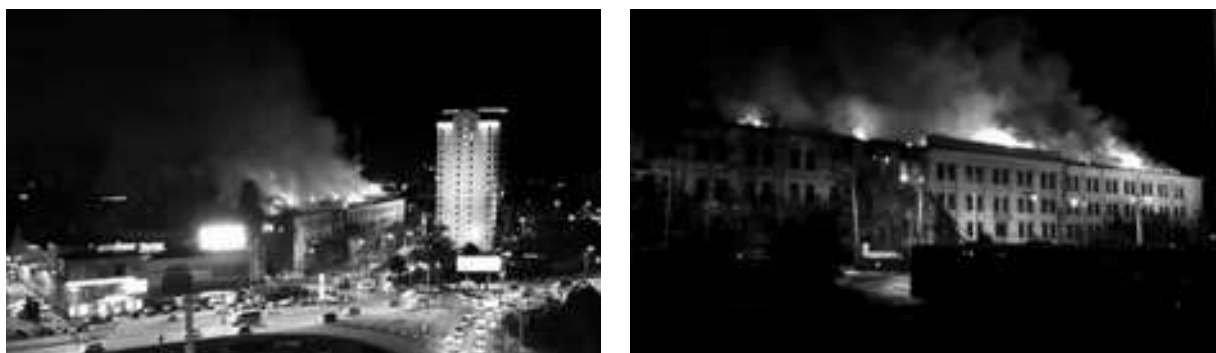


Рис. 6. Пожар в Доме печати 2015 г.

увеличивает транспортную нагрузку на развязку, решение которой находится в состоянии паллиатива, и препятствует формированию одного из основных направлений развития города. Относительно свободный транспортный трафик проходит по проспекту Карла Маркса, который является одной из проектируемых магистралей города. Однако за последние десятилетия проблема создания современной инфраструктуры крупнейшего города остается нерешенной [10]. В результате проведенного анализа разработаны аналитические схемы, дающие представление о масштабах предстоящих реконструктивных мероприятий (рис. 7–11).

В исследовании были разработаны принципы и модели реконструкции, которые могут быть использованы при проектировании.

1. Взаимодействие с окружающей застройкой. Функциональное и композиционное взаимодействие с окружающей застройкой. Создание новых общих пространств, зон или объектов, связанных с соседними участками и объемами. Отказ от зонирования и жестких границ (рис. 12).

2. Структурирование и иерархия. Разделение функций и их иерархия в границах территории. Акцентирование доминирующей функции, выраженное в композиционном и формальном решении. Взаимодействие соподчиненных пространств (рис. 13).

3. Приемственность. Контекстуальный подход, использование сложившихся градостроительных и архитектурных приемов, методов проектирования. Использование основных параметров, пропорций, материалов, композиционной структуры, масштабов, конструктивных элементов и т. д. Освоение всех полезных ресурсов и средств в новом проектировании (рис. 14).

4. Сохранение. Сохранение и использование сложившейся планировочной структуры территории, визуальной составляющей, застройки с полной или частичной заменой функций и модернизацией инженерно-коммуникационной инфраструктуры. Отказ от радикальных преобразований (рис. 15).

5. Компактность. Рациональное использование территории, отсутствие больших разрывов между объектами, которые не поддерживаются композиционной и функциональной программой (рис. 16).

6. Трансформация (метаморфоза). Создание новой, уникальной архитектурно-планировочной структуры, контрастной по отношению к сложившейся. Внедрение новых форм, функций, конструктивных решений. Проектирование «вопреки» существующей ситуации (рис. 17).



Рис. 7. Схема озеленения (рис. авторов): 1 – городское озеленение; 2 – Ботанический сад

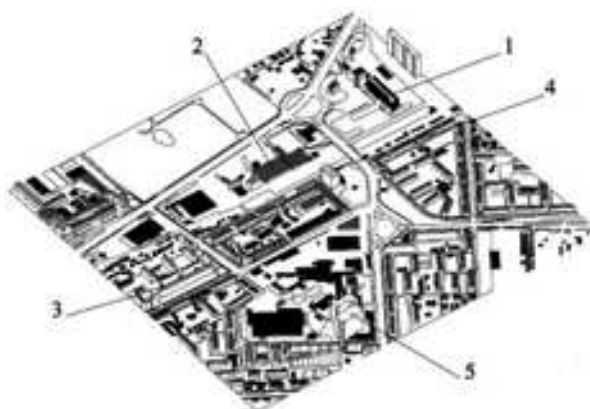


Рис. 8. Схема этажности застройки (рис. авторов): 1 – 1-2 этажа; 2 – 3-5 этажей; 3 – 6-10 этажей; 4 – 11-16 этажей; 5 – 16 и более этажей



Рис. 9. Функциональная схема (рис. авторов): 1 – реконструируемый объект; 2 – жилье; 3 – торговля / офисы; 4 – образование / администрация; 5 – транспорт

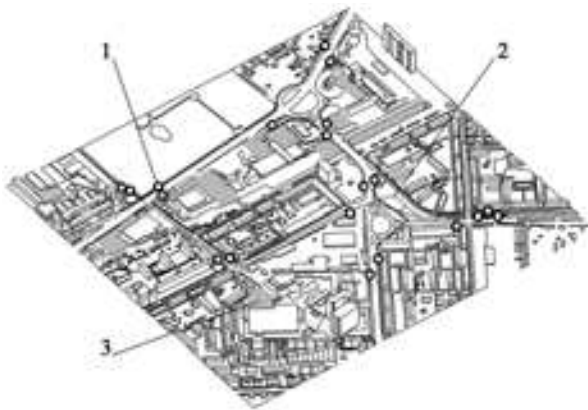


Рис. 10. Транспортная схема (рис. авторов):
1 – остановки общественного транспорта;
2 – трамвайные пути; 3 – парковки



Рис. 11. Схема опорного плана (рис. авторов):
1 – реконструируемый объект; 2 – снос

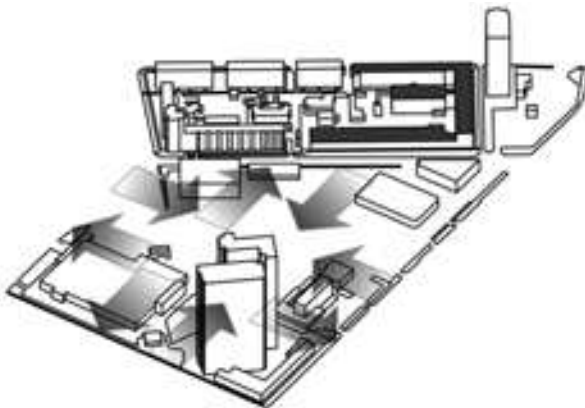


Рис. 12. Схема взаимодействия с окружающей застройкой (рис. авторов)

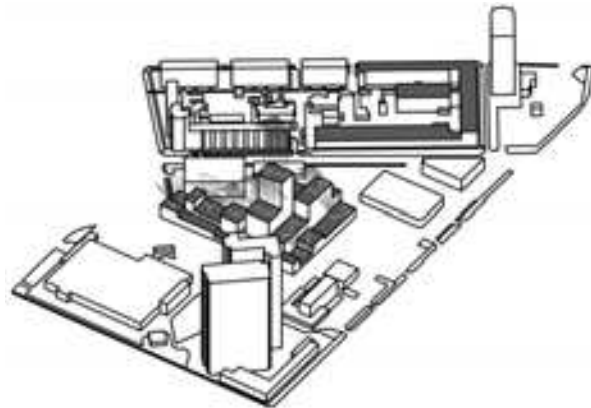


Рис. 13. Схема структурирования и иерархии (рис. авторов)

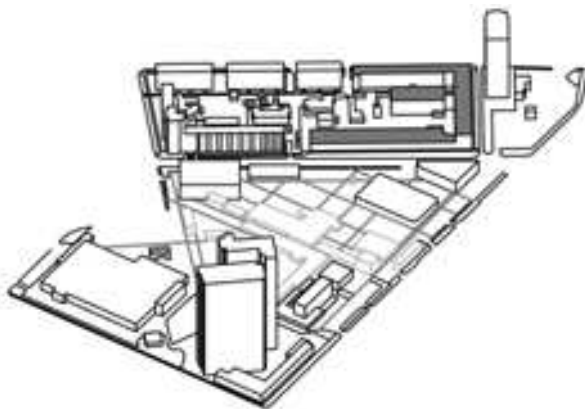


Рис. 14. Схема преемственности (рис. авторов)

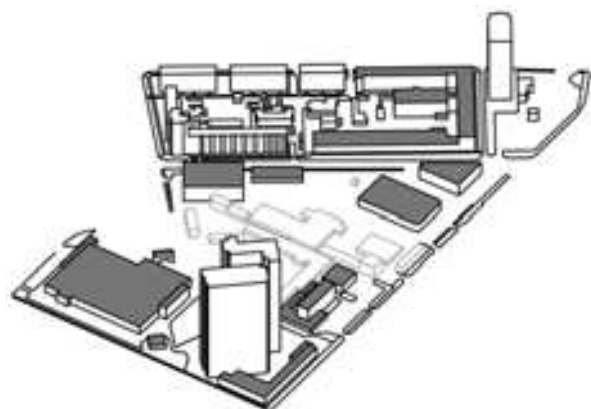


Рис. 15. Схема сохранения (рис. авторов)

7. Многоуровневость. Использование в объемно-пространственном решении комплекса формально и композиционно выстроенных уровней и связей между ними. Пространство и форма решаются с помощью объединения этажей в самостоятельные блоки и разделения их по вертикали, а также с помощью «мостов», переходов, консолей (рис. 18).

Проектируя в условиях нарушенной среды, необходимо понять духовный источник места, его внутреннюю жизнь и величественную историю [11]. Мы имеем целый пласт промышленной архитектуры советского периода, до конца не изученной. Сооружения, претендующие на роль символов, монументов эпохи, оказались брошенными и ненужными в период кризиса экономики, разорванности производственных и социальных связей и отношений. С утратой этих зон мы теряем и часть своей истории.

В исследовании проведен градостроительный анализ проблемной территории, который позволил разработать принципы реконструкции объекта и модели, адекватно иллюстрирующие их (рис. 19). Теоретические разработки позволили понять структуру проектируемого комплекса, его функциональное и архитектурно-пространственное содержание.

Выводы. 1. Отсутствие градостроительной политики и адекватной программы использования девастированных территорий способствует потере целостности градостроительной структуры.

2. Объект реконструкции занимает уникальное положение. Территория является транспортно-коммуникационным узлом, встроена в структуру градостроительного каркаса и в этом качестве участвует в формировании одного из направлений развития города.

3. Территория является носителем историко-культурных смыслов. В настоящее время тезис о ценности среды противоречит нейтрально-объективистской и рационалистической модели, которая господствует в теории и практике. Но было бы неправильно отождествлять богатство среды только с «объективной красотой», это значило бы обеднить и упростить непрерывно изменяющуюся реальность. Для проектирования важно понять духовный источник места, его внутреннюю жизнь и величественную историю.

4. Сооружения, претендующие на роль символов, монументов эпохи, оказались брошенными и ненужными в период кризиса экономики, разорванности производственных и социальных связей и отношений. Задача состоит в том, чтобы исследовать свойства этой среды прежде, чем она будет уничтожена,

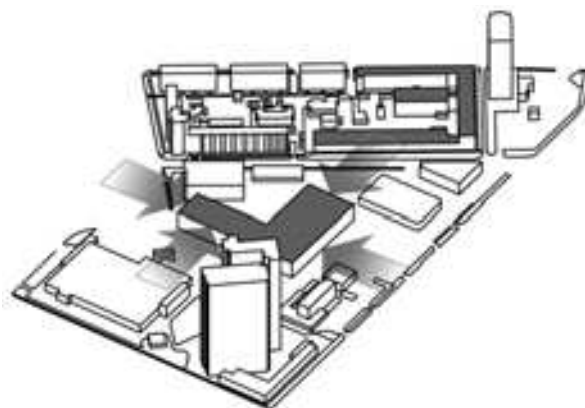


Рис. 16. Схема компактности (рис. авторов)

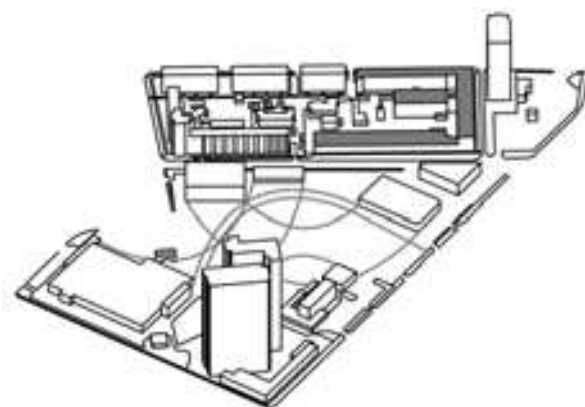


Рис. 17. Схема трансформации (метаморфозы) (рис. авторов)

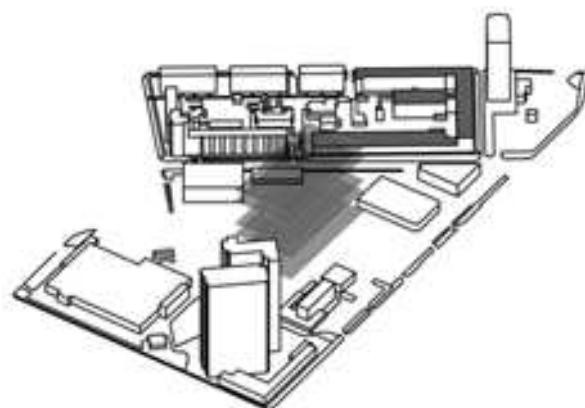


Рис. 18. Схема многоуровневости (рис. авторов)

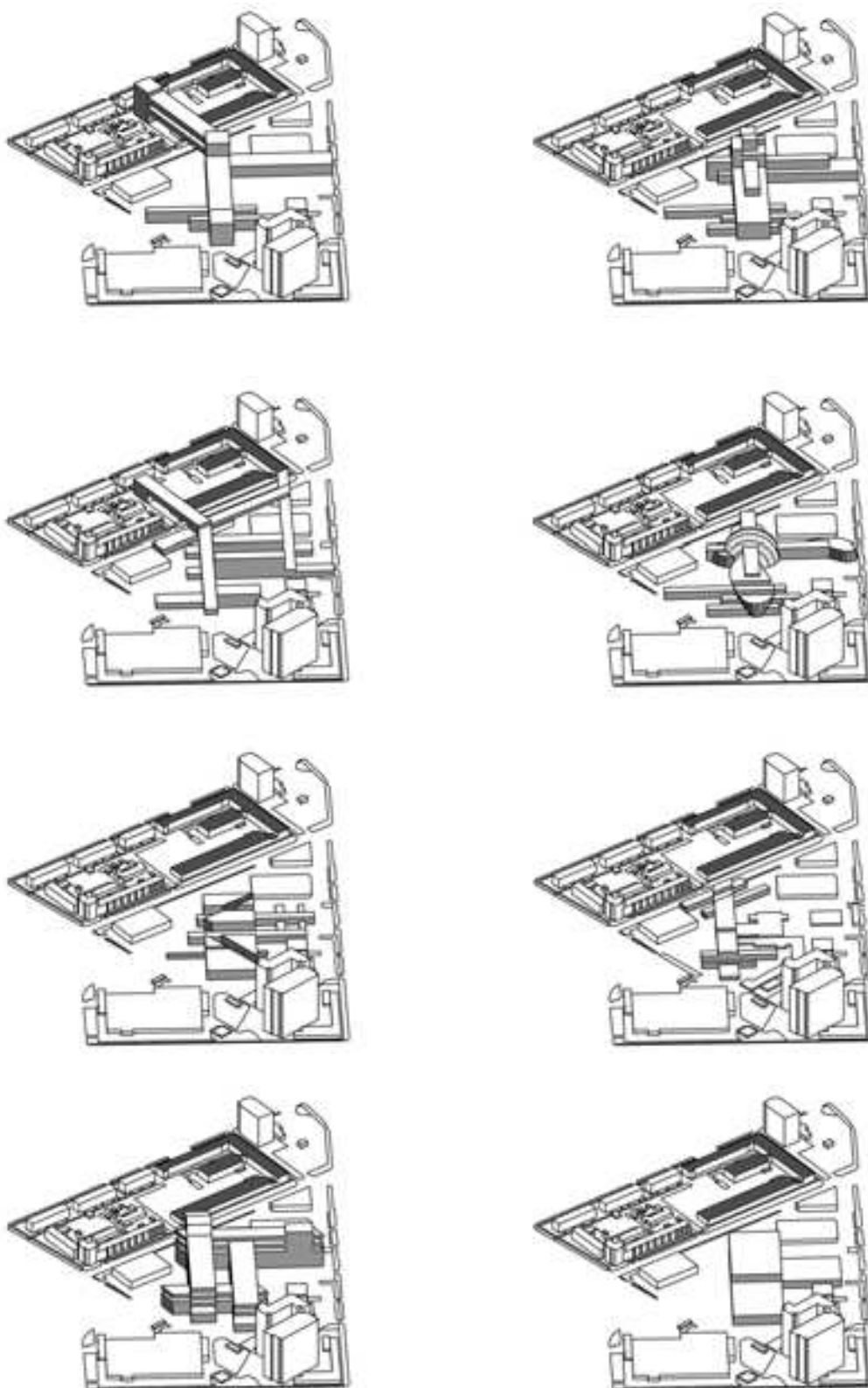


Рис. 19. Модели реконструкции, составленные на основе разработанных принципов (рис. авторов)

с тем, чтобы ее позитивные качества перенести в новую архитектуру.

5. В формате градостроительного анализа территории и объектов, представляющих особую ценность, разработаны принципы реконструкции, которые позволяют определить границы поиска конкретных решений, а также модели, показывающие возможные преобразования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яргина З.Н. Градостроительный анализ. М.: Стройиздат, 1984. 245с., ил.

2. Алаев Э. Социально-экономическая география: понятийно-терминологический словарь. М.: Мысль, 1983. 350 с.

3. Холл П. Городское и региональное планирование / пер. с англ. В. А. Новикова; под ред. Г. В. Ильинского. М.: Стройиздат, 1993. 246 с.

4. Смоляр И.М. Принципы градостроительного проектирования и предложения по разработке генеральных планов городов в новых социально-экономических условиях. М.: Стройиздат, 1995. 41 с.

5. Вологодина Н.Н., Сонникова И.Д. Проблемы архитектурно-градостроительной реконструкции, восстановления и адаптации среды промышленных территорий в малых городах России (на примере г. Вольска) // Архитектура и дизайн: сборник статей / под ред. М.И. Балзанникова, К.С. Галицкого и Е.А. Ахмедовой; СГАСУ. Самара, 2015. 407 с.

6. Гутнов А.Э. Эволюция градостроительства. М.: Стройиздат, 1984. 265 с., ил.

7. Иконников А.В. Архитектура XX века. Утопии и реальность. Т. II / под ред. А.Д. Кудрявцевой. М.: Прогресс-Традиция, 2002. 672 с.

8. Дженкс Ч. Язык архитектуры постмодернизма / пер. с англ. А. В. Рябушина, М. В. Уваровой; под ред. А. В. Рябушина, В. Л. Хайта. М.: Стройиздат, 1985. 136 с. (Пер. изд. The Language of Post-Modern Architecture / Charles A. Jencks. Rizzoli).

9. Дрожжин Р.А. Реновация промышленных территорий [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/renovatsiya-promyshlennyh-territoriy> (дата обращения: 10.12. 2018).

10. Линч К. Образ города / пер. с англ. В.Л. Глазычева; сост. А.В. Иконников; под ред. А.В. Иконникова. М.: Стройиздат, 1982. 328 с.,ил. (Пер.изд. The Image of the City / Kevin Lynch/ The M.I.T. Press).

11. Вологодина Н.Н., Головин А.Г. Объекты и цели. К новым парадигмам // А.С.С. Архитектура и строительство Самарской области. 1998. № 5. С. 68–78.

raphy. Conceptual terminology dictionary]. М., Mysl', 1983. 350 p.

3. Hall P. *Gorodskoe i regional'noe planirovanie* [Urban and regional planning]. Translation from English V. A. Novikova; Ed. G. V. Ilinsky. М., Stroizdat, 1993. 246 p.

4. Smolyar I.M. *Principy gradostroitel'nogo proektirovaniya i predlozheniya po razrabotke general'nyh planov gorodov v novykh social'no-jekonomicheskikh uslovijah* [Principles of urban planning and proposals for the development of master plans for cities in the new socio-economic conditions]. М., Stroizdat, 1995.

5. Vologdina N.N., Sonnikova I.D. Problems of architectural and town-planning reconstruction, restoration and adaptation of the environment of industrial territories in small cities of Russia (on the example of the city of Volsk). *Arhitektura i dizajn: sbornik statej / pod red. M.I. Bal'zannikova, K.S. Galickogo i E.A. Ahmedovoj* [Architecture and design. Collection of articles edited by M.I. Balzannikov, K.S. Galitskov and E.A. Ahmedova]. Samara, SGASU, 2015. (in Russian)

6. Gutnov A.E. *Jevolucija gradostroitel'stva* [The evolution of urban planning]. М., Stroizdat, 1984. 265 p.

7. Ikonnikov A.V. *Arhitektura XX veka. Utopii i real'nost'* [The architecture of the twentieth century. Utopia and reality. Edition in two volumes. Volume II / edited by A.D. Kudryavtseva]. М., Progress-Tradition, 2002. 672 p.

8. Jenks H. *Jazyk arhitektury postmodernizma* [The Language of Postmodern Architecture]. М., Stroizdat, 1981.

9. Drozhin R.A. *Renovacija promyshlennyh territorij* [Renovation of industrial areas]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/renovatsiya-promyshlennyh-territoriy> (accessed 10.12. 2018).

10. Lynch K. *Obraz goroda* [The image of the city / Trans. from English V.L. Glazycheva; Comp. A.V. Ikonnikov; edited by A.V. Ikonnikova]. М., Stroyizdat, 1982. 328 p.

11. Vologdina N.N., Golovin A.G. Objects and goals. To new paradigms. *A.S.S. Arhitektura i stroitel'stvo Samarskoj oblasti* [Journal "A.S.S." Architecture and construction of the Samara region], 1998, no. 5, 68 p. (in Russian).

REFERENCES

1. Yargina Z.N. *Gradostroitel'nyj analiz* [Urban analysis]. М., Stroizdat, 1984. 245 p.

2. Alaev E. *Social'no-jekonomicheskaja geografija: ponjatijno-terminologicheskij slovar'* [Socio-economic geog-

Об авторах:

ВОЛОГДИНА Наталия Николаевна

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

VOLOGDINA Natalia N.

Associate Professor of Architecture
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 194
E-mail: vologdinanatalya@yandex.ru

ЦАЦЫНА Диана Евгеньевна

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

TSATSYNA Diana E.

Student of the Architecture
Post-graduate Student of the Theory of Structures and
Building Constructions
Samara State Technical University
Academy of Civil Engineering and Architecture
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya, 194
E-mail: diana.jamanova@rambler.ru

Для цитирования: *Вологодина Н.Н., Цацына Д.Е.* Реконструкция и восстановление культурно-исторической основы территории, утратившей градообразующую функцию // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 126–134. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.16.

For citation: *Vologdina N.M., Tsatsyna D.E.* Reconstruction and restoration of the cultural and historical basis of the territory with a lost cropfunctioning function // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 126–134. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.16.

Уважаемые читатели!

Приглашаем Вас принять участие в Первом Международном форуме архитектурно-строительных инноваций «Города Будущего», который состоится 19 – 20 ноября 2019 года.

Основные научные направления форума:

- умные города и проблемы региональной идентичности
- новые типологии архитектурно-строительных объектов в городах будущего
- стратегии развития городской среды
- эффективные практики сохранения наследия и регенерации исторической среды городов
- совершенствование систем водоснабжения и водоотведения по очистке природных и сточных вод
- теория расчета строительных конструкций
- строительные материалы для новых городов
- моделирование и механика строительных конструкций

Организатор АСА СамГТУ

Контакты:

тел. (846)339-14-38, 339-14-15

E-mail: dir_asa@samgtu.ru

И. В. ЖДАНОВА
А. А. КУЗНЕЦОВА
Н. А. КАЛИНКИНА

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ НЕБОСКРЁБОВ

MODERN TRENDS OF AIR PURIFICATION USING SKYSCRAPERS

В статье освещается проблема загрязнения воздуха в больших городах. Выявлены источники загрязнения и наиболее распространённые загрязняющие вещества. Приведены примеры лидирующих стран с самым грязным воздухом. Рассмотрены расчётные показатели по рискам заболеваний и смертности. Выявлены основные факторы, вызывающие загрязнение воздуха. Предложены пути решения данной проблемы с помощью современных технологий. Проанализированы современные объекты, в которых применены инновационные приёмы борьбы с загрязнением воздуха, и их внедрение в реальное и концептуальное проектирование. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода к данной теме, объединяя усилия всех стран.

The article highlights the problem of air pollution in large cities. Sources of pollution and the most common pollutants have been identified. Examples of leading countries with the dirtiest air are given. The estimated indicators for the risks of disease and mortality are considered. The main factors causing air pollution have been identified. Ways to solve this problem using modern technologies are proposed. Analyzed are modern facilities in which innovative methods of combating air pollution are applied, and their implementation in real and conceptual design. The conclusion is drawn on the need for an integrated approach to this topic, uniting the efforts of all countries.

Ключевые слова: загрязнение воздуха, качество жилой среды, инновационные технологии, небоскрёб

Keywords: air pollution, residential environment quality, innovative technologies, skyscraper

В последнее время всё больше обостряется проблема загрязнения воздуха в больших городах. Содержание вредных веществ в атмосфере с каждым годом возрастает. Совокупный объём выбросов загрязняющих атмосферу веществ в 2017 г. составил 32,1 млн. т, из которых 17,5 млн. т выброшено стационарными источниками (непередвижными технологическими агрегатами) и 14,6 млн.

т – передвижными источниками (автомобильным и железнодорожным транспортом). По данным Росстата за 2000–2017 гг., наибольший спад объёма загрязнений от передвижных источников наблюдался в 2008 г. Основными источниками загрязнения воздуха являются оксид углерода (CO), диоксид серы (SO₂), оксиды азота (в пересчёте на NO₂) и некоторые другие вещества (табл. 1) [1, 2].

Таблица 1

Выбросы наиболее распространенных загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников, тыс. т [1]

Показатель	2000 г.	2010 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Всего	18819,8	19115,6	17451,9	17295,7	17349,3
В том числе:					
твердые вещества	2972,2	2381,2	1922,2	1820,4	1723,9
газообразные и жидкие вещества	15847,6	16734,4	15529,7	15475,3	15625,4
Из них:					
диоксид серы (SO ₂)	5407,1	4385,3	4036,3	4099,4	4011,4
оксиды азота (в пересчёте на NO ₂)	1698,4	1855,2	1805,5	1787,4	1830,1
оксид углерода (CO)	4997,9	5565,1	4938,4	4799,6	4907,1
углеводороды (без летучих органических соединений)	2685,4	3135,9	3251,0	3323,0	3406,1
летучие органические соединения	850,4	1605,3	1340,0	1294,5	1304,6

Как видно из приведённых данных, большая доля выбросов приходится на оксид углерода. По данным ВР (BP Statistical Review of World Energy) в межстрановом разрезе, совокупный объём выбросов углекислого газа в мире в 2017 г. достиг 33,4 млрд. т, это на 1,3 % выше уровня 2016 г. В 2017 г. Китай лидировал по объёму выбросов углекислого газа в год (10357 млн. т), на втором месте США (5414 млн. т), далее идут Индия (2274 млн. т), Россия (1617 млн. т), Япония (1237 млн. т), Германия (798 млн. т), Иран (648 млн. т), Саудовская Аравия (601 млн. т), Южная Корея (592 млн. т) и Канада (557 млн. т) [3].

Загрязняющие атмосферный воздух вещества сильно влияют на здоровье человека, при этом растут риски различных заболеваний. Уменьшая уровень загрязнения воздуха, страны могут уменьшить показатели: инсульта, сердечно-сосудистых заболеваний, рака лёгких, а также хронических и острых респираторных заболеваний, включая астму. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) каждый год около 7 млн. человек умирают в результате воздействия загрязнённого воздуха внутри и снаружи помещений (21 % – вызваны пневмонией, 20 % – инсультом, 34 % – ишемической болезнью сердца, 19 % – хронической обструктивной болезнью лёгких, 7 % – раком лёгких). Как показывают расчётные показатели по регионам ВОЗ: более 2 млн. случаев смерти в регионе Юго-Восточной Азии; более 2 млн. – в регионе Западной части Тихого океана; около 1 млн. – в Африканском регионе; около 500 тыс. – в регионе Восточного Средиземноморья; около 500 тыс. – в Европейском регионе; свыше 300 тыс. – в Американском регионе [4].

Анализируя вышеприведённые данные, можно сказать, что борьба с загрязнением воздуха, особенно в мегаполисах, предельно актуальна в современном мире.

Загрязнение атмосферного воздуха вызывается целым рядом факторов: промышленность и энергетика, пыль, методы ведения сельского хозяйства, применение бытовых источников энергии, обращение с отходами и транспорт. По данным ВОЗ предложены следующие решения, которые могут привести к снижению загрязнения воздуха: инвестиции в энергоэффективные технологии производства энергии; совершенствование способов обращения с бытовыми, промышленными и муниципальными отходами; сокращение масштабов сжигания сельскохозяйственных отходов, лесных пожаров и некоторых агролесоводческих мероприятий; создание зелёной и более компактной городской среды, застроенной энергоэффективными зданиями; обеспечение всеобщего доступа к чистым и недорогим видам топлива и техно-

логиям приготовления пищи, отопления и освещения; создание безопасных и доступных по стоимости систем общественного транспорта, а также маршрутов, приспособленных для пешей ходьбы и велосипедной езды. Конечно, работа уже ведётся в некоторых направлениях, например, сокращаются выбросы в атмосферу от промышленных предприятий вследствие модернизации и повышения эффективности производства, устанавливаются специальные очистные устройства, вводятся новые ресурсосберегающие технологии, увеличиваются «зелёные» площади.

Работы по улучшению качества воздуха постоянно совершенствуются. Взять, например, технологию химика из Италии Луиджи Кассар (Luigi Cassar), основная идея которой в способности диоксида титана разбивать связи молекул углерода при помощи света. Луиджи Кассар удостоен премии в Европе за изобретение нового вида цемента, который в состоянии нейтрализовать загрязняющие вещества, уменьшать их вредное воздействие и даже улучшать состав воздуха вокруг. Нейтрализованные вредные вещества в дальнейшем легко удаляются дождевой водой. Кассар придумал добавку к бетонному раствору, названную «фотокатализатором». Данную технологию применили уже в 1996 г. при возведении Юбилейной церкви в Риме под руководством архитектора Ричарда Мейера [5].

Основными и самыми опасными источниками загрязнения воздуха являются производство, теплоэнергетика и транспорт. Как считают учёные [6–15], инновационные технологии могут способствовать улучшению качества воздуха. Ранее было отмечено, что лидером по загрязнению воздуха является Китай. Поэтому в Китае уже начали строить небоскребы-фильтры. Таким примером служит экспериментальная 100-метровая башня Xian Smog Tower, расположенная на юго-западе города Сиань в провинции Шэньси (рис. 1). Система очищения основана на теплицах, которые занимают территорию возле башни, равную размеру футбольного поля. Загрязнённый воздух засасывается в теплицы, после чего нагревается солнечной энергией и поднимается вверх башни, проходя через несколько ступеней очистки. За несколько месяцев работы башни качество воздуха значительно улучшилось. Даже в дни, когда в городе наблюдается сильный смог, башня справляется с ним и снижает его показатели до умеренных [16]. В частности, содержание в воздухе мелких частиц PM 2,5 сократилось на 15 %. Башня способна пропускать сквозь себя до 10 млн. м³ воздуха в сутки и очищать воздух на площади около 10 км².



Рис. 1. Xian Smog Tower, Китай, Сиань, арх. Цао Юнджи, 2017 г. [16]

Устойчивую и эффективную систему очистки воздуха можно создать в том случае, когда собранные из воздуха загрязняющие вещества могли перерабатываться в безвредные и возвращаться в окружающую среду, а не просто оседать на землю и смываться водой. Учёные и архитекторы работают над концептуальными проектами, которые через несколько лет смогут уменьшить количество выбросов загрязняющих веществ и перейти на более прогрессивные технологии. Некоторые представленные проекты находятся в стадии разработки, а некоторые уже построены.

Главной особенностью небоскрёба 570 Broom (США, 2016–2018 гг.) (рис. 2, а) является инновационный материал для фасада, совместно разработанный фирмами Neolith и PURETi [17]. Технология фасадов SKYLINE: PURETi, которая превращает фасады в самоочищающиеся поверхности, а также улучшает качество атмосферы, уменьшая количество загрязняющих веществ в воздухе. Кроме того, эта технология обладает антибактериальными и антиаллергенными свойствами и устраняет «плохие» органические запахи. Для начала процесса необходимо солнечный свет, который активирует наночастицы диоксида титана и они превращают влагу в воздухе в окисляющие агенты, которые разрушают частицы диоксида азота и загрязняющие элементы и превращают их в водяной пар и соль. Этот процесс повторяется миллионы раз в секунду, что и позволяет зданию эффективно очищаться. Второй важный процесс проходит на завершающем этапе очистки во время дождя – вода равномерно распределяется на поверхностях и удаляет оставшиеся частицы грязи таким образом, что не остаётся даже остаточных разводов.

Похожая технология представлена в концепте небоскрёба компании Acronic (рис. 2, б),

который планируют напечатать на 3D принтере. Очищение воздуха будет осуществляться с помощью использования инновационного материала EcoClean, который был представлен впервые в 2011 г. Именно этим материалом предполагают застеклить окна по всему фасаду здания. Работа данного материала заключается в действии свободных радикалов, которые образуются во внешнем слое под воздействием света и водяного пара. Радикалы способны связывать загрязняющие вещества, пыль и смог, которые скапливаются в воздухе. В результате реакции получаются соединения, которые осыпаются по стенам здания вниз, в результате чего их можно будет легко собрать и утилизировать. Архитектура небоскрёба будет модульной, плюс ко всему окна можно будет быстро трансформировать в балконы и обратно [18, 19].

Решать проблему загрязнения почв и воздуха в городах можно будет с помощью небоскрёба под названием Urban Earth Worm (Городской Дождевой Червь), который представляет собой трубчатую структуру (рис. 3, а). Цилиндрические архитектурные элементы изгибаются и уходят вниз, имитируя форму дождевого червя. В подземной части расположены специальные цеха по преобразованию отходов в электроэнергию. В верхней части небоскрёба устроены трубчатые элементы с почвой, где могут выращиваться различные растения. Зелёная зона поможет очистить воздух города, а также обеспечить жителей города продуктами питания. Ещё одним важным преимуществом данного небоскрёба является то, что он может значительно добавить зелени в «каменных джунглях» и увеличить прохладную тень против жары города [20]. Также главной концепцией небоскрёба-турбины LO2P для Нью-Дели, созданного из автохлама, является улучшение экологической ситуации в городе. Предполагают в качестве строитель-

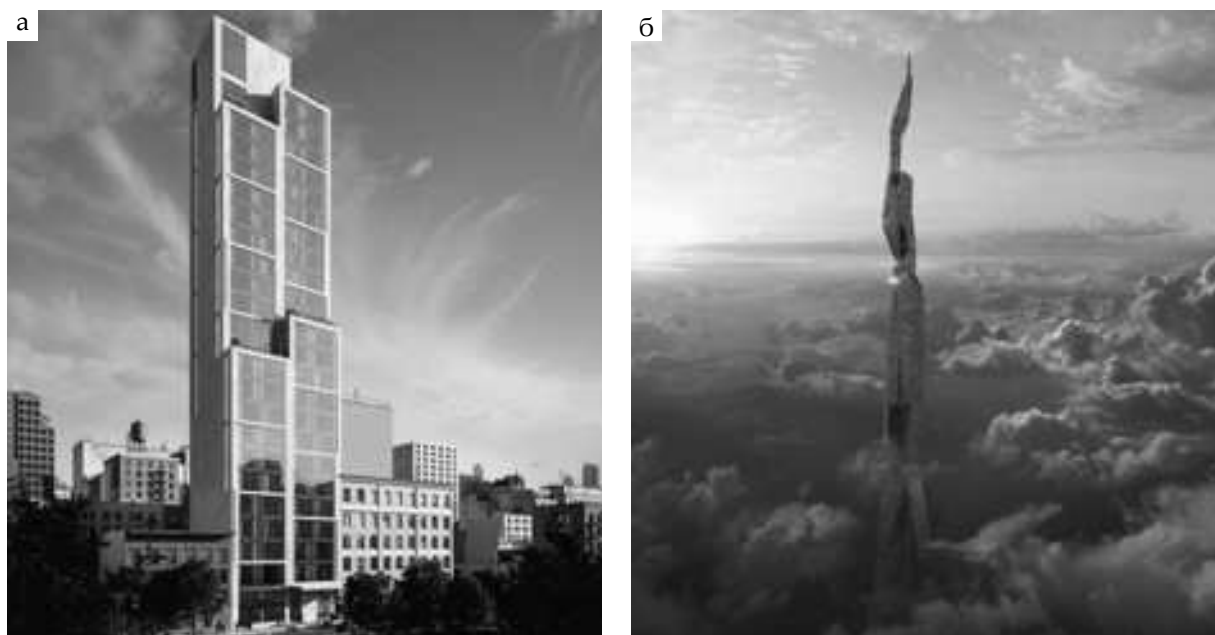


Рис. 2. Самоочищающиеся небоскребы:
 а – 570 Broome, США, Нью-Йорк, арх. Таир Демирчиоглу, 2016–2018 гг. [17];
 б – концепт самоочищающегося небоскреба, арх. комп. Acronic [19]

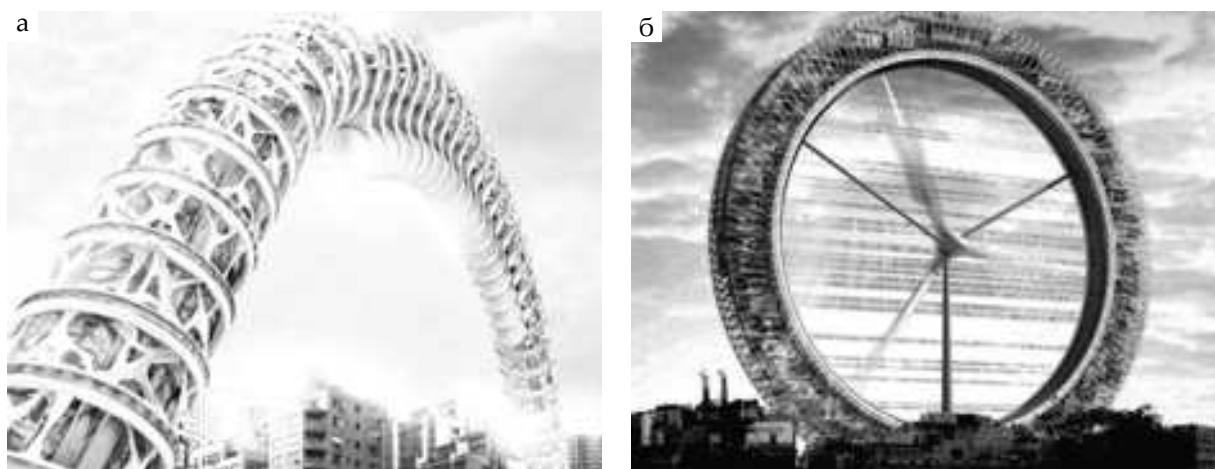


Рис. 3. Концепты лучших небоскрёбов конкурса EVOLO:
 а – небоскрёб Urban Earth Worm (Городской Дождевой Червь), Южная Корея, арх. Ли Сейнсу [20]; б – небоскрёб-турбина LO2P, Нью-Дели, арх. Atelier CMJN, Julien Combes, Gaël Brulé [21]

ного материала использовать металл и старые запчасти (рис. 3, б) [21].

Большой проблемой многих городов является сильный смог. Одним из таких примеров является город Дели. Индийский смог вызван электростанцией на угле, расположенной в черте города, дизельными автомобилями, промышленными выбросами, пылью строек, перенаселённостью и пожарами. В связи с этим Индия заявила о стремлении к более чистой энергии. Для этого архитектурная фирма Zneга создала проект целой сети Smog-башен, фильтрующих загрязненный воздух (рис. 4).

Каждая 100-метровая башня будет расположена в ключевой точке города и тщательно очищать воздух в пределах двух километров. Вертикальные башни предполагают соединить мостами. Zneга заявляет, что строительство может начаться с одного района, чтобы судить о степени успеха, прежде чем построить более крупную сеть. Процесс очищения воздуха начинается с того, что фильтры забирают загрязнённый воздух на уровне 1,5–2 м, а выпускают очищенный в верхней части башни. Далее всасываемый воздух проходит 5 этапов фильтрации, включающей в себя активированный уголь,



Рис.4. Smog-башни, Индия, Дели, арх. комп. Znera [22, 23]

генераторы отрицательных ионов и электростатически заряженную плазму, фотокатализатор для стерилизации бактерий и вирусов. В итоге данные башни будут производить 3,2 млн. м³ чистого воздуха в сутки [22, 23].

Выводы. Примеры, проанализированные выше, позволяют обобщить подходы, используемые архитекторами, строителями и инженерами для борьбы с нарастающей экологической катастрофой, в частности с загрязнением воздуха и выявить положительные стороны от их использования. Во-первых, это инновационные материалы для фасадов, которые не только создают экологически полезную оболочку для здания, но и дают возможность для выявления оригинальной формы объекта. Во-вторых, зелёные насаждения, внедрение которых в структуру дают не только положительный экологический эффект, а также дополнительные площади для выращивания продуктов питания или увеличение зон отдыха в высокоурбанизированном городе. В-третьих, фильтрующие воздух башни, технологию которых можно использовать не только как отдельно стоящие или объединённые в комплекс, но и в структуре здания, что позволит сэкономить строительную площадь и достичь максимальной технологичности и экологичности объекта. Внедрение данных инновационных приёмов, а также комплексного подхода к данной теме во всех сферах, объединяя усилия стран всего мира, приведут к уменьшению содержания загрязняющих веществ в атмосфере. Но необходимо не останавливаться и создавать новые и более прогрессивные решения и внедрять их при проектировании и строительстве в высокоурбанизированном городе, например, с помощью небоскрёбов.

В заключение можно отметить, что переход на более прогрессивные и современные технологии, а также изменение нашего образа жизни, приведут к уменьшению выбросов загрязняющих веществ и будут самым лучшим способом в борьбе с загрязнением атмосферы [24].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Росстат. Охрана окружающей среды в России [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1139919459344 (дата обращения: 16.04. 2019).
2. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики [Электронный ресурс]. URL: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/17409.pdf> (дата обращения: 16.04. 2019).
3. 10 стран с самым грязным воздухом [Электронный ресурс]. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/350332-10-stran-s-samym-gryaznym-vozdukhom/#part3> (дата обращения: 18.04. 2019).
4. Во всем мире 9 человек из 10 дышат загрязненным воздухом [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action> (дата обращения: 18.04. 2019).
5. Лучшие технологии против загрязнения атмосферы [Электронный ресурс]. URL: <https://ecco.ru/tehnologii/poslednie-tendentsii/luchshie-tehnologii-protiv-zagryazneniya-atmosfery.html> (дата обращения: 18.04. 2019).
6. Вавилова Т.Я., Каясова Д.С., Лукьянова Ю.А. Архитектурно-типологические приоритеты устойчивого развития урбанизированной среды // Градостроительство и архитектура. 2017. Т. 7. № 3 (28). С. 106–112.
7. Генералов В.П. Особенности проектирования высотных зданий / СГАСУ. Самара, 2009. 294 с., ил.
8. Генералова Е.М. Вертикальный урбанизм архитектурной среды города: современное развитие типологии высотных зданий // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. 2018. Т. 20. № 3. С. 28–33.
9. Душкова Д.О., Хаазэ Д., Евсеев А.В. Оценка экосистемных услуг городской среды и их влияния на здоровье человека: опыт и подходы на примере городов России и Германии // Экология урбанизированных территорий. 2015. № 4. С. 21–27.
10. Солодилова Л.А., Балакина А.Е., Беленя И.М. Композиционно-эстетические характеристики фа-

садных экологических плит в архитектуре учебно-воспитательных зданий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2016. № 1 (54). С. 20–26.

11. Vavilova T.Ya., Makeeva E.Yu. High-rise housing in the city of samara: the first steps on the path to sustainable development // E3S Web of Conferences D. Safarik, Y. Tabunschikov and V. Murgul (Eds.). 2018. С. 01025.

12. Vavilova T.Ya., Potienko N.D., Zhdanova I.V. On modernization of capital construction projects in the context of sustainable development of social sphere // Procedia Engineering. 2016. Т. 153. С. 938–943.

13. Vavilova T.Ya., Zhdanova I.V., Kalinkina N.A. Regional specific features of modern residential compounds. Affordable housing in the city of samara, Russia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic edition. 2018. С. 012137.

14. Generalova E.M., Generalov V.P., Kuznetsova A.A. Cantilever structure in modern construction // RSP 2017 – XXVI R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering Сеп. "MATEC Web of Conferences" Editors: S. Jemioło, A. Zbiciak, M. Mitew-Czajewska, M. Krzemiński and M. Gajewski. 2017. С. 00057.

15. Generalova E., Generalov V., Kuznetsova A. Innovative solutions for building envelopes of bioclimatical high-rise buildings // Environment. Technology. Resources Proceedings of the 11-th International Scientific and Practical Conference. 2017. С. 103–108.

16. Китай строит самый большой в мире очиститель воздуха для борьбы со смогом [Электронный ресурс]. URL: <http://skuku.net/140255> (дата обращения: 14.04. 2019).

17. Новый небоскреб чистит воздух как 500 деревьев [Электронный ресурс]. URL: <http://taratutenko.ru/novy-neboskreb-tchistit-vozduh-kak-500-derevyev.html> (дата обращения: 14.04. 2019).

18. Самоочищающийся небоскреб напечатает на принтере [Электронный ресурс]. URL: <https://naked-science.ru/article/hi-tech/samoochishchayushchisya-neboskreb> (дата обращения: 15.04. 2019).

19. Пятикилометровый небоскреб будет очищать воздух от смога [Электронный ресурс]. URL: <http://zele.ru/novosti/arhitektura/neboskreb-arconic-11068/> (дата обращения: 14.04. 2019).

20. Небоскреб в форме дождевого червя очищает воздух и почву в городах [Электронный ресурс]. URL: <https://facepla.net/the-news/3406-worm-skyscraper-cleans-air.html> (дата обращения: 14.04. 2019).

21. Лучшие небоскребы 2011 по версии eVolo [Электронный ресурс]. URL: <http://www.facepla.net/component/tag/%D0%BD%D0%B5%D0%B1%D0%BE%D1%81%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%B1.html> (дата обращения: 15.04. 2019).

22. Башни, очищающие воздух Дели от смога [Электронный ресурс]. URL: <https://naked-science.ru/article/concept/bashni-ochishchayushchie-vozduh> (дата обращения: 15.04. 2019).

23. ZNERA Proposes a Network of Smog Filtering Towers To Combat Delhi's Rising Pollution Levels [Электронный ресурс]. URL: <http://nrd.adsttc.com/902403/znera-proposes-a-network-of-smog-filtering-towers-across-delhi> (дата обращения: 15.04. 2019).

24. Небоскребы на страже здоровья [Электронный ресурс]. URL: <https://lakhtacenter.livejournal.com/489165.html> (дата обращения: 20.04. 2019).

REFERENCES

1. Rosstat. Ohrana okruzhajushhej sredy v Rossii (Rosstat. Environmental protection in Russia) Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1139919459344 (accessed 16 April 2019)

2. Bjulleten' o tekushhij tendencijah rossijskoj jekonomiki (Bulletin on current trends in the Russian economy) Available at: <http://ac.gov.ru/files/publication/a/17409.pdf> (accessed 16 April 2019)

3. 10 stran s samym grjaznym vozduhom (10 countries with the dirtiest air) Available at: <https://www.popmech.ru/technologies/350332-10-stran-s-samym-grjaznym-vozdukhom/#part3> (accessed 18 April 2019)

4. Vo vsem mire 9 chelovek iz 10 dyshat zagryaznennym vozduhom (Worldwide, 9 out of 10 people breathe polluted air) Available at: <https://www.who.int/ru/newsroom/detail/02-05-2018-9-out-of-10-people-worldwide-breathe-polluted-air-but-more-countries-are-taking-action> (accessed 18 April 2019)

5. Luchshie tehnologii protiv zagryaznenija atmosfery (The best technologies against air pollution) Available at: <https://eccoo.ru/tehnologii/poslednie-tendentsii/luchshie-tehnologii-protiv-zagryazneniya-atmosfery.html> (accessed 18 April 2019)

6. Vavilova T.Ja., Kajasova D.S., Luk'janova Ju.A. Architectural and typological priorities sustainable development urban Wednesday. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urbanism and architecture], 2017, no. 3 (28), pp. 106-112. (in Russian)

7. Generalov V.P. Osobennosti proektirovanija vysotnyh zdanij [Features of Highrise Buildings] Samara, Samarskij gos. arhitekturno-stroitel'nyj un-t Publ., 2009. 294 p.

8. Generalova E.M. Vertical urbanism architecture City Wednesday: modern development of the typology of tall buildings. *Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. Social'nye, gumanitarnye, mediko-biologicheskie nauki* [News of the Samara scientific centre of Russian Academy of Sciences. Social, humanitarian, medical and biological sciences], 2018, no. 3, pp. 28-33. (in Russian)

9. Dushkova D.O., Haazje D., Evseev A.V. Assessment of urban ecosystem services Wednesday and their impact on human health: experiences and approaches on the example of cities in Russia and Germany. *Jekologija urbanizirovannyh territorij* [Ecology of urbanized territories], 2015, no. 4, pp. 21-27. (in Russian)

10. Solodilova L.A., Balakina A.E., Belenja I.M. Compositional aesthetic characteristics of façade of environ-

mental plates in architecture of educational buildings. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'no-go universiteta* [Tomsk State University of architecture and construction], 2016, no. 1 (54), pp. 20-26. (in Russian)

11. Vavilova T.Ya., Makeeva E.Yu. High-rise housing in the city of samara: the first steps on the path to sustainable development. E3S Web of Conferences D. Safarik, Y. Tabunschikov and V. Murgul (Eds.), 2018, p. 01025

12. Vavilova T.Ya., Potienko N.D., Zhdanova I.V. On modernization of capital construction projects in the context of sustainable development of social sphere. *Procedia Engineering*, 2016, V. 153, p. 938-943

13. Vavilova T.Ya., Zhdanova I.V., Kalinkina N.A. Regional specific features of modern residential compounds. Affordable housing in the city of samara, Russia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic edition, 2018, p. 012137

14. Generalova E.M., Generalov V.P., Kuznetsova A.A. Cantilever structure in modern construction. RSP 2017 – XXVI R-S-P Seminar 2017 Theoretical Foundation of Civil Engineering MATEC Web of Conferences Editors: S. Jemioło, A. Zbiciak, M. Mitew-Czajewska, M. Krzemiński and M. Gajewski, 2017, p. 00057

15. Generalova E., Generalov V., Kuznetsova A. Innovative solutions for building envelopes of bioclimatical high-rise buildings. Environment. Technology. Resources Proceedings of the 11-th International Scientific and Practical Conference, 2017. p.103-108

16. *Kitaj stroit samyj bol'shoj v mire ochistitel' vozduha dlja bor'by so smogom* (China builds world's largest air purifier to fight smog) Available at: <http://skuky.net/140255> (accessed 14 April 2019)

17. *Novyj neboskreb chistit vozduh kak 500 derev'ev* (New skyscraper cleans the air as 500 trees) Available at: <http://taratutenko.ru/novy-neboskreb-tchistit-vozduh-kak-500-derevyev.html> (accessed 14 April 2019)

18. *Samoochishhajushhija neboskreb napechatajut na printere* (Self-cleaning skyscraper printed on printer) Available at: <https://naked-science.ru/article/hi-tech/samoochishchayushchisya-neboskreb> (accessed 15 April 2019)

19. *Pjatiletmetrovyy neboskreb budet ochishhat' vozduh ot smoga* (The five-kilometre skyscraper will clear the air of smog) Available at: <http://zele.ru/novosti/arhitektura/neboskreb-arconic-11068/> (accessed 14 April 2019)

20. *Neboskreb v forme dozhdevogo chervja ochishhaet vozduh i pochvu v gorodah* (A skyscraper in the shape of a earthworm cleans the air and soil in cities) Available at: <https://facepla.net/the-news/3406-worm-skyscraper-cleans-air.html> (accessed 14 April 2019)

21. *Luchshie neboskreby 2011 po versii eVolo* (The best skyscrapers of 2011 according to eVolo) Available at: <http://www.facepla.net/component/tag/%D0%BD%D0%B5%D0%B1%D0%BE%D1%81%D0%BA%D1%80%D0%B5%D0%B1.html> (accessed 15 April 2019)

22. *Bashni, ochishhajushhie vozduh Deli ot smoga* (Towers that clean Delhi's air from smog) Available at: <https://naked-science.ru/article/concept/bashni-ochishchayushchie-vozduh> (accessed 15 April 2019)

23. ZNERA Proposes a Network of Smog Filtering Towers To Combat Delhi's Rising Pollution Levels Available at: <http://nrd.adsttc.com/902403/znera-proposes-a-network-of-smog-filtering-towers-across-delhi> (accessed 15 April 2019)

24. *Neboskreby na strazhe zdorov'ja* (Skyscrapers on health) Available at: <https://lakhtacenter.livejournal.com/489165.html> (accessed 20 April 2019)

Об авторах:

ЖДАНОВА Ирина Викторовна

кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры жилых и общественных зданий Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: zdanovairina@mail.ru

ZHDANOVA Irina V.

PhD in Architecture, Professor of the Architecture of Residential and Public Buildings Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: zdanovairina@mail.ru

КУЗНЕЦОВА Анна Андреевна

кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры жилых и общественных зданий Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: amore_86@mail.ru

KUZNETSOVA Anna A.

PhD in Architecture, Professor of the Architecture of Residential and Public Buildings Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: amore_86@mail.ru

КАЛИНКИНА Надежда Александровна

кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры жилых и общественных зданий Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: nad_si@mail.ru

KALINKINA Nadezhda A.

PhD in Architecture, Professor of the Architecture of Residential and Public Buildings Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: nad_si@mail.ru

Для цитирования: Жданова И.В., Кузнецова А.А., Калинин Н.А. Современные тенденции очистки воздуха с помощью небоскрёбов // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 135–142. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.17.

For citation: Zhdanova I.V., Kuznetsova A.A., Kalinkina N.A. Modern trends of air purification using skyscrapers // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 135–142. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.17.

Уважаемые читатели!

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

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

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

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



Д. С. РЫБАКОВА
А. С. ФЕДОТОВ

РЕФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ КАК ОДИН ИЗ ГЛАВНЫХ АСПЕКТОВ
РЕАБИЛИТАЦИИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ,
НАРУШЕННЫХ ПРОМЫШЛЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

REFUNCTIONALISATION AS ONE OF THE MAIN ASPECTS
OF REHABILITATION OF URBAN AREAS DISTURBED BY INDUSTRIAL ACTIVITIES

Статья посвящена проблеме реабилитации городских территорий, нарушенных промышленной деятельностью, процессам их реконструкции и рефункционализации. В ходе исследования был проанализирован отечественный и зарубежный опыт на примере наиболее удачных реализованных объектов, отражающий три принципиальных направления преобразования функции бывших или действующих промышленных предприятий: сохранение производственной функции, частичная рефункционализация или полная рефункционализация. Каждый из этих принципов имеет свои особые методы и приемы. Предложена методика их классифицирования, основанная на разработках американского исследователя Стюарта Бренда. По результатам исследования составлена классификация методов рефункционализации предприятий и бывших промышленных территорий города.

Ключевые слова: функция в архитектуре, рефункционализация, городской контекст, промышленные зоны, реконструкция

The article is devoted to the problem of the rehabilitation of urban areas disturbed by industrial activity and the processes of their reconstruction and re-functionalization. There were analyzed objects that implemented in different countries and illustrated national and foreign experience. This analysis showed three principal directions of functional transformation of former or existing industrial enterprises: preservation of the production function, partial re-functionalization or full re-functionalization. Each of these principles has its own specific methods and techniques. The authors proposed a method for their classification, based on the developments of the researcher Stuart Brand. According to the results of the study, a classification has been compiled of methods for the re-functionalization of enterprises and former industrial areas of the city.

Keywords: function in architecture, re-functionalization, urban context, industrial areas, reconstruction

Форма и функция – две фундаментальные составляющие архитектуры. Вот уже не одно столетие теоретики ведут жаркие споры о первостепенности и зависимости одной из них относительно другой, а также о том, изменится ли одна из них после изменения другой. В начале XX в. американским архитектором Луисом Генри Салливаном был впервые сформулирован «основной закон всякой материи – органической и неорганической, всех явлений – физических и метафизических,

человеческих и сверхчеловеческих, всякой деятельности разума, сердца и души», заключающийся в том, что «форма всегда следует за функцией» [1, с. 44–45].

Что такое «функция»? В теории архитектуры функция – это некая роль, которую играют материальные объекты (здания), социум или его идеи в контексте определенной ситуации. С течением времени и под влиянием внешних факторов эта роль может измениться, и в этом случае можно говорить об обновлении

функции, или ре-функции, или рефункционализации – процессе изменения существующей функциональной программы архитектурных объектов, проводимом параллельно с работами по их реконструкции.

С конца XVIII в. и до недавнего времени промышленность играла важную роль в жизни многих стран, являясь мощным градообразующим и социально значимым фактором. Но после того, как во второй половине XX в. наметился переход от индустриального общества к постиндустриальному, многие промышленные предприятия по всему миру пришли в упадок, а их территории оказались заброшенными. В нашей стране этот процесс начал происходить чуть позже, примерно с конца 1980 – начала 1990-х гг., поэтому проблема реконструкции, а вместе с ней и рефункционализации бывших промышленных территорий на сегодняшний день является актуальной. Кроме того, теоретическая сторона данного вопроса все еще остается мало изученной.

Российские исследователи сходятся во мнении, что сегодня существует **три принципиально разных направления** преобразования функции промышленных территорий [2, 3]:

- *сохранение производственной функции*, когда доля вмешательства в функциональную программу составляет 0–30 %;
- *частичная рефункционализация* – доля вмешательства 30–70 %;
- *полная рефункционализация*, когда функциональная программа меняется на 70–100 %.

Очевидно, что на практике каждый из этих принципов имеет свои собственные методы и приемы реализации, порой индивидуальные, зависящие от каждого конкретного объекта и условий его реконструкции. Однако, обратившись к теоретической базе, можно обнаружить пробел в методологическом аспекте данного вопроса, поскольку существующая классификация методов рефункционализации довольно условна. Все этого говорит о малой изученности данного вопроса и необходимости проведения дополнительных исследований.

Американский писатель Стюарт Бренд (Stewart Brand) в своей книге «Как учатся здания: что происходит с ними после того, как они построены» («How buildings learn: What happens after they're built») отмечает, что любой архитектурный объект состоит из определенных элементов: территории, на которой стоит здание, т. е. окружающего контекста (site); внешней оболочки – фасадов (skin); конструктивного каркаса (structure); внутренних коммуникаций (services); планировки (space planning); и наконец, внутренней отделки (stuff) (рис. 1). Причем все эти элементы подвержены измене-

ниям в разной степени. Бренд выделяет так называемые «быстрые элементы», к которым относит людей, их вкусы и взгляды, предметы их быта, декоративную отделку интерьеров (stuff), и «медленные элементы» – конструктивный каркас здания, а также контекст (structure, site) [4]. Первые из них очень податливы и являются носителями изменений. Вторые, напротив, достаточно устойчивы и имеют собственные «корни» и «память».

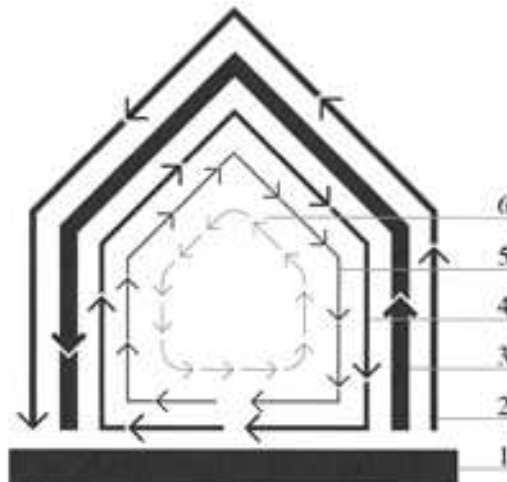


Рис. 1. Элементы, из которых по мнению Стюарта Бренда состоит архитектурный объект:
1 – территория, на которой стоит здание (site);
2 – внешняя оболочка (skin); 3 – конструктивный каркас (structure); 4 – внутренние коммуникации (services); 5 – планировка (space planning);
6 – внутренняя отделка (stuff)

Методика классифицирования, предложенная Стюартом Брендом, в первую очередь, конечно же, касается процесса изменения формы объекта и актуальна в вопросах реконструкции. Однако по аналогии с ней можно предложить классификацию **методов рефункционализации** промышленных предприятий и городских территорий, нарушенных промышленной деятельностью, основанную на выявлении определенных элементов, участвующих в процессе изменения функции и имеющих различную степень податливости этим трансформациям.

Первый и самый «подвижный» элемент, участвующий в рефункционализации промышленного объекта, – это его **техническое оснащение**. Замена старого производственного оборудования на новое является самым простым и самым щадящим методом, при котором доля вмешательства в функциональную программу объекта составляет 0–5 % и предприятие при этом продолжает выполнять свою прежнюю функцию. Практическую реализа-

цию данного метода можно наблюдать сегодня на большинстве старейших машиностроительных (Старорусский завод химического машиностроения, основанный в 1909 г.; Великолукский локомотивовогоноремонтный завод, 1902 г. основания), оборонных (Обуховский оборонный завод, первый запуск которого состоялся в 1863 г.), бумажных (картонно-бумажная фабрика «Пролетарий» в Брянской области, основанная в 1894 г.), пивоваренных (Жигулевский пивоваренный завод, основанный в Самаре Альфредом Фон Вакано в 1881 г.), нефтехимических и прочих заводах нашей страны, которым удалось выстоять в кризисные времена и продолжить свою работу.

Другой элемент – это *технологический процесс производства*, который так же, как и предыдущий, является подвижным и легко изменяемым. Как показывает практика, чаще всего модернизация оборудования тесно связана с обновлением и усовершенствованием технологии того или иного вида промышленного производства. Но стоит понимать, что замена оборудования не всегда означает смену технологии, а вот обновление технологического процесса влечет за собой переоснащение технической базы предприятия и ее модернизацию, поэтому можно сказать, что такой метод рефункционализации затрагивает примерно 5–10 % существующей функциональной программы. Так, например, на одном из заводов Дальнего Востока (Центр судоремонта «Дальзавод»), основанном в 1887 г. и имеющем уникальную в своем регионе профильную направленность производства – ремонт, сборка, испытания кораблей Тихоокеанского флота России, – чтят вековые традиции и технологии своей деятельности, но за последние несколько лет начали активно проводить модернизацию старого оборудования, установленного здесь еще в 1950–1960-х гг., а также расширять производство и оснащение нового эллинга для ремонта подлодок и специализированной судоремонтной набережной.

Третьим элементом, участвующим в процессе рефункционализации, можно назвать *отрасль промышленности*, к которой относятся то или иное предприятие.

В 1989 г. в Вене архитектором Фриденсрайхом Хундертвассером был предложен проект реконструкции городской территории, занятой руинами старого, сторевого мусороперерабатывающего завода. Площадку, расположенную в районе Шпиттлау, расчистили и возвели на ней новое предприятие по переработке мусора, которое характеризуется не только экологически чистым, но и энергоэффектив-

ным принципом работы: тепло, выделяемое в процессе утилизации, используется для отопления жилых домов и других предприятий города. Данный пример иллюстрирует метод, при котором, возрождаясь из пепла, городская территория сохраняет свою промышленную функцию и прежнюю отрасль деятельности, а рефункционализация затрагивает лишь 10–15 %.

Компания Union Stock Yard & Transit Co. с 1865 г. занималась в Чикаго разведением домашнего скота, продажей мяса, имела собственные мясокомбинаты. Сегодня многие корпуса этих предприятий опустели. Один из таких цехов, на протяжении 87 лет занимавшийся упаковкой мяса и мясных продуктов, в 2012 г. было решено реконструировать и перепрофилировать в городскую ферму-инкубатор, работающую по принципу аквапонной и гидропонной системы: вода циркулирует от аквариумов, насыщаясь аммиаком и нитратами из продуктов жизнедеятельности разводимых там рыб, к гидропонным плантациям, питая растворенными веществами растения и грибы, которые в свою очередь фильтруют и очищают ее и подготавливают к подаче обратно в аквариумы. Кислород, вырабатываемый растениями, аккумулируется и поступает в цех пивоварения, а углекислый газ, вырабатываемый при изготовлении пива, поступает обратно на плантации в качестве подкормки. Таким образом, при реконструкции данного предприятия удалось сохранить его основную производственную функцию и частично – отрасль (пищевая промышленность), изменив лишь тип производимых продуктов, поэтому 15–20 % – таков примерный процент рефункционального вмешательства в данном случае.

Существуют также примеры, когда при сохранении промышленной функции предприятие полностью меняет свою отрасль деятельности, как это было в проекте небольшой мастерской по изготовлению керамических изделий Керамика Суру (Ceramica Suro, MO + G Architects) в Мексике, предложенном архитекторами из бюро MO + G Architects. Мастерская разместилась на площадке двух заброшенных складских ангаров, впоследствии объединенных между собой административно-общественной зоной. При таком методе рефункционализации происходит смена примерно 30 % исходной функциональной программы объекта.

Во всех рассмотренных примерах после реконструкции объекты сохраняли основные производственные функции, но практика показывает, что возможен и другой вариант, когда предприятие перестает функционировать по своему прямому назначению и становится

музеем той отрасли, которой всю жизнь служило. Так произошло с угольными шахтами Цольферайн (Zollverein) Рурского каменноугольного бассейна, которые в 1986 г. закрылись в связи с экономической нецелесообразностью дальнейшего функционирования, но в 2001 г. были признаны объектом культурного наследия ЮНЕСКО и, благодаря стараниям нидерландских архитекторов Рема Коолхааса (Remment Kooolhaas) и группы ОМА, а также британца Нормана Фостера (Norman Foster) и его бюро Foster+Partners, превратились в современный культурно-образовательный комплекс, включающий в себя музей угольной промышленности, музей керамики, музей современного промышленного дизайна (Red Dot Design Museum), музей истории Рурского региона [6]. В столице Мексики, городе Монтеррей, в 2007 г. по проекту лондонского архитектора Николаса Гримшоу (Nicholas Grimshaw) на месте бывшего литейного завода открылся музей сталеплавления с 80-метовой доменной печью Homo-3, отреставрированной и превращенной в интерактивный образовательный центр. А во французском городе Салин-ле-Бен (Salins-les-Bain) местные солеварни, закрытые в 1962 г., но позднее признанные объектом культурного наследия ЮНЕСКО, благодаря архитекторам Малкотти Русси (Malcotti Roussey) и Тьерри Геза (Thierry Gheza) не просто рассказывают об истории солеварения, а стали сегодня настоящим краеведческим музеем под открытым небом, визитной карточкой этого региона.

Метод, при котором предприятие превращается в музей промышленности, можно отнести уже к другому принципу – принципу частичной рефункционализации, поскольку несмотря на то, что объект продолжает жить и функционировать, он теряет свою первостепенную, метафизическую функцию, для которой был изначально создан (функцию производства). Примерный процент рефункциональных изменений в данном случае – до 40 %.

Техническое оснащение, технология и отрасль производства – все это относится к той категории, которую Стюарт Бренд назвал «быстрыми элементами», поскольку они касаются процесса функционирования предприятия в общем. Куда сложнее обстоят дела с функциональной организацией отдельных корпусов, цехов и зданий, входящих в состав промышленного объекта. **Функциональное зонирование и внутренние взаимосвязи** – это четвертый элемент, играющий немаловажную роль в процессе реконструкции и рефункционализации зданий.

Любое производство – это не только сложный технологический процесс с четкой последо-

вательностью выполняемых действий и видов работ. Это еще и особая структура человеческих отношений, способов взаимодействия разных социальных групп между собой. Современные нормы требуют от архитекторов создания комфортных условий труда, поэтому нередко встречаются проекты, в которых реконструкция производственного предприятия сопровождается изменениями его пространственного зонирования (вертикального и горизонтального), а также добавлением новых функциональных зон: наряду с офисными помещениями и цехами появляются открытые мастерские и лаборатории, куда любой желающий может заглянуть и подробнее узнать о процессе производства; залы для переговоров, совещаний и презентаций; рекреации и зоны отдыха для посетителей и персонала; шоу-румы с выставленной готовой продукцией и т. д. Во Вьетнаме, например, при реконструкции швейных фабрик Виет Вуон (Viet Vuong Co., VTN Architects, 2013) и Дэзино Эко (Desino Eco Manufactory, Ho Khue Architect, 2017) был принципиально пересмотрен процесс взаимодействия между администрацией, работниками и посетителями: благодаря использованию стекла система закрытых цехов с глухими перегородками была заменена на открытое, гостеприимное и визуально объединенное пространство, а в одном из этих проектов архитекторам даже удалось создать атриум и разместить вокруг него рекреационную зону для свободного общения и обмена идеями между всеми желающими [7]. Чуть смелее к вопросу обновления внутренней функциональной структуры объекта подошли архитекторы из копенгагенского бюро Шмидт Хаммер Лассен (Schmidt Hammer Lassen) в проекте реконструкции лакокрасочной фабрики ИВС в Дании. Главная идея заключалась в том, чтобы объединить в одном помещении и производство, и управление, добавив к этому еще и образовательную функцию. По замыслу авторов, все это должно способствовать созданию новаторской и творческой среды, где студенты, преподаватели, специалисты и деловой мир могут встречаться и учиться друг у друга чему-то новому.

В рассмотренных примерах процесс реконструкции и рефункционализации затрагивает исключительно внутреннюю структуру производственного здания, не выходя за его границы, и отличается лишь смелостью проектных решений, поэтому доля вносимых изменений при таком методе может составлять от 40 до 50 %.

Внутренние функциональные связи производственного предприятия порой напоминают сложные нейронные сети, и их модификация и перераспределение – это не единственный

прием, которым пользуются архитекторы. Другим приемом является вычленение наиболее устойчивого функционального элемента и превращение его в некую отправную точку для всего проекта. Так, в Великобритании в городе Кембридж почти 35 лет назад архитектором Майклом Хопкинсом (Michael Hopkins Architects) был разработан проект реконструкции станции для испытаний буровых установок, принадлежащей нефтеразведывательной компании Шлюмбергер (Schlumberger). Центральным ядром нового исследовательского центра стала лаборатория с буровой установкой, рядом с которой расположилась общественная рекреационная зона с зимним садом. Эта часть здания имеет достаточно высокие потолки и перекрыта с помощью натяжного покрытия из стекловолокна. Два стеклянных офисных блока расположились по обе стороны от центральной части таким образом, что находящиеся там мастерские и контрольные пункты имели непосредственную визуальную взаимосвязь с испытываемым оборудованием, а небольшие сторонние офисы разместились у наружных фасадов и имеют вид на ландшафт. В 1992 г. объект был дополнительно расширен за счет лабораторно-офисного корпуса, расположившегося южнее, и внутреннего двора, образовавшегося в связи с этим расширением. По словам архитектора, такое переплетение функций и пространств способствует циркуляции человеческих потоков, неформальным встречам и обмену идеями, а сам проект реконструкции исследовательского центра иллюстрирует метод, при котором развитие и укрупнение функциональной структуры объекта, расширение его границ происходит относительно главного смыслового элемента – испытательной лаборатории.

В проекте реконструкции медеплавильного и кабельного завода Товарищества «Алексеев, Вишняков, Шамшин», напротив, из всей существовавшей ранее функциональной структуры промышленного объекта был выделен и остался неизменным только один элемент – здание театра для рабочих фабрики, построенное здесь еще в 1904 г. по инициативе К.С. Станиславского и по сей день сохранившее статус театральной площадки, где размещалась «Студия театрального искусства» под руководством Сергея Женовача [7]. Остальные производственные цеха полностью изменили свою функциональную направленность: были переоборудованы под офисный центр и жилые апартаменты [6].

Несмотря на то, что доля внесенных изменений в рассмотренных примерах достаточно велика (55–60 и до 70 % соответственно), оба

эти метода относятся к принципу частичной рефункционализации, поскольку некоторые исходные функциональные структуры все-таки были сохранены. Принцип же полной рефункционализации предусматривает абсолютное перепрофилирование бывших производственных объектов и территорий, поэтому *функциональное зонирование городской среды (квартала)* становится главным элементом, участвующим в этом процессе (процент рефункциональных изменений свыше 70 %).

Действительность такова, что, приходя в запустение, территории бывших промышленных предприятий превращаются в зияющие дыры на генеральном плане города, становятся местами отчуждения и оттока социальной активности горожан. Поэтому главная задача архитекторов в таких случаях – вернуть их к жизни, продемонстрировав грамотный подход к реабилитации, повторной социализации и включению этих территорий в городскую ткань. Главным критерием выбора новой функциональной направленности является актуальность и социально-культурная востребованность той или иной функции в конкретной части города.

Наиболее популярный прием, помогающий возродить интерес людей к опустевшим промышленным цехам и вдохнуть в них новую жизнь, – это заставить здания вновь работать, а именно разместить на их площадях офисную функцию. Это могут быть офисы крупных компаний, как, например, Canon Design, расположившийся в 2008 г. в здании муниципальной электростанции города Сент-Луис, США, или небольших фирм, как шанхайский Jinqiao 21 Office, занявший в 2011 г. заброшенные складские помещения в экспортной зоне Пудун (Pudong). Офисные центры, подобные Фла-Хало (FlaHalo Office Manufactory) из китайского города Шеньчжень (Shenzhen), размещаемые на бывших производственных площадях местной стекольной мануфактуры, или коммерческие офисы, как шанхайский центр Ксинтай (Xintai Warehouse), организованный на территории складов бывшей ткацкой фабрики. Коворкинг, как инновационный тип пространства для совместной работы людей различных специализаций, также может размещаться в бывших промышленных зданиях: в районе Чаоян (Chaoyang) в Пекине старая складская зона была переоборудована в бизнес-парк для творческой индустрии, на территории которого расположился коворкинг под названием «Woo Space», вмещающий более 600 человек.

Другой прием – это разместить на территории бывшего промышленного объекта жилую функцию. Широко известен опыт Рикардо

Бофилла, когда еще в 1973 г. он начал процесс переоборудования старого цементного завода в Барселоне под собственную резиденцию и мастерскую, которая сегодня по праву считается одним из самых лучших примеров жилых домов, расположенных в реконструированных помещениях. Из современных примеров – частный жилой дом Within Vox молодой супружеской пары архитекторов Линды и Питера Бенуа (Lynda & Peter Benoit) в помещении бывшей котельной в Калифорнии. Кроме индивидуальных жилых домов встречаются и жилые комплексы: в 2015 г. при реконструкции старой промышленной зоны на острове Мурано в Италии по проекту архитектурной студии Масила (Studio Macilá) внутри заброшенного завода разместилось два жилых блока на 36 и 18 квартир, а в Амстердаме в этом же году склады старого предприятия по производству зубчатых колес, датируемые началом XX в., благодаря архитекторам Рональду Янсону (Ronald Janssen) и Дональду Осборну (Donald Osborne) были переоборудованы в 12 жилых резиденций блокированного типа (жилые блоки располагаются спина к спине и имеют отдельные входы с улиц).

Размещение новых монофункций (жилье и работа) в пустующих промышленных зданиях без каких-либо дополнительных изменений – это самый простой метод проведения полной рефункционализации. Процесс становится интересней, когда инвесторы вместе с архитекторами решают превратить старые заводы в современные мультифункциональные комплексы, включающие не только жилую, но и обслуживающую, общественную, деловую, торговую и другие функции, как, например, в эстонском Фале Хаус (Fahle house), где в самом высоком здании бывшей целлюлозно-бумажной фабрики (в котельной 1926 г. постройки) разместилось жилье, а офисы, сервисные службы, рестораны, салоны и офисы заняли остальные исторические помещения завода. В этом случае можно наблюдать усложнение функциональных и коммуникативных взаимосвязей как между разными корпусами одного объекта, так и между самим комплексом и городом в целом.

Кроме утилитарных функций, таких как жилье, работа, сфера обслуживания, которыми люди пользуются скорее из соображений необходимости, существуют еще образовательные и культурно-досуговые функции, обращение к которым всегда обуславливается глубоко личным решением каждого конкретного человека. Чтобы у горожан появлялось желание посетить тот или иной музей, выставку или библиотеку, и не просто посетить, а вернуться сюда через

какое-то время, недостаточно наличия там интересного контента. Желание возвращаться, посещать объект вновь и вновь может возникнуть только в том случае, если человек будет чувствовать себя комфортно в той среде, где находится, если внутренние коммуникативные связи здания будут для него просты и понятны, если сам объект будет функционально открыт городу, а среда вокруг него дружелюбна и приветлива. Без сомнения, такой метод трудоемок и сложен, но современная практика демонстрирует немало удачных примеров его реализации.

Так, благодаря архитектору Алану Моатти (Alain Moatti) и проектной бюро Moatti-Rivière, ангар по ремонту железнодорожной техники, расположенный на бывшей промышленной территории Арле во Франции (Arles France), был превращен в небольшую галерею Гранд Холл (Grande Halle), где ежегодно проходят выставки современных художников и фотографов. Особенностью этого объекта является то, что его основная функция – выставка работ – не заперта в четырех стенах, а благодаря интерактивному фасаду выходит навстречу городу: в главный фасад-фронтон, выполненный из металлической сетки с хаотичным треугольным рисунком, вмонтировано несколько сот тысяч светодиодов, что позволяет создавать световые инсталляции непосредственно на самом здании.

В Турине на протяжении почти 20 лет (с 1985 по 2002 г.) по проекту Ренцо Пиано (Renzo Piano) проводилась реконструкция целого квартала под названием Линьотто (Lingotto), принадлежавшего ранее автомобильному концерну Фиат и являвшегося символом промышленной истории региона. Сегодня это многофункциональный центр с акцентом на культурно-выставочную деятельность. Изюминкой комплекса можно считать кольцевую автотрассу на крыше одного из корпусов, которая была разработана еще при строительстве завода специально для тестирования производимых автомобилей и которая по сей день эксплуатируется на автомобильных выставках и презентациях, а также выполняет роль прогулочной зоны для горожан. По словам Пиано, он хотел воссоздать в Линьотто «настоящий кусочек города» с бурлящей в нем жизнью и свободой доступа.

Проект Таллинского креативного центра (Tallinn Creative Hub) создавался в тесном сотрудничестве архитекторов с будущими пользователями и посетителями этого объекта, для чего устраивались специальные семинары и воркшопы, где все желающие могли высказывать свои мнения, идеи и предложения. Целью архитекторов была простота и открытость

коммуникации людей с такими помещениями, как залы для выступлений и репетиций, клубные помещения, студии, офисы объединены в единое пространство, открывающее своим посетителям различные возможности [7, 8], возрождая к жизни здания бывшей городской электростанции.

В Нидерландах в городе Тилбург в 2014–2018 гг. была проведена реконструкция вагоноремонтного цеха, в котором на протяжении многих лет (1932–2009 гг.) трудилось большое количество людей. За это время объект стал не просто частью истории города, а частью коллективного сознания горожан. Поэтому перед архитекторами из бюро Civic Architects стояла трудная задача: используя комплексный подход и концептуальное мышление с учетом контекста, вернуть это здание городу, установив между ними непрерывную связь. Поэтому LocHal (так называется это место сегодня) – это городская библиотека: пространство для чтения, обучения, изучения, встреч и собраний как для молодых, так и для пожилых людей. Это место для тестирования, создания, экспонирования и презентации последних новинок. Это место для мечтания с ощущением реальности.

Еще одним типом досуговых объектов являются различные парки развлечений, такие как немецкий Wunderland Kalkar – парк развлечений в выведенной из эксплуатации в 1995 г. атомной электростанции Schneller Brüter; или скейт-парк на базе заброшенного железнодорожного депо в одном из городов Дании, включающий в себя большое количество площадок для катания и групповых видов спорта, кафе, конференц-залы и просто зоны для свободного времяпрепровождения, став местом притяжения молодых людей. Создание подобных объектов для активного досуга также позволяет сделать среду угнетенных районов более насыщенной и открытой.

А вот организация обычных парков и садов на месте бывших промзон относится уже к другому методу – методу экологической реабилитации территорий. Таким, например, является интерактивный ландшафтный парк Дусбург-Норд (Duisburg-Nord), созданный на руинах бывшего сталелитейного завода в Германии, или Хоутан парк (Houtan Park), ставший в 2010 г. естественным фильтром для реки Хуанпу (Huangpu) в промышленном центре Шанхая, воды которой загрязняются деятельностью металлургических заводов, верфей и прочих индустриальных предприятий.

Выводы. Подводя итоги проведенного исследования, можно с уверенностью сказать, что в современной архитектурной практике существует достаточное количество методов

и приемов рефункционализации заброшенных производственных зданий и городских территорий, нарушенных промышленной деятельностью:

Методы, относящиеся к принципу сохранения производственной функции:

а) модернизация технического оснащения (оборудования) предприятия;

б) модернизация технологического процесса производства;

в) сохранение производственной функции и отрасли производства;

г) сохранение производственной функции и частичное сохранение отрасли производства;

д) полная смена отрасли производства, но сохранение производственной функции.

Методы, относящиеся к принципу частичной рефункционализации:

а) музей промышленной отрасли: сохранение отрасли производства, но полная утрата производственных функций;

б) модернизация и актуализация существующего функционального зонирования предприятия и его внутренних коммуникативных связей;

в) вычленение наиболее устойчивого функционального элемента предприятия с последующим развитием вокруг него новой функциональной структуры.

Методы, относящиеся к принципу полной рефункционализации:

а) размещение новых монофункций (жилье и работа) в пустующих промышленных зданиях;

б) восстановление старых или установление новых функциональных взаимосвязей бывшего промышленного объекта с окружающей городской средой;

в) метод экологической реабилитации угнетенных и нарушенных промышленной деятельностью городских территорий.

А если вернуться к вопросу о том, что же будет происходить с формой в процессе рефункционализации здания, будет ли она непременно следовать за изменениям функции, как считал Луис Генр Салливен, то в результате проведенного анализа с уверенностью можно сказать, что в процессе рефункционализации современные архитекторы уходят от четкой зависимости, о которой когда-то говорил Салливен, и достаточно свободно оперируют этими составляющими: и при изменении, и при сохранении функции объекта его форма также может как сохраниться, так и претерпеть определенные изменения.

Таким образом, реабилитация городских территорий, нарушенных промышленной деятельностью, есть комплексный процесс,

включающий в себя не только работу с формой (реконструкцию), но и работу с функцией (рефункционализация). И только в том случае, если архитектор будет учитывать оба эти аспекта в комплексе, результатом его деятельности станут действительно качественные и продуманные проектные решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иконников А.В. Мастера архитектуры об архитектуре / под ред. И.Я. Цагарелли. М.: Искусство, 1972. 590 с.: ил.
2. Дрожжин Р.А. Реновация промышленных территорий // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. № 1(11). С. 84–86.
3. Грахов В.П., Мохначев С.А., Манохин П.Е., Виноградов Д.С. Основные тенденции современных проектов реновации промышленных зон // Фундаментальные исследования. 2016. № 12. С. 400–404.
4. Steward Brand. How buildings learn: What happens after they're built. Penguin Publishing Group, 1994. 256 p.
5. Чадович А.А. Шахта Цольферайн – возрождение в культуре / kapitel-spb.ru URL: <http://kapitel-spb.ru/article/шахта-цольферайн-возрождение-в-культ/> (дата обращения: 14.02.2019).
6. Чадович А.А. Сохранение или снос? Компромисс! // Architecture and modern information technologies. 2013. № 1(22). С. 1–13.
7. Рыбакова Д.С., Федотов А.С. Роль контекста при реабилитации городских территорий, нарушенных промышленной деятельностью // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, № 2. С. 117–121. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.20.
8. Tallinn Creative Hub. Kavakava / Architizer.com URL: <https://architizer.com/projects/tallinn-creative-hub/> (дата обращения: 22.02.2019).

REFERENCES

1. Ikonnikov A.V. *Mastera arkhitektury ob arkhitekture* [Masters of architecture about architecture]. Moscow, Iskustvo, 1972. 590 p.
2. Drozhzhin R.A. Renovation of industrial areas. *Vestnik sibirskogo gosudarstvennogo industrial'nogo universiteta* [Bulletin of the Siberian State Industrial University], 2015, no.1 (11), pp. 84-86. (in Russian)
3. Grakhov V.P., Mokhnachev S.A., Manokhin P.E., Vinogradov D.S. The Main trends of modern projects of renovation of industrial zones. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental researches], 2016, no.12, pp. 400-404. (in Russian)
4. Steward Brand. How buildings learn: What happens after they're built. Penguin Publishing Group, 1994. 256 p.
5. Chadovich A.A. The Zollverein mine – a revival culture. *Kapitel'* [Capital] 2014, no.1(25). Available at: <http://kapitel-spb.ru/article/шахта-цольферайн-возрождение-в-культ/> (accessed 14 February 2019).
6. Chadovich A.A. Preservation or demolition? *Compromise! Architecture and modern information technologies*, 2013, no.1 (22), pp. 1-13.
7. Rybakova D.S., Fedotov A.S. The role of context in the rehabilitation of urban areas disturbed by industrial activities. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, vol. 8, no. 2, pp. 117-121. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.02.20. (in Russian)
8. Tallinn Creative Hub. Kavakava. Available at: <https://architizer.com/projects/tallinn-creative-hub/> (accessed 22 February 2019).

Об авторах:

РЫБАКОВА Дарья Сергеевна

старший преподаватель кафедры архитектуры Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: zmej.rr@yandex.ru

ФЕДОТОВ Александр Сергеевич

магистр 2 года обучения по направлению подготовки 07.04.01 «Архитектура» Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: cmok91737@mail.ru

RYBAKOVA Daria Sergeevna

senior lecturer of the Department «Architecture» of Samara State Technical University, Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: zmej.rr@yandex.ru

FEDOTOV Aleksandr Sergeevich

master student of the Department «Architecture» of Samara State Technical University, Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: cmok91737@mail.ru

Для цитирования: Рыбакова Д.С., Федотов А.С. Рефункционализация как один из главных аспектов реабилитации городских территорий, нарушенных промышленной деятельностью // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 143–150. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.18.

For citation: Rybakova D.S., Fedotov A.S. Refunctionalisation as one of the Main Aspects of Rehabilitation of Urban Areas Disturbed by Industrial Activities // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 143–150. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.18.

М. С. СЕМБИН
Ш. Ж. СУРАНКУЛОВ
Е. А. АХМЕДОВА

ОПЫТ ПОИСКА ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В СОВРЕМЕННЫХ МЕГАПОЛИСАХ

**THE EXPERIENCE OF RESEARCH OF URBAN RESERVES
FOR THE DEVELOPMENT OF URBAN AGRICULTURE
IN MODERN MEGACITIES**

Статья посвящена решению задач, связанных с использованием градостроительных резервов в крупнейших мегаполисах под городские технологии производства продуктов питания. Одной из форм градостроительных резервов является использование ресурсов кровельного хозяйства. В строительстве на кровлях могут применяться модульные, быстро возводимые конструкции. Подобные тепличные энергоэффективные строительные объекты устраиваются на крышах различных по функциональному назначению зданий – торговых центров, магазинов, гаражей и других общественных и коммунально-хозяйственных сооружений. В структуре крупнейшего города такие тепличные комплексы могут размещаться как в периферийных районах, так и в срединной зоне. В ряде случаев тепличные комплексы на гидропонике в городах являются элементами более сложных кластерных образований типа научно-исследовательских биоэкоагроцентров, агропарков и других инновационных градостроительных комплексов. Такие объекты функционируют не только как агропроизводственные, но и как интегрированные научно-экспериментальные, образовательные, досуговые и просветительские комплексы. В статье наиболее подробно рассматривается опыт размещения городских ферм и теплиц в США на примерах крупнейших мегаполисов. В то же время такие сити-фермы становятся местами приложения труда для некоторых слоев горожан, решая важную социальную задачу. Статья поднимает проблемы формирования современного инновационного сельского хозяйства в городах, благодаря которому жители мегаполисов могут быть трудоустроены и постоянно обеспечены свежими продуктами питания. В условиях высокоурбанизированного современного мира это становится все более актуально, особенно в странах с засушливым климатом, в том числе Северном Казахстане и в южных регионах России.

Ключевые слова: градостроительные резервы мегаполисов, модернизация кровельного хозяйства, развитие, городское сельское хозяйство, сити-фермерство

The article is devoted to solving problems associated with the use of town-planning reserves in the largest cities for urban food production technologies. One of the forms of urban reserves is the use of roofing resources. In roof construction, modular, quickly erected structures can be used. Such greenhouse energy-efficient construction projects can be located on the roofs of buildings of various functional purposes - shopping centers, shops, garages and other public and communal facilities. In the structure of the largest city, such greenhouse complexes can be located both in peripheral areas and in the middle zone. In some cases, greenhouse complexes on hydroponics can be elements of more complex cluster formations such as research bio-eco-agro centers, agricultural parks, and other innovative urban complexes. Such objects function not only as agricultural production, but also as integrated scientific and experimental, educational, leisure and educational complexes. The article describes in more detail the experience of placing urban farms and greenhouses in the USA, using the examples of the largest megacities. At the same time, such city farms are becoming places of labor for some sections of the townspeople, solving an important social problem. The article raises the problems of the formation of modern innovative agriculture in cities, thanks to which residents of megacities can be employed and constantly provided with fresh food. In the conditions of the modern world, this is becoming more and more relevant, since a healthy lifestyle and nutrition is gaining popularity, including in the southern regions of Northern Kazakhstan, Russia

Key words: urban development reserves of megacities, modernization of roofing, development, urban agriculture, city farming

Крупнейшие мегаполисы мира являются своеобразными полигонами для изобретения новых форм ведения городского хозяйства, изыскивая для них дефицитные пространственные резервы [1–5]. Это в полной мере относится к инновационному высокотехнологичному производству продуктов питания в условиях городской среды, для которого порой используются своеобразные градостроительные резервы в виде кровельного хозяйства зданий и сооружений. Одним из самых успешных в этом направлении является опыт крупнейших американских мегаполисов (Нью-Йорк, Чикаго и др.), предлагающих жителям в условиях дефицита свободной земли в пригородных зонах высокотехнологичные рабочие места в городском тепличном хозяйстве на крышах [6]. Энергоэффективные объекты – теплицы и оранжереи производят по новейшим технологиям, экологически чистую и безопасную продукцию, поставляемую на рынки и в торговые центры мегаполиса. Строительство и оборудование подобных сооружений является весьма перспективным и для других стран [2, 7].

Aquarponics – это технология, которая была известна давно, но которая только сейчас благодаря современным принципам, новому оборудованию стала высокотехнологичным производством. Предприятия на аквапонике используют производственный цикл, в результате которого минимизируются отходы, производится продукция высокого качества.

Преимуществами аквапоники как современной агротехнологии в городских условиях являются следующие:

- в продуктах нет вредных веществ, гербицидов, пестицидов, антибиотиков;
- при организации бизнеса система на аквапонике не требует больших затрат;
- каждый шаг производства легко контролируется;
- в производстве применяются модульные строения, которые быстро возводятся, позволяют расширяться, малозатратны, могут быть максимально приближены к потребителю;
- оранжереи площадью 170 000 квадратных футов эквивалентны по урожайности 100 акрам земли;
- методы с использованием аквапонии дают в 20-30 раз больше продукта на акр, чем выращивание продуктов в полевых условиях;
- рециркуляционная гидропоническая система экономит воду;
- солнечная энергия экономит электричество;
- эффективные производственные методы включают в себя компьютерную систему управления.

За рубежом разрабатываются многочисленные варианты приспособления таких градостроительных резервов, как крыши зданий коммунально-хозяйственного назначения под эффективные крышные тепличные фермы (рис. 1, 2).

Фирмы (например известная Gotham Greens), реализующие такой вид деятельности в мегаполисах США, как опыт проектирования и эксплуатации кровельных пространств под тепличные сити-фермы, успешно функционируют и в других странах.

Приведем лучшие примеры городского сельского хозяйства современного типа за рубежом (США)

Gotham Greens – лидер в области городского сельского хозяйства. Продукция Gotham Greens экологически безопасна, выращивается с помощью использования солнечных батарей в условиях городской теплицы. Gotham Greens поставляет потребителю свою продукцию круглый год.

Компания Gotham Greens основана в 2009 г. в Бруклине и является частным производством, эксплуатирует свыше 170 000 квадратных футов инновационных городских теплиц, которые расположены в Чикаго и в Нью-Йорке.

Gotham Greens – это городское сельское хозяйство инновационного типа, которое полностью решает экологическую проблему в черте города, расположена в Нью-Йорке, в самом его центре (рис. 3).

Тепличный объект, представляющий собой инновационное хозяйство в Соединенных Штатах, находится в Бруклине и являет собой совершенно иную концепцию городского сельского хозяйства, к которому нужно стремиться и в Казахстане, и, возможно, в южных районах России [8, 9] с засушливым климатом. Оно является коммерческим, экологичным, круглогодичным.

Gotham Greens имеет вторую оранжерею на крыше Бруклинского магазина Whole Foods Market. Это промышленная теплица, совмещенная с супермаркетом (рис. 4). Компания, освоив первый опыт, распространила его и возвела теплицы в Нью-Йорке и Чикаго, расширяет свою деятельность по всей стране, поставляя потребителю продукцию местного производства премиум-класса. Руководители инновационного предприятия – ученые, сотрудники с учеными степенями, инновационная производственно-технологическая агрохозяйственная деятельность успешно конвертируется в коммерческий проект.

Теплица Gotham Greens на крыше ежегодно производит более 100 000 фунтов свежей зелени. Инновационный проект предполагает



Рис. 1. Проект совмещения функций фермы, музыкальной и образовательной галереи (США, 2016)



Рис. 2. Проект использования градостроительных резервов кровельного хозяйства в срединной зоне мегаполиса (опыт США, 2011)

работу гидропонной теплицы на крыше, продуктового магазина, предусмотрены обеденные зоны, зеленые насаждения, парковки, общий зал. Программа оценена многочисленными наградами, среди которых – сертификация leed Платина, зеленые Глобусы, ЭПК GreenChill платины.

Гидропонный парник имеет площадь 20 000 квадратных футов на крыше, он не дает крыше перегреваться летом и охлаждаться зимой. В течение всего года через магазин реализуется выращенная продукция. Солнечные навесы вырабатывают 320 кВт электроэнергии, используется ветроэнергетика. Экономия электроэнергии



Рис. 3. Небольшая городская ферма Gotham Greens, объединяющая выращивание традиционных культур, культивирование без обработки и магазин



Рис. 4. Гринпойнт, Бруклин, Нью-Йорк

составляет 2,5 млн. кВт.ч. Продукты питания не подвержены влиянию выхлопных автомобильных газов, прежде всего фреона, в атмосферу не выбрасываются вредные вещества.

Инновационная теплица представляет собой современный проект городского сельского

хозяйства в сверхурбанизированной городской среде. Здесь инноватика заключается в высокой экологической эффективности инженерного оборудования: светодиодное освещение, улучшенное остекление, тепловые завесы, пассивная вентиляция, солнечные батареи. Все это снижа-

ет потребность в энергоресурсах и отоплении. Устройство рециркуляционных оросительных систем позволяет использовать воду для повторного применения без химических пестицидов, гербицидов, инсектицидов. Теплица реализует комплексные решения по борьбе с различными сельскохозяйственными вредителями, в том числе биологическую борьбу с использованием одних насекомых против других.

Вполне вероятно, что подобное высокотехнологичное городское парниковое сельское хозяйство получит развитие, в частности в южных регионах России и Северном Казахстане.

Партнерство с Whole Foods Market явилось для теплицы идеальным решением (рис. 5). В городском хозяйстве имеется солнечная электростанция с мощностью 325 кВт. Теплица не выбрасывает в атмосферу вредных веществ, ее холодильная система не предполагает применения HFC, для орошения собирается «серая» дождевая вода.



Рис. 5. Gowanus, Бруклин, Нью-Йорк

хозяйства. Подобные объекты могут быть размещены не только в периферийных зонах городов, но и в специализированных городских агропарках [10].

Теплицы инновационного типа (рис. 7) с возобновляемой энергией позволяют оптимизировать выращивание сельскохозяйственных культур, повысить качество урожая и сделать продукты абсолютно экологически безопасными и полезными.

Водосбережение, энергосбережение – это то, к чему должно стремиться любое хозяйство, в частности современное городское сельское хозяйство.

«Urbs in Horto» – инновационный проект сельского хозяйства в Чикаго. Это технологически развитая инновационная теплица, расположенная в районе Пуллман в Чикаго (рис. 6). Площадь теплицы свыше 75 000 квадратных футов, эта производительная ферма на крыше дает населению более 10 млн. единиц листовой зелени и трав, реализует продукцию через Чикаголенд. Расположенная в периферийной зоне мегаполиса инновационная теплица одновременно является досуговым центром и местом приложения труда для населения, проживающего в пешеходной доступности, что также является одним из условий комфортной городской среды.

На двух этажах теплицы находится парковый комплекс с контролируемым климатом, новаторским ведением городского сельского

Gotham Greens тестирует свою продукцию в современных лабораториях, все парниковые объекты проходят этапы очистки, дезинфекции. Гидропонный подход в сельском хозяйстве экономичен и высокопродуктивен, минимизирует расходы на свет, отопление, уменьшает влияние вредных веществ среды на продукты питания.

Еще один концептуальный пример инновационного городского хозяйства – концепт



Рис. 6. Район Пулман, Чикаго (периферийная зона мегаполиса, США, 2016)



Рис. 7. Холлис, Квинс, Нью-Йорк (срединная зона мегаполиса, США)

вертикальной теплицы в Париже \ Design, созданный парижской архитектурной студией Pimelgo.

Концепт небоскреба Skygrove от нью-йоркской компании HWKN Architects напоминает

корневую систему мангрового дерева в нижней части (рис. 8).

Многоэтажная теплица включает в себя традиционное садоводство и инновационные технологии.



Рис. 8. Небоскреб Skygrove (проект для Парижского мегаполиса, Франция, 2017)

Выводы. Городское сельское хозяйство – это положительная тенденция, позволяющая улучшать экономику и экологию городов, сохранять экологическую среду, улучшать архитектуру и обеспечивать население свежими, экологически чистыми продуктами питания. Это не возвращение к традициям выращивания местных овощей и трав, это нечто большее, в том числе новые технологии агрохозяйства, новая культура потребления и питания, забота о здоровье нации, трудоустройство населения.

Близость теплиц на аквапонике к крупным городам минимизирует транспортные расходы, связанные с ними выбросы вредных веществ в атмосферу, улучшает обеспечение населения свежей экологически чистой продукцией.

Развитие проектирования и строительства новых аквапонических систем в Северном Казахстане [7, 9] и южных регионах России [8] позволит решить следующие задачи:

- рационально использовать градостроительные резервы крупных городов;
- использовать технологические возможности подключения к городским инженерным сетям;
- создать дополнительные рабочие места для населения городов;
- обеспечить контроль безопасности продукции;
- дать качественные продукты питания населению круглый год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ахновская И.А., Глушич О.В. Органическое сельское хозяйство – ключ к развитию сельских районов Европы // *Theoretical & Applied Science*. 2014. № 3 (11).
2. Ахмедова Е.А., Жоголева А.В., Мальцева Е.С. Город и аграрный кластер // *Градостроительство и архитектура*. 2014. № 1(14). С. 13–18. DOI: 10.17673/Vestnik.2014.01.2.
3. Васильева Н.К. Классификация устойчивости производства в аграрной сфере // *Сборник научных трудов СевКавГТУ. Серия «Экономика»*. 2006. № 3.
4. Санакоева Д.К., Мисхожев Э.Р. Проблема обновления основных фондов в сельском хозяйстве в условиях рыночной экономики. СПб., 2014. № 51 (4).
5. Фарниева И.Т. Приоритетные направления устойчивого развития сельского хозяйства: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Горский гос. аграр. ун-т. Владикавказ, 2012. 25 с.
6. Стил К. Голодный город: Как еда определяет нашу жизнь / пер. с англ. М.: StrelkaPress, 2014. 456 с.
7. Инновации в агропромышленном комплексе. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://foodpark.ru/elaboration/> (дата обращения: 03.12.2017).
8. Антюфеев А.В. Агрохозяйственные кластеры в структуре современного мегаполиса (на примере Большого Волгограда) // *Innovative project*. 2017. Т.2, № 2. С. 72–76. DOI: 10.17673/IP.2017.2.02.7.
9. Генеральный план развития города Астаны до 2030 года. [Электронный ресурс] Режим доступа:

http://www.saulet.astana.kz/general_plan/ (дата обращения: 20.10.2018).

10. Колесова Е.И. Агропарки как инструмент развития агропромышленного комплекса. Российский и мировой опыт [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.csr-nw.ru/files/csr/file_content_582.pdf (дата обращения: 20.12.2017).

REFERENCES

1. Ahnovskaya I.A., Glushich O.V. Organic agriculture is the key to rural Europe. Theoretical & Applied Science, 2014, no. 3 (11). (in Russian)

2. Akhmedova E.A., Zhogoleva A.V., Maltseva E.S. City and agricultural cluster. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban construction and Architecture], 2014, no. 1 (14), pp. 13–18. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2014.01.2.

3. Vasiliev N. K. Classification of sustainability of production in the agricultural sector. *Sbornik nauchnykh trudov SevKavGTU. Seriya «Jekonomika»* [Collection of scientific papers of SevKavSTU. Series "Economics"], 2006, no.3.

4. Sanakoeva D.K., Miskhozhev E.R. The problem of updating fixed assets in agriculture in a market economy St. Petersburg, 2014. №. 51 (4). (in Russian)

5. Farnieva I. T. Priority areas for sustainable development of agriculture: author. dis. ... cand. econ. Sciences: 08.00.05 / I.T. Farnieva; Mountain State. agrarian. un-t - Vladikavkaz, 2012.

6. Steel K. The Hungry City: How Food Defines Our Life / Transl. from English M.: StrelkaPress, 2014 . 456 p.

7. Innovations in the agricultural sector (2017). Available at: <http://foodpark.ru/elaboration/> (accessed 12 March 2017).

8. Antyufeev A.V. Agro-economic clusters in the structure of a modern metropolis (on the example of Greater Volgograd). *Innovative project.*, 2017, Vol. 2, no. 2, pp. 72–76. (in Russian) DOI: 10.17673 / IP.2017.2.02.7.

9. The master plan for the development of the city of Astana until 2030. Available at: http://www.saulet.astana.kz/general_plan/ (accessed 10 February 2018).

10. Kolesova E.I. Agroparks as a tool for the development of the agro-industrial complex. Russian and world experience. Available at: http://www.csr-nw.ru/files/csr/file_content_582.pdf (accessed 12 February 2017).

Об авторах:

СЕМБИН Мухтар Сейлбекович

докторант кафедры архитектуры и дизайна
Казахский агротехнический университет
им. С. Сейфуллина
010011, Республика Казахстан, г. Нур-Султан,
пр. Победы, 62
E-mail: Sembinfree@mail.ru

СУРАНКУЛОВ Шаисхан Жубандыулы

доктор технических наук, профессор
Казахский агротехнический университет
им. С. Сейфуллина
010011, Республика Казахстан, г. Нур-Султан,
пр.Победы, 62
E-mail: Sembinfree@mail.ru

АХМЕДОВА Елена Александровна

доктор архитектуры, профессор,
член-корреспондент РААСН, заведующая
кафедрой градостроительства
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194
E-mail: dir_inst_arch@bk.ru

SEMBIN Mukhtar S.

Doctoral student of architecture and design
S.Seifullin Kazakh AgroTechnical university
010011, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan,
Pobeda str., 62
E-mail: Sembinfree@mail.ru

SURANKULOV Sh. Zh.

Doctor of Technic Sciences, Professor
S.Seifullin Kazakh AgroTechnical university
010011, Republic of Kazakhstan, Nur-Sultan,
Pobeda str., 62
E-mail: Sembinfree@mail.ru

AKHMEDOVA Elena A.

Doctor of Architecture, Professor, Corresponding
Member of RAACS, Head
of the Town Planning Department
Samara State Technical University
Academy of Architecture and Civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194
E-mail: dir_inst_arch@bk.ru

Для цитирования: Сембин М.С., Суранкулов Ш.Ж., Ахмедова Е.А. Опыт поиска градостроительных резервов для развития городского сельского хозяйства в современных мегаполисах // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 151–158. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.19.

For citation: Sembin M.S., Surankulov Sh.Zh., Akhmedova E.A. The experience of research urban reserves for the development of urban agriculture in modern megacities // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 151–158. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.19.

Т. В. ФИЛАНОВА

ИННОВАЦИИ В ТРАНСПОРТЕ И ПУТИ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ

INNOVATIONS IN TRANSPORT AND WAYS SOLVING
TRANSPORT AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS IN MEGALOPOLISES

В статье излагаются результаты социально-градостроительных исследований, проведенных отделом НИРиПП института ГУП «ТеррНИИГраджданпроект» в городах Самаре и Тольятти в 2016 и 2017 гг. Приведены результаты блока исследований, посвященных выявлению проблем транспорта и экологии в городах-центрах, и анализа мнения горожан относительно возможного внедрения струнного транспорта Sky Way в Самаре и Тольятти. Согласно опросу жителей Самары, основные проблемы, с которыми сталкиваются жители города ежедневно, – это неудовлетворенность качеством благоустройства городских территорий и проблемы экологии и транспорта. Приводится статистика отставания России по внедрению инновационных технологий, в частности в транспорт, по сравнению с зарубежными странами. Мнение жителей городов-центров Самарско-Тольяттинской агломерации свидетельствует в пользу развития системы инновационного транспорта – три четверти опрошенных в Самаре и более 60 % опрошенных в Тольятти поддерживают внедрение новой, быстро развивающейся системы струнного транспорта в своих городах. В статье описаны проектные предложения по трассировке маршрутов Sky Way в Самаре и Тольятти на первую очередь и на перспективу.

Ключевые слова: городской транспорт, инновационные транспортные технологии, струнный транспорт Sky Way, транспортные проблемы, экология города, социально-градостроительное исследование, социологический опрос

Проблемы многих городов России в настоящее время напрямую связаны с несоответствием транспортной системы и реальной жизни крупных и крупнейших городов, которые буквально задыхаются в автомобильных «пробках». Начало XXI века характеризуется не только огромным скачком в развитии различных сфер человеческой жизни, но также и ухудшением экологической ситуации во всем мире. Стремительный процесс глобализации и рост городов означают развитие производства, строительство новых дорог и увеличение транспортного потока.

The article presents the results of socio-urban studies Department of the Institute SSUE «TerrNIIGrazhdanproekt» in Samara and Togliatti in 2016-17. The results of the block of studies devoted to the identification of transport problems in the cities-centers and the analysis of citizens' opinion on the possible introduction of sky way string transport in Samara and Togliatti are presented. According to a survey of Samara residents, among the problems faced by residents of the city on a daily basis, after dissatisfaction with the quality of improvement of urban areas, the most prominent are the problems of ecology and transport. The article presents the statistics of Russia's lag in the implementation of innovative technologies in different spheres of life in comparison with foreign countries. The opinion of the residents of the cities-centers of the Samara-Togliatti agglomeration is also in favor of the development of innovative transport system – three quarters of respondents in Samara and more than 60% of respondents in Togliatti support the introduction of Sky Way string transport in their cities. The article describes the project proposals for tracing Sky Way routes in Samara and Togliatti in the first place and in the future.

Keywords: urban transport, innovative transport technologies, string transport Sky Way, transport problems, ecology of the city, social and town-planning research, sociological survey

Развивающийся транспортный комплекс является на сегодняшний день основным врагом окружающей среды, и в особенности негативно оказывает влияние на экологию автомобильный транспорт – на его долю приходится до 90 % загрязнений атмосферного воздуха в городах [1]. В 2010 г. в исследовании NASA было объявлено, что автомобили официально являются крупнейшим самостоятельным источником загрязнения климата в мире. Автомобили, автобусы и грузовики являются источником загрязняющих веществ и парниковых газов, которые способствуют

потеплению [2]. Как бы ни снижались выбросы от производства, выбросы от транспорта продолжают с каждым годом увеличиваться. В Самарской области доля выбросов загрязняющих веществ в атмосферу транспортом в 2016 г. составляла 15,2 %, уступая производству нефтепродуктов и добыче топливно-энергетических полезных ископаемых, в городах же этот показатель значительно выше [3].

Экология ухудшается пропорционально увеличению на дорогах города количества автотранспорта, увеличиваются выбросы вредных веществ в атмосферу, а строительство новых дорог вредит экологии тем, что отнимает озелененные территории у города и создает препятствие для движения грунтовых вод. Помимо этого, снижается скорость грузо- и пассажироперевозок, возрастает аварийность на дорогах, страдает безопасность. Гибель людей в дорожно-транспортных происшествиях относится к одной из основных причин смертности в нашей стране [1, 4]. Таким образом, большинство градостроительных и социальных проблем на сегодняшний день связано именно с транспортной ситуацией в городах и регионах. Для решения проблем современных городов требуется в первую очередь совершенствование системы транспортного обслуживания. Два основных блока проблем – экологии и транспорта – взаимосвязаны между собой, поскольку все существующие виды транспорта, как показывают многочисленные исследования, не способствуют улучшению ситуации, а лишь ее усугубляют. В жизни современных городов наряду с глобальным развитием информационных технологий значительно отстают скорости передвижения и перевозок, а существующие транспортные системы «конфликтуют» с жизнью городов и горожан.

Находясь на пороге развития nano-технологий и транспортной революции [5, 6], мы как никогда должны понимать необходимость

внедрения транспортных инноваций, берегающих ресурсы и экологию, в нашу жизнь. Городские и федеральные власти также осознают этот факт и отмечают необходимость применения полезных инноваций во всех сферах жизни, в том числе в транспорте. На деле наша страна по уровню инновационной активности значительно отстает от стран Европы, о чем свидетельствует статистика [7–9]. Доля российских компаний крупного и среднего бизнеса, которые внедряют в своей работе высокие технологии, сократилась к 2017 г. до 9,2 % – это минимальный показатель за 17 лет. Как показало исследование Высшей школы экономики (ВШЭ), российская промышленность по уровню и динамике инновационного развития в 4–6 раз отстает от ведущих индустриальных стран (рис. 1) [9].

На сегодняшний день все предложения и нововведения в транспорте сводятся к максимально возможному совершенствованию и реконструкции существующей транспортной инфраструктуры, расширению дорог и строительству многоуровневых развязок на них для увеличения скоростного режима. Небольшая доля транспортных средств переходит на ресурсо- и энергосберегающие технологии, а внедрение спутниковых навигационных технологий на транспорте лишь немного помогает водителям объезжать заторы на дорогах [10, 11]. Инновационные технологии на общественном транспорте ограничиваются повышением уровня комфортности салона транспортного средства (увеличение размера окон, мягкие эргономичные сиденья, наличие Wi-Fi) и более современным дизайном вагонов, что мало влияет на скорость и время в пути и может называться модным словом «инновация» только формально.

Тем не менее, реальные инновационные технологии в транспорте сегодня имеются в виде готовых к внедрению принципиально



Рис. 1. Уровень инновационного развития промышленности в России и зарубежных странах [9]

новых транспортных разработок, в том числе российских. Так, всем требованиям инновационности на сегодняшний день отвечает разработанная российским инженером А.Э. Юницким система струнного транспорта SkyWay. Инновационность системы заключается в возможности совмещения значительного увеличения скоростей с высокой степенью безопасности, экологичности, комфорта, а также с низкой стоимостью проезда и перевозок. Этот транспорт «второго уровня» в эстакадном исполнении в настоящее время активно внедряется в мировую транспортную инфраструктуру, выходит на мировой рынок. SkyWay представляет собой не имеющую аналогов в мире систему: вагоны-модули на стальных колесах,двигающиеся по рельсам над землей на втором уровне. В конструкцию рельсов включены предварительные напряженные струны, обеспечивающие идеальную прямолинейность путевой структуры, установленной на опорах без громоздких бетонных эстакад. Система предусматривает высокоскоростные перевозки пассажиров и грузов как в городах, так и между городами и странами. В городе струнный транспорт рассматривается в качестве дополнения к существующей инфраструктуре городского пассажирского транспорта и может стать реальным решением большинства городских проблем. Подробно характеристики и преимущества этого транспорта перед другими приведены в ряде публикаций [12–14].

На испытательном полигоне SkyWay в Минске в августе 2018 г. и на транспортной выставке Innotrans-2018 в октябре 2018 г. в Берлине посетители получили возможность познакомиться с новейшими разработками компании ЗАО «Струнные технологии» и даже опробовать их в деле. Поездку на инновационном подвижном составе совершили более 2000 гостей из 40 стран мира, по завершении поездки пассажирам предлагалось поучаствовать в опросе и оценить струнный транспорт. Посетители поделились впечатлениями относительно удобства посадки-высадки, интерьера, уровня шума, освещенности и температуры в салоне, а также ощущения безопасности при движении. По результатам опроса струнный транспорт оказался в топе по всем исследуемым параметрам. Согласно методу индексации лояльности потребителя к продуктам компании (Net Promoter Score), показатели SkyWay находятся на уровне мировых лидеров, таких как Tesla Motors, Starbucks, Amazon и др., что свидетельствует о высоком потенциале для дальнейшего развития технологии и перспективах на транспортном рынке. Всего 5 % опрошенных посетителей стенда SkyWay предпочли бы в повседневной жизни

продолжать пользоваться только традиционными видами транспорта, 38 % выбрали бы исключительно услуги SkyWay, и более половины (57 % опрошенных) предпочитают пользоваться струнным транспортом в дополнение к привычным видам транспорта (рис. 2) [15, 16].

Понять ситуацию по обозначенным вопросам в Самаре и Самарской области помогло социально-градостроительное исследование, проведенное в институте ГУП «ТеррНИИ-гражданпроект» в городах Тольятти и Самаре в 2016–2017 гг. и предполагающее опрос жителей. Целью было обозначить основные проблемы горожан, связанные с транспортом, а также изучить отношение населения к преобразованиям системы существующего транспорта. Отдельной задачей при этом было выявить готовность жителей Самары и Тольятти к использованию транспортных инноваций в своих городах.

В ходе опроса были выявлены и классифицированы основные проблемы, с которыми чаще всего сталкиваются горожане. Выяснилось, что у жителей Тольятти на первом месте стоит неудовлетворенность качеством благоустройства городских территорий и проблемы социального характера, связанные с жильем, работой, уровнем медицинского обслуживания. После них наиболее выделяются проблемы экологии и транспорта. Так, опрошенные жители Тольятти указали на:

- шум и загазованность на улицах – 34,4 %;
- плохое благоустройство и озеленение – 34,1 %;
- плохую экологию, загрязнение воздуха – 25,3 %;
- низкую организацию транспортного обслуживания – 11,4 % [13, с.33].

Результаты блока исследования, посвященного выявлению необходимых мероприятий для улучшения жизни в городах-центрах Самарско-Тольяттинской агломерации, также подтверждают, что большинство проблем на сегодняшний день связано именно с транспортной ситуацией в городе и экологией. Горожане указали на необходимость улучшения экологии и увеличения озелененных пространств, повышения качества транспортного обслуживания, улучшения транспортной доступности городских объектов и территорий. Жители Самары ремонт автомобильных дорог и необходимость устройства дополнительных парковочных мест сочли самыми актуальными мероприятиями для города – их отметили 70 и 50 % опрошенных соответственно (табл. 1).

Анализ мнения жителей Самары относительно преобразования системы транспорта

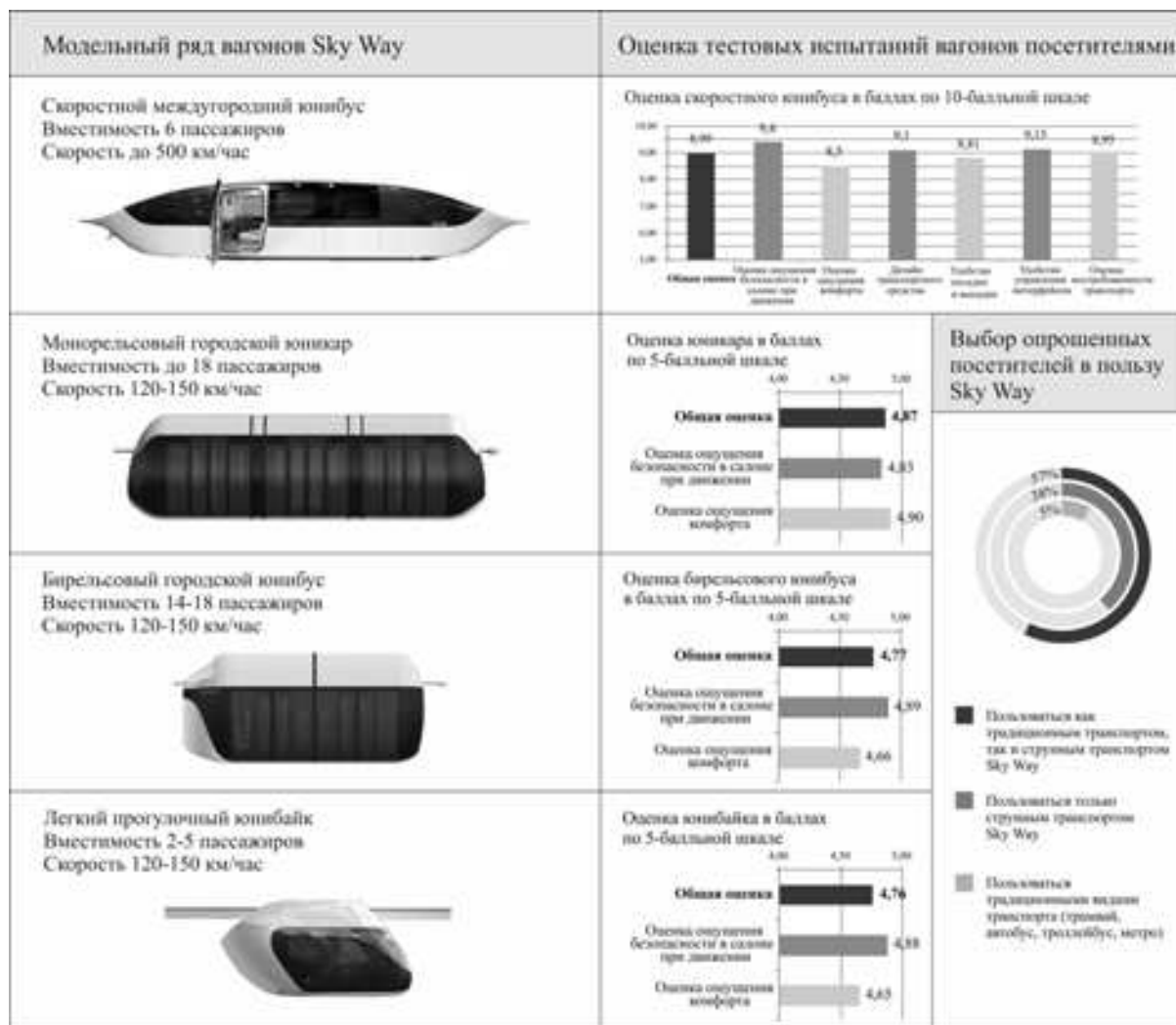


Рис. 2. Оценка вагонов Sky Way посетителями транспортной выставки Innotrans-2018 в Берлине и полигона Sky Way в Минске по результатам опроса [15, 16]

Таблица 1

Первоочередные мероприятия в районе проживания, связанные с транспортом и экологией, по мнению жителей Самары и Тольятти, в % от опрошенных

Ответы жителей	Мероприятия, направленные на решение проблем экологии					Мероприятия, направленные на решение транспортных проблем			
	Улучшение благоустройства территории	Проведение природоохранных мероприятий	Организация общественных зон отдыха	Озеленение улиц и дворов	Закрытие экологически вредных производств	Ремонт дорог	Улучшение транспортного обслуживания	Строительство гаражей, стоянок	Организация новых парковочных мест
Самара	40,2	16,3	27,5	32,7	8,1	70,3	29,2	14,6	49,6
Тольятти	60,5	24,4	47,2	43,4	13,5	-	18,4	28,9	-

в городе для дальнейшего развития его центра выявил, что главным выходом горожане видят улучшение транспортных связей центра с периферийными районами – об этом высказались 50 % опрошенных. Почти все они (49,6 %) поддерживают строительство сети метро, 28 % – строительство скоростной магистрали по ул. К.Маркса – магистрали «Центральная». 23 % опрошенных видят выход в организации дополнительных парковочных мест для автомобилей в центре города (табл. 2).

Среди своих предложений по улучшению транспортных связей центра с периферийными районами жители Самары предлагали расширять существующие дороги, строить развязки, мосты, эстакады и тоннели, развивать рельсовый транспорт, скоростные трамваи, наземное метро. Несмотря на минимальную информированность в вопросах транспортных инноваций, несколько предложений касалось внедрения системы новых видов скоростного транспорта, который будет двигаться без пробок. Жители понимают несовершенство существующей системы транспорта и осознают

необходимость ее кардинальных преобразований, поэтому с легкостью принимают информацию о возможности развития инноваций в сфере транспорта.

По мере повышения информированности жители Самары и Тольятти в своих ответах поддерживают кардинально новую, быстро развивающуюся систему струнного транспорта. Изучение общественного мнения в Самаре и Тольятти показало большую заинтересованность жителей в строительстве таких дорог в своих городах – 63,9 % респондентов в Тольятти и 75,3 % в Самаре одобрили возможность быстрого передвижения в городе с помощью нового экологичного транспорта. Позицию активного неодобрения выразили всего 4 % опрошенных в Самаре и 5 % в Тольятти, при этом около трети опрошенных затруднились с ответом либо отказались от него. Стоит предположить с большой степенью вероятности, что по мере погружения в тему процент населения, поддерживающего проект, увеличится за счет воздержавшихся от ответа на данном этапе (табл. 3).

Таблица 2

Мнение жителей Самары относительно необходимых транспортных преобразований в городе для дальнейшего развития его центра (часть ответов на вопрос анкеты «Что в первую очередь необходимо центру города для дальнейшего его развития?»), в % от опрошенных

Ответы жителей	Улучшение транспортных связей центра с периферийными районами	В том числе посредством			Организация дополнительных парковочных мест для автомобилей в центре города
		строительства метро	строительства скоростной магистрали «Центральная»	другие предложения	
Самара	50,1	49,6	28,3	4,7	23,1

Таблица 3

Отношение жителей Самары и Тольятти к внедрению струнного транспорта в городе в дополнение к существующим видам транспорта, в % от опрошенных

Ответы жителей	«Одобрю»	«Одобрю при условии»	Суммарная позиция одобрения	«Не одобряю»	«Затрудняюсь ответить»	Нет ответа
Самара	70,6	4,7	75,3	4,2	17,9	2,6
Тольятти	20,2	43,7	63,9	5,3	19,5	11,3

Тольяттинцы, которые очень ценят лесной массив в городской черте и всячески препятствуют строительству там автодороги, согласились соединить районы города «струной» Sky Way, основным условием было гарантированное обеспечение безопасности лесного массива, сохранение экологии. Жители Самары так же трепетно оберегают заповедную зону Самарской Луки и при этом осознают необходимость обеспечения транспортной связи с рекреационными территориями на левом берегу – три четверти опрошенных в Самаре поддерживают внедрение струнного транспорта в городе для обеспечения связи с удаленными и труднодоступными районами. Высказанными условиями были в основном улучшение экологической ситуации и обеспечение безопасности горожан, доступная стоимость проезда.

Респонденты, посетившие мероприятия Sky Way, уже хорошо владели информацией об этой системе транспорта, поэтому их ответы базировались на готовности использовать транспорт, а оценка складывалась из личных впечатлений от использования. Опрос в Самаре и Тольятти проводился среди людей с малой степенью погруженности в тему, но при этом их ответы поддержки Sky Way довольно высоки. Когда уровень образованности и осведомленности по этой теме вырастет, процент поддержки станет гораздо выше.

В настоящее время официальные представители ЗАО «Струнные технологии» в Поволжье совместно со специалистами ГУП института «ТеррНИИГражданпроект» разрабатывают проекты трассировки маршрутов SkyWay в Самаре и Тольятти.

В Тольятти линиями Sky Way планируется объединить центральные элементы трех районов города, а также связать удаленные городские территории с центром [13, с.64-65].

Самарские маршруты планируются с переходами через реку Волгу до с. Рождествено, и через реку Самару до Южного города. Предусматривается также прямолинейный маршрут по проспекту К. Маркса с целью разгрузить основные продольные магистрали – Московское шоссе и ул. Ново-Садовую, испытывающие сейчас особую нагрузку от автотранспорта. Также планируется туристический маршрут SkyWay (легкая пассажирская трасса) вдоль набережной Волги [12, с.7].

На первую очередь в г. Самаре предлагается строительство мостового перехода по технологии SkyWay, который должен соединить городскую черту Самары с сельским поселением Рождествено, расположенным на противоположном берегу Волги. В результате у жителей Самары появится возможность активнее

использовать рекреационную зону Самарской Луки, а жители села Рождествено получат возможность беспрепятственно посещать Самару. В настоящее время они испытывают трудности коммуникации с городом – об этом указали в ответах 43,2 % опрошенных жителей с. Рождествено. Проектом предусмотрено, что в процессе развития трасса «вольется» в общую городскую транспортную сеть SkyWay, которая впоследствии свяжет города Самару и Тольятти через аэропорт.

По расчетам, реализация проекта в Самаре и Тольятти позволит значительно улучшить транспортную ситуацию в городах: разгрузить существующие автомагистрали, оптимизировать перевозку пассажиров и грузов, в перспективе ликвидировать пробки на дорогах города. Жители удаленных новостроек и районов, отдаленных от города водными преградами, получат возможность быстро и беспрепятственно перемещаться в центральные районы города на работу и с другими целями. Помимо этого, значительно улучшится экологический фон города.

Вывод. Внедрение инновационной системы струнного транспорта Sky Way в жизнь современных городов и регионов эффективно дополнит существующие коммуникации и будет способствовать решению множества проблем. Новые транспортные технологии, нацеленные прежде всего на увеличение скоростей перемещения, позволят изменить всю инфраструктуру городов и образ жизни населения, при этом улучшить экологию, повысить комфорт и безопасность. Внедрение системы струнного транспорта в нашу жизнь в целом способствует подъему экономики как одного города, так и всей страны, улучшит транспортную ситуацию – поможет разгрузить дороги, сделать отдаленные районы доступными, а дальние поездки быстрыми. Сознание граждан становится все больше готово к тому, что не только инновационные, но и транспортные инновации постепенно входят в нашу жизнь, и воспринимают этот факт с энтузиазмом и надеждой на улучшение транспортной и экологической ситуации в ближайшем будущем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлова Е.И., Новиков В.К. Экология транспорта. М.: Юрайт, 2018. 479 с.
2. The modern automobile must die [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.wired.com/story/germany-proves-cars-must-die/> (дата обращения: 13.10.2018).
3. Природные ресурсы и охрана окружающей среды: Самарский статистический ежегодник 2017 г. Самара, 2017.

4. Автостат. Аналитическое агентство [Электронный ресурс]: официальный сайт. Режим доступа: <https://www.autostat.ru> (дата обращения: 10.09.2018).

5. *Вздорова Л.П.* Шестой технологический уклад: последний цикл Кондратьева // *Инновации в науке*: сб. ст. по матер. V междунар. науч.-практ. конф. № 3(52). Ч. II. Новосибирск: СибАК, 2016. С. 140–148.

6. *Гурнева Л.К.* Концепция технологических укладов // *Инновационная экономика*. 2004. № 10. С. 48–50.

7. Федеральная Служба Государственной статистики. Наука и инновации. [Электронный ресурс]: официальный сайт. Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science/# (дата обращения: 20.10.2018).

8. Индикаторы инновационной деятельности: 2018: статистический сборник / Министерство экономического развития Российской Федерации, Федеральная Служба Государственной статистики, Высшая школа экономики. М., 2018. 344 с.

9. ВШЭ: Уровень инноваций в России упал до минимума за 17 лет. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://issek.hse.ru/press/211940170.html> (дата обращения 21.10.2018).

10. *Гужов В.В.* Инновационные направления развития транспортной отрасли в Российской Федерации // *Transport business in Russia*. 2013. № 6. С. 102–105.

11. *Магомедова Э.С.-Х., Мамадиев А.Х.* Формирование эколого-экономической системы в сфере автомобильного транспорта // *Вестник ЮРГТУ (НПИ)*. 2015. № 5. С. 85–90.

12. *Tatiana Filanova, Ekaterina Mikhaylova.* Innovative transport technologies as a basis of cities' and regions' progressive development. MATEC Web of Conferences 106, 01024 (2017) SPbWOSCE-2016.

13. *Мацкевич К.П., Мельникова В.М., Филанова Т.В., Корякина П.Ю., Никонов К.Е.* Тольятти: перспективы развития. Результаты научно-исследовательской работы «Социологические исследования»: монография. Самара: ООО «Печатный дом «ДСМ», 2016. 70 с.

14. Как перестать терять время и деньги в заторах? [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://myfin.by/stati/view/11978-kak-perestat-teryat-vremya-i-dengi-v-zatorah> (дата обращения: 13.10.2018).

15. Innotrans 2018: немного статистики [Электронный ресурс]: официальный сайт. Режим доступа: <http://www.rsw-systems.com/news/innotrans-survey> (дата обращения: 13.10.2018).

16. Экофест 2018: цифры говорят сами за себя [Электронный ресурс]: официальный сайт. Режим доступа: <http://rsw-systems.com/news/ecofest2018-results?lang=ru> (дата обращения: 13.10.2018).

REFERENCES

1. Pavlova E. I., Novikov V.K. *Ekologiya transporta* [Transport ecology]. Moscow, Jurayt Publ., 2018. 479 p.

2. The modern automobile must die. Available at: <https://www.wired.com/story/germany-proves-cars-must-die> (accessed 13 October 2018).

3. *Prirodnye resursy i okhrana okruzhayushchey sredy. Samarskiy statisticheskiy ezhegodnik* [Natural resources and environmental protection. Samara statistical Yearbook]. Samara, 2017. 351 p. P. 28.

4. *Autostat. Analiticheskoe agentstvo* (Autostat. Research Agency): official site. Available at: <https://www.autostat.ru> (accessed 10 September 2018).

5. *Vzdorova L.P.* Sixth technological structure: the last cycle of Kondratiev. *Sbornik statey po materalam LV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Innovatsii v nauke»*. Chast' II. [Collection of articles on the materials of LV international scientific-practical conference «Innovations in science»: no. 3(52). Part II]. Novosibirsk: SibAK Publ., 2016, pp. 140-148. (in Russian)

6. *Gurueva L.K.* The concept of technological structures. *Innovatsionnaya ekonomika* [Innovative economy], 2004, no. 10, pp. 48-50. (in Russian)

7. *Federal'naya Sluzhba Gosudarstvennoy statistiki. Nauka i innovatsii* (Federal State statistics Service. Science and innovation): official site. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/science_and_innovations/science/# (accessed 20 October 2018).

8. *Indikatoriy innovatsionnoy deyatel'nosti:2018. Statisticheskiy sbornik* [Indicators of innovation: 2018. Statistical compendium]. Moscow, Ministerstvo ekonomicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii, Federal'naya Sluzhba Gosudarstvennoy statistiki, Vysshaya shkola ekonomiki Publ., 2018. 344 p.

9. *VShE: Uroven' innovatsiy v Rossii upal do minimuma za 17 let. Natsional'nyy issledovatel'skiy universitet «Vysshaya shkola ekonomiki»* (The level of innovation in Russia has fallen to a minimum in 17 years. National research University «Higher school of Economics»). Available at: <https://issek.hse.ru/press/211940170.html> (accessed 21 October 2018).

10. *Guzhov V.V.* Innovative directions of development of the transport industry in the Russian Federation. *Transport business in Russia*, 2013, no. 6, pp. 102-105. (in Russian)

11. *Magomadova E.S.-Kh., Mamadiev A.Kh.* Formation of ecological and economic system in the field of road transport. *Vestnik JuRGTU (NPI)*, 2015, no. 5, pp. 85-90. (in Russian)

12. *Filanova T.V., Mikhaylova E.A.* Innovative transport technologies as a basis of cities' and regions' progressive development. MATEC Web of Conferences 106, 01024 (2017) SPbWOSCE-2016. DOI: 10.1051.

13. *Matskevich K.P., Mel'nikova V.M., Filanova T.V., Koryakina P.Yu., Nikonov K.E.* *Tol'yatti: perspektivy razvitiya. Rezul'taty nauchno-issledovatel'skoy raboty «Sotsiologicheskie issledovaniya»* [Togliatti: prospects of

development. Results of the research work "Sociological research»]: monograph. Samara, ООО «Pechatnyj dom «DSM» Publ., 2016. 70 p.

14. *Kak perestat' teryat' vremya i den'gi v zatorakh?* [How to stop wasting time and money in traffic jams?] Available at: <https://myfin.by/stati/view/11978-kak-perestat-teryat-vremya-i-dengi-v-zatorah> (accessed 13 October 2018).

Об авторе:

ФИЛАНОВА Татьяна Вячеславовна

кандидат архитектуры, доцент кафедры архитектуры, ведущий научный сотрудник ОНИРиП института ГУП «ТеррНИИГражданпроект» Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 339-14-91
E-mail: filanovatv@mail.ru

15. *Innotrans 2018: nemnogo statistiki* [Innotrans 2018: some statistics]: official site. Available at: <http://www.rsw-systems.com/news/innotrans-survey> (accessed 13 October 2018).

16. *Ekofest 2018: tsifry govoryat sami za sebya* (Ecofest 2018: the numbers speak for themselves): official site. Available at: <http://rsw-systems.com/news/ecofest2018-results?lang=ru> (accessed 13 October 2018).

FILANOVA Tatiana V.

PhD in Architecture, Associate Professor, Department of Architecture
Leading Researcher, Ph.D. Architecture, Docent SSUE «TerrNIIGrazhdanproekt»
Samara State Technical University
Academy of construction and architecture
443001, Russia, Samara, Molodogvardeiskaya str., 194, tel.: (846) 339-14-91
E-mail: filanovatv@mail.ru

Для цитирования: *Филанова Т.В.* Инновации в транспорте и пути решения транспортных и экологических проблем в крупных городах // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 159–166. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.20.

For citation: *Filanova T.V.* Innovations in Transport and Ways of Solving Transport and Environmental Problems in megalopolises // Urban construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 159–166. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.20.

Уважаемые читатели!

Центр инженерно-технических разработок СамГТУ (ЦИТР СамГТУ)
приглашает к сотрудничеству.

Основные направления деятельности Центра:

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

Руководитель *Романчиков Вячеслав Викторович*

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

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ



УДК 621. 323

DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.21

**А. И. ДАНИЛУШКИН
И. А. ДАНИЛУШКИН
В. А. ДАНИЛУШКИН**

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА УСТАНОВКИ ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА НА ОСНОВЕ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ¹

IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTROTECHNICAL
COMPLEX OF GAS COOLING ON THE BASIS OF MODERNIZATION
OF MANAGEMENT SYSTEM

Рассматривается комплексный подход к решению задачи достижения максимальной эффективности электротехнического комплекса охлаждения газа на компрессорных станциях магистральной трубопроводной системы. Показано, что используемый на практике способ дискретного регулирования режимов работы установки охлаждения с помощью включения или отключения определенного количества вентиляторов не всегда обеспечивает требуемые температурные режимы. Повысить эффективность и существенно снизить эксплуатационные расходы позволит использование каскадной системы регулирования. Задача создания двухуровневой системы управления решается на основе структурного моделирования процесса теплообмена как объекта с распределенными параметрами. С помощью декомпозиции объекта управления на «быструю» и «медленную» составляющие разработана структура двухуровневой системы управления для линеаризованной модели объекта. В результате применения предложенной системы достигается минимум расхода электроэнергии на охлаждение газа, увеличение срока службы электроприводных агрегатов и повышается точность стабилизации температуры газа при обработке внешних возмущений.

An integrated approach to solving the problem of achieving the maximum efficiency of the electrical gas cooling complex at the compressor stations of the main pipeline system is considered. It is shown that the method used in practice for discrete control of the operation modes of the cooling unit by switching on or off a certain number of fans does not always provide the required temperature conditions. The use of a cascade control system will improve efficiency and significantly reduce operating costs. The problem of creating a two-level control system is solved on the basis of structural modeling of the heat exchange process as an object with distributed parameters. With the help of decomposition of the control object into "fast" and "slow" components, the structure of a two-level control system for the linearized model of the object is developed. As a result of the application of the proposed system, a minimum of electricity consumption for gas cooling, an increase in the service life of electric drive units and an increase in the accuracy of gas temperature stabilization during the processing of external disturbances are achieved.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 19-08-001A2, № 18-08-00565

Ключевые слова: энергоэффективность, электро-технический комплекс, теплообмен, структурное моделирование, управление

Современная технология транспортировки газа по магистральным трубопроводам требует его охлаждения до определенной температуры. С этой целью на газотранспортных предприятиях – на установках комплексной подготовки газа, компрессорных станциях магистральных газопроводов, дожимных компрессорных станциях, станциях подземного хранения газа и т. д. широкое применение нашли аппараты воздушного охлаждения (АВО) газа. Необходимость охлаждения газа продиктована требованиями повышения пропускной способности магистральных трубопроводных систем, обеспечения качества подготовки товарной продукции, надежности и эффективности эксплуатации газопромыслового оборудования, снижения эксплуатационных расходов в системе транспортировки газа [1, 2]. Температура газа на линейном участке газопровода не должна превышать максимальную температуру, которую способно выдержать изоляционное покрытие трубопровода, а также должна быть выше температуры точки росы для транспортируемого газа во избежание образования гидратов [3, 4].

В реальных условиях эксплуатации экономичное функционирование установки охлаждения, содержащей до 24 электроприводных вентиляторов суммарной мощностью 1500 кВт, при наличии внешних возмущений, таких как изменение производительности, колебания температуры и влажности воздуха, увеличение термического сопротивления за счет загрязнения оребренных поверхностей теплообменника, колебания напряжения питающей сети и др., возможно только за счет применения эффективной системы управления процессом охлаждения [5–7].

Широкое распространение получил дискретный способ регулирования температуры газа путем изменения числа включенных вентиляторов. Однако ступенчатое регулирование не всегда позволяет получить требуемую точность стабилизации температуры. Существенным недостатком дискретного способа регулирования является необходимость частых пусков электродвигателей, что приводит к увеличению непроизводительных затрат электроэнергии и значительно снижает ресурс электродвигателей, не рассчитанных на повторно-кратковременный режим работы. К тому же при восстановлении технологического режима охлаждения газа после перерыва в электроснабжении одновременное включение нескольких вентиляторов

Keywords: energy efficiency, electrical complex, heat exchange, structural modeling, control

может привести к аварийному отключению источника питания, а последовательное включение групп вентиляторов увеличивает время выхода на установившийся режим охлаждения [8–10].

Проведенный авторами анализ нагрузочных характеристик электродвигателей, механических и аэродинамических характеристик вентиляторов показывает, что установленные на агрегатах исполнительные механизмы позволяют устранить имеющиеся недостатки дискретного способа регулирования за счет применения наряду с дискретным регулированием системы непрерывного регулирования частоты вращения вентиляторов. Это позволит улучшить технологические параметры транспортируемого газа и существенно снизить энергозатраты на охлаждение. Как показывают исследования, самой точной и надежной системой охлаждения газа является система непрерывного регулирования с помощью частотных преобразователей, которая имеет простую схему работы, надежна в эксплуатации и легко поддается автоматизации [10, 11].

Применение частотно-регулируемых электроприводов позволяет не только плавно изменять расход воздуха через аппарат, но и создавать специализированные системы управления всем технологическим процессом, проводить диагностику оборудования. Такой подход позволяет получить экономический эффект не только от снижения потребляемой мощности, но и значительно снизить эксплуатационные расходы за счет выбора оптимальной скорости двигателя, увеличения срока службы оборудования.

Для выполнения технологических требований по охлаждению газа до заданной температуры систему автоматического управления процессом охлаждения газа необходимо выполнять в виде системы, замкнутой по температуре газа на выходе установки охлаждения. Это обстоятельство определяет необходимость разработки математической модели, устанавливающей взаимосвязи между температурой газа на выходе из АВО, расходом воздуха, частотой вращения вентилятора и мощностью, потребляемой электродвигателями вентиляторов.

Температура газа на выходе АВО определяется многими факторами: температурой наружного воздуха, расходом газа через теплообменник, скоростью или расходом воздуха, создаваемыми вентилятором, характеристиками вентилятора, эффективностью теплообмен-

ных процессов в системе «воздух – труба – газ». Поведение температуры газа в процессе прохождения его через теплообменный аппарат в установившемся режиме может быть описано следующим уравнением [12]:

$$\alpha_B \cdot S_B \cdot (T_m - T_B) = \alpha_z \cdot S_z \cdot (T_z - T_m),$$

где T_z – температура потока газа на выходе из теплообменника; T_m – температура трубы; α_z – коэффициент теплообмена между внутренней стенкой трубы и газом; S_z, S_B – площади соприкосновения газа с внутренней стенкой трубы и воздуха с оребрением трубы соответственно; α_B – коэффициент теплообмена между оребрением трубы и воздухом; T_B – температура наружного воздуха.

Количество тепла, передаваемого в аппарате воздушного охлаждения от газа к воздуху, определяется из уравнения теплового баланса

$$c_B \cdot \gamma_B \cdot V_B (T_{B.out} - T_{B.in}) = c_z \cdot \gamma_z \cdot V_z (T_{z.in} - T_{z.out}),$$

откуда объемный расход V_B воздуха составляет:

$$V_B = \frac{c_z \cdot \gamma_z \cdot V_z (T_{z.in} - T_{z.out})}{c_B \cdot \gamma_B (T_{B.out} - T_{B.in})}.$$

На основании этой зависимости может быть определена мощность P_Ω электропривода аппарата воздушного охлаждения

$$P_\Omega = \frac{V_B \cdot H_\Pi}{\eta_B},$$

где $H_\Pi = H_{ст} + H_{дин}$, $H_{ст}$ – статический напор вентилятора; $H_{дин}$ – динамический напор вентилятора; η_B – коэффициент полезного действия вентилятора.

На потребление электрической энергии аппаратами воздушного охлаждения влияют следующие факторы:

- конструктивные и эксплуатационные характеристики теплообменных секций АВО;
- энергетические характеристики электродвигателей;
- энергетические характеристики питающей сети – кабельной линии и трансформатора;
- характеристики регулирующего органа;
- способ управления электродвигателями вентиляторов при изменении производительности и условий теплообмена.

Перечисленные выше факторы, определяющие потери электроэнергии, можно разделить на две группы: потери в элементах системы электроснабжения и потери в электродвигателе.

Для решения задач управления режимами работы установки охлаждения газа необходимо создание приемлемых по точности

аналитических моделей теплового режима теплообменного аппарата с учетом различных возмущающих факторов и разработки на их основе алгоритмов управления включением в работу тех или иных аппаратов в зависимости от расхода и температурного режима газа, от климатических условий, энергетической эффективности каждого аппарата и т. д.

При синтезе системы автоматического управления температурой газа на выходе аппаратов нужно учесть, что температура в данной точке формируется при прохождении газа по трубкам теплообменника, т. е. для более точного описания объекта управления необходимо рассматривать распределение температурного поля по длине труб теплообменника.

В основе конструкции большинства аппаратов воздушного охлаждения газа лежит общий принцип – охлаждение газа путем обтекания пучков параллельных оребренных труб поперечным потоком воздуха. Это позволяет создать единую математическую модель процесса охлаждения газа, приняв ряд допущений [13, 14].

В качестве математической модели процесса охлаждения газа в динамике используется уравнение теплового баланса, согласно которому распределение температуры $T(x, t)$ по длине в зависимости от координаты точки x и времени t описывается уравнением

$$\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial T(x, t)}{\partial x} = \beta(t) \cdot (T_B - T(x, t)), \quad (1)$$

$$0 \leq x \leq L, \quad t > 0$$

с краевыми и начальными условиями

$$T(x, 0) = T_0(x), \quad T(0, t) = g(t),$$

где v – «скорость» потока, $v = F/S_{mp}$; F – расход газа; S_{mp} – площадь поперечного сечения трубки; $\beta(t) = \frac{2\alpha(t)}{c\gamma R}$ – приведенный коэффициент

теплообмена: $\alpha(t)$ – коэффициент теплообмена, в общем случае зависящий от расхода охлаждающего воздуха через теплообменник; γ – плотность газа; c – удельная теплоемкость газа; R – радиус трубки теплообменника; T_B – температура воздуха, которую благодаря высоким скоростям потоков охлаждающего воздуха и газа можно принять постоянной на всё время процесса; L – длина трубки теплообменника; $T_0(x)$ – начальное распределение температуры по координате x ; $g(t)$ – функция изменения температуры газа на входе теплообменника.

Структурная теория распределенных систем позволяет использовать для анализа уравнения (1) передаточную функцию объекта

управления с распределенными параметрами [15]:

$$W(x, \xi, p) = \mathbf{1}(x - \xi) \times \frac{1}{v} \times \exp\left[-\frac{1}{v} \times (p + \beta) \times (x - \xi)\right], \quad (2)$$

где $\mathbf{1}(x - \xi)$ – передаточная функция пространственно-интегрирующего блока,

$$\mathbf{1}(x - \xi) = \begin{cases} 0, & \text{при } x < \xi \\ 1, & \text{при } x > \xi \end{cases}. \quad (3)$$

В уравнение (1) входит произведение двух функций $\beta(t)$ и $T(x, t)$, зависящих от времени. В общем случае такое уравнение не имеет точного решения, поэтому анализ температурного поля выполняется путём линеаризации уравнения (1) в отклонениях от некоторого установившегося режима ($\beta_c, T_c(x)$): $\beta(t) = \beta_c + \Delta\beta(t)$, $T(x, t) = T_c(x) + \Delta T(x, t)$. Линеаризованное уравнение теплового баланса (1) принимает следующий вид:

$$\frac{\partial \Delta T(x, t)}{\partial t} + v \frac{\partial \Delta T(x, t)}{\partial x} + \beta_c \Delta T(x, t) = \beta_c T_B + \Delta\beta(t) T_B - \beta_c T_c(x) - \Delta\beta(t) T_c(x) - v \frac{\partial T_c(x)}{\partial x}. \quad (4)$$

Решение уравнения (4) находится в результате выполнения операции интегрирования по пространственной области произведения двух функций: передаточной функции объекта с распределенными параметрами и стандартизирующей функции. Интегрирование ведётся по внутренним пространственным переменным в области их определения:

$$\begin{aligned} \bar{T}(x, p) &= W(x, \xi, p) \otimes \bar{\omega}(x, p) = \\ &= \int_D W(x, \eta, p) \cdot \bar{\omega}(\eta, p) \cdot d\eta, \end{aligned} \quad (5)$$

где $\bar{\omega}(x, p)$ – изображение по Лапласу стандартизирующей функции, полученной из уравнения (4) для установившегося режима ($\Delta\beta(t) = 0$, $\Delta T(x, t) = 0$):

$$\bar{\omega}(x, p) = \bar{\Delta\beta}(p) \cdot \exp\left(-\frac{x}{v} \beta_c\right) \cdot T_B. \quad (6)$$

Рассматривая процесс в отклонениях, с нулевым начальным температурным распределением, передаточной функцией (4) и стандартизирующей функцией (6), решение интеграла (5) будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \bar{T}(x, p) &= T_B \cdot \bar{\Delta\beta}(p) \cdot \frac{1}{p} \times \\ &\times \left[\exp\left(-\frac{\beta_c}{v} \cdot x\right) \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{p}{v} \cdot x\right)\right) \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Из выражения (7) при $x = L$ (что соответствует управлению температурой газа на выходе теплообменника) можно записать передаточные функции как для сосредоточенной системы. По каналу «изменение коэффициента теплообмена – температура газа» на выходе теплообменника она имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} W_{\Delta\beta}(p) &= \frac{\bar{T}(p)}{\Delta\beta(p)} = \\ &= T_c \cdot \frac{1}{p} \cdot \left[\exp\left(-\frac{\beta_c}{v} \cdot L\right) \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{p}{v} \cdot L\right)\right) \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

На рис. 1 представлена структурная схема объекта управления «электропривод – вентилятор – поток газа», где в качестве управляющего воздействия выступает изменение величины коэффициента теплообмена $\Delta\beta(p)$, а температура охлаждающего потока воздуха $\bar{T}_B(p)$ и температура газа на входе теплообменника $\bar{T}_I(p)$ выступают в виде возмущающих воздействий. Статическая нелинейная характеристика f_1 описывает зависимость расхода воздуха от скорости вращения электропривода, а статическая нелинейная характеристика f_2 – зависимость приведённого коэффициента теплообмена $\beta(t)$ от расхода воздуха.

При разработке системы управления необходимо учитывать процессы теплообмена в магистральном газопроводе. В процессе транспортировки по магистральному газопроводу изменяются температура и давление газа. При этом оба параметра изменяются как во времени, так и по длине газопровода.

Температура $T_{TP}(x, t)$ и давление $P_{TP}(x, t)$ в каждой точке газопровода $x \in [0, L_{TP}]$ в общем случае описываются системой взаимосвязанных нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных [16, 17].

Значительная протяжённость трубопровода позволяет принять, что все процессы, протекающие в установке охлаждения газа (УОГ), перед подачей газа в трубопровод имеют сосредоточенный характер и зависят только от времени. При этом динамика изменения температуры $T_{yOГ}(t)$ газа на выходе УОГ определяется:

- поведением температуры $T_{yOГ}(t)$ и давления $P_{yOГ}(t)$ на входе УОГ;
- температурой $T_{oc}^{yOГ}(t)$ окружающей среды на УОГ;
- режимами работы аппаратов воздушного охлаждения, входящих в состав УОГ.

При рассмотрении связи «УОГ – магистральный газопровод» как объекта управления она может быть представлена в виде структурной схемы (рис. 2).

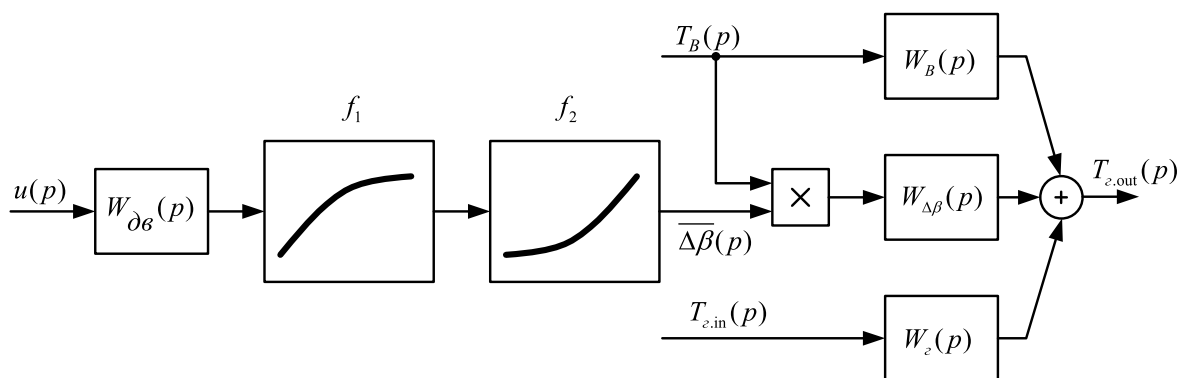


Рис. 1. Структурная схема объекта управления «электропривод– вентилятор – поток газа»

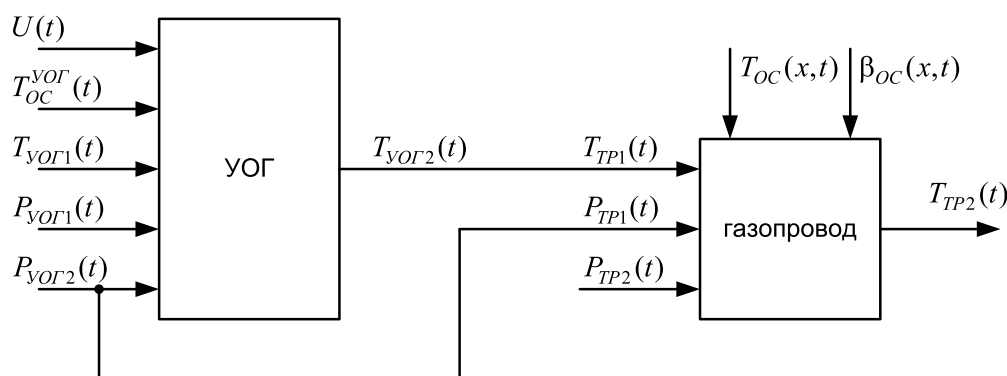


Рис. 2. Структурная схема объекта управления «установка охлаждения – магистральный газопровод»

На рис. 2 входные сигналы, поступающие на функциональные блоки слева, являются измеряемыми. Сигналы, поступающие сверху, рассматриваются как неизмеряемые и в общем случае являются неизвестным возмущением. В процессе эксплуатации объект «установка охлаждения – газопровод» может проявлять параметрическую нестабильность из-за изменения условий эксплуатации как установки охлаждения, так и газопровода.

Структура объекта управления, представленная на рис. 3, является базовой и может использоваться для моделирования нескольких последовательно соединённых участков «установка охлаждения – газопровод».

Рассматриваемая структура объекта управления позволяет сделать вывод, что объект управления состоит из двух частей: «быстрой» – установка охлаждения, и «медленной» – газопровод. Для повышения устойчивости подобных систем при построении систем автоматического управления используют структуры каскадного или подчинённого регулирования. Функциональная схема каскадной системы управления представлена на рис. 3.

Внутренний контур управления представляет собой регулятор для «быстрой» части системы, внешний контур управления – регулятор для «медленной» части. Требуемое значение температуры газа $T_{TP2}^*(t)$, которое должно поддерживаться на выходе участка магистрального газопровода, сравнивается с текущим значением температуры $T_{TP2}(t)$. Рассогласование сигналов поступает на вход регулятора газопровода (регулятор ГП). Управляющее воздействие с выхода регулятора ГП выступает заданием для системы управления установкой охлаждения газа.

Рассчитанное управляющее воздействие сравнивается с текущим значением температуры на выходе УОГ $T_{yog2}(t)$. Сигнал рассогласования поступает на вход регулятора внутреннего контура системы управления – на регулятор УОГ. Регулятор УОГ, в свою очередь, определяет режим работы установки таким образом, чтобы обеспечить заданную температуру на её выходе. Для повышения эффективности системы управления при отработке динамических режимов в процессе синтеза системы управления используется информация об основных

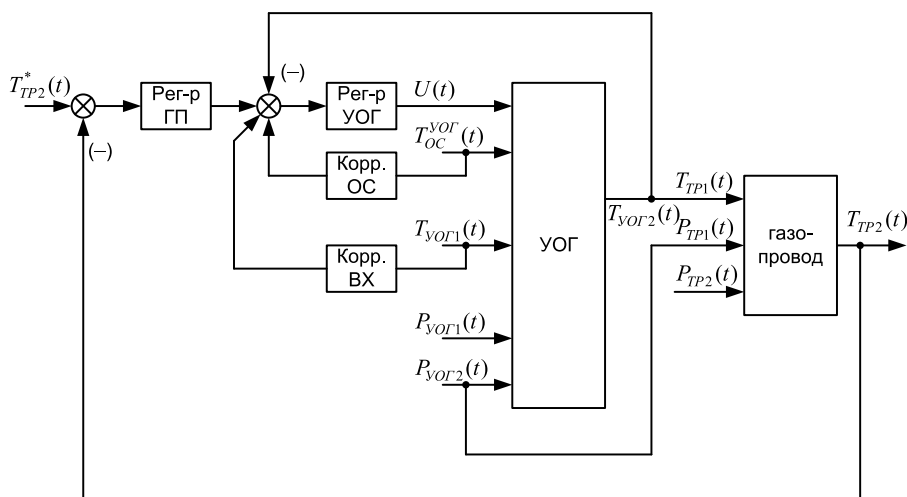


Рис. 3. Функциональная схема двухуровневой системы управления объектом «установка охлаждения – магистральный газопровод»

измеряемых возмущениях, присущих объекту управления. Сигнал по возмущению заводится на вход регулятора через реальное дифференцирующее звено с соответствующими коэффициентами. Наличие дифференциальной составляющей «отключает» корректирующее звено при постоянном значении возмущения. Температурные возмущения учитываются сигналами температуры газа на входе УОГ (Корр. ВХ) и температуры окружающей среды УОГ (Корр. ОС).

Качество работы системы управления определяется точностью математической модели объекта управления. Кроме того, качество зависит от чувствительности алгоритмов управления к изменению параметров объекта управления.

Выводы. Одним из направлений работ по снижению эксплуатационных издержек за счёт уменьшения энергетической составляющей является оптимизация режимов работы установки охлаждения газа. Существующий дискретный способ управления процессом охлаждения газа не всегда обеспечивает требуемые качественные показатели работы системы охлаждения газа.

Эффективность автоматического управления режимами работы установки охлаждения может быть обеспечена лишь при условии создания двухуровневой системы управления, которая обеспечивает минимизацию потребления электроэнергии, затрачиваемой на охлаждение газа. Двухуровневая система управления обеспечивает коррекцию режимов работы электроприводов вентиляторов компрессорной станции в зависимости от параметров перекачиваемого газа и от условий внешней среды сочетанием дискретного и непрерывного способов регулирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трубопроводный транспорт нефти и газа / Р.А. Алиев, В.Д. Белоусов, А.Г. Немудров и др. 2-е изд. М.: Недра, 1988. 368 с.
2. Кочергин В.И. Расчет процессов охлаждения в условиях газовой промышленности и газонефтепереработки. М.: МИНГ им. И.М. Губкина, 1988. 78 с.
3. Алимов С.В., Лифанов В.А., Миатов О.Л. Аппараты воздушного охлаждения газа: опыт эксплуатации и пути совершенствования // Газовая промышленность. 2006. № 6. С. 54–57.
4. Бахмат В.Г., Еремин Н.В., Степанов О.А. Аппарат воздушного охлаждения на компрессорных станциях. СПб.: Недра, 1994. 102 с.
5. Бикчентай Р. Н., Козаченко А.Н., Поршаков Б.П. Влияние температуры транспортируемого газа на топливно-энергетические затраты КС // Газовая промышленность. 1991. № 2. С. 19–21.
6. Данилушкин А.И., Крайнов В.Г., Мигачева Л.А. Оптимизация стационарного распределения нагрузки аппаратов воздушного охлаждения газа // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. 2011. Вып. № 3(31). С. 159–165.
7. Минаева В.А., Калехтан П.Х. Оптимизация температурного режима транспорта газа по газопроводу «Союз» // Научно-технические достижения и передовой опыт, рекомендуемые для внедрения в газовой промышленности. М.: ВНИИГазпром 1991. № 4. С.22–28.
8. Данилушкин А.И., Данилушкин И.А. Оптимизация электропотребления электротехнического комплекса установки охлаждения газа // Градостроительство и архитектура». 2018. Т.8, № 1. С.124–129.
9. Белоусенко И.В., Шварц Г.Р., Великий С.Н. и др. Новые технологии и современное оборудование в электроэнергетике газовой промышленности. М.: Недра, 2002. 300 с.

10. Абакумов А.М., Алимов С.В., Мигачева Л.А. Аналитическое и экспериментальное исследование стационарных режимов работы установок охлаждения газа компрессорных станций магистральных газопроводов // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. «Технические науки». 2010. № 7. С. 113–117.

11. Данилушкин А.И., Давыдова Н.М., Животягин Д.А. Исследование вентиляционного аппарата как объекта управления и постановка задачи управления // VIII МНПК «Актуальные проблемы энергетики АПК» / Саратовский ГАУ. Саратов, 2017. С. 51–53.

12. Алимов С.В., Данилушкин И.А., Мосин В.Н. Моделирование установившихся процессов теплообмена в аппаратах воздушного охлаждения газа // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2010. Вып. № 2(26). С. 178–186.

13. Данилушкин А.И., Данилушкин И.А. Численно-аналитическая модель транспортировки газа по линейному участку газопровода // Известия Томского политехнического университета. 2015. Т. 326. № 12. С. 96–103.

14. Базаров А.А., Данилушкин А.И. Моделирование процессов теплообмена между газопроводом и окружающей средой // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». 2015. Вып. № 2(46). С.66–76.

15. Рапорт Э.Я. Оптимальное управление системами с распределенными параметрами. М.: Высшая школа, 2009. 677 с.

16. Грабовец В.А., Данилушкин А.И., Данилушкин И.А. и др. Метод моделирования температуры газа при транспортировке по магистральному газопроводу // Газовая промышленность. 2016. № 9 (743). С. 26–30.

17. Базаров А.А., Данилушкин А.И. Моделирование тепловых и гидравлических процессов в магистральном газопроводе // Известия Томского политехнического университета. 2017. Т. 328. Вып. 6. С. 81–90.

REFERENCES

1. Aliev R.A., Belousov V.D., Nemudrov A.G. e.a. *Truboprovodnyj transport nefti i gaza* [Pipeline transport of oil and gas]. Moscow, Nedra, 1988. 368 p.

2. Kochergin V.I. *Raschet processov ohlazhdenija v uslovijah gazovoj promyshlennosti i gazoneftepererabotki* [Calculation of cooling processes in the gas industry and gas and oil refining]. Moscow, 1988. 78 p.

3. Alimov S.V., Lifanov V.A., Miatov O.L. Gas air coolers: operating experience and ways to improve. *Gazovaja promyshlennost'* [Gaz Industry], 2006, no. 6, pp. 54–57. (in Russian)

4. Bakhmat V.G., Eremin N.V., Stepanov O.A. *Apparat vozdušnogo ohlazhdenija na kompressornyh stancijah* [Air cooler at compressor stations]. Saint Petersburg, Nedra, 1994. 102 p.

5. Bikhentay R.N., Kozachenko A.N., Porshakov B.P. The effect of the temperature of the transport-

ed gas on the fuel and energy costs of the compressor. *Gazovaja promyshlennost'* [Gaz Industry], 1991, no. 2, pp. 19–21. (in Russian)

6. Danilushkin A.I., Kraynov V.G., Igacheva L.A. Optimization of the stationary load distribution of gas air-cooling units. *Vestnik Samar. gos. tehn. un-ta. Ser. Tehniceskie nauki* [Bulletin of Samara State Technical University. Engineering], 2011, no. 3(31), pp. 159–165. (in Russian)

7. Minaeva V.A., Kalekhtan P.K. Optimization of the temperature regime of gas transport through the Soyuz gas pipeline. *Nauchno-tehniceskie dostizhenija i peredovoj opyt, rekomenduemye dlja vnedrenija v gazovoj promyshlennosti* [Scientific and Technological Achievements and Best Practices Recommended for Implementation in the Gas Industry]. Moscow, 1991, no. 4, pp. 22–28. (in Russian)

8. Danilushkin A.I., Danilushkin I.A. Optimization of electrotechnical power consumption of gas cooling system complex. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, V,8, no. 1, pp 124–129. (in Russian)

9. Belousenko I.V., Shvarts G.R., Veliky S.N. e.a. *Novye tehnologii i sovremennoe oborudovanie v jelectrojenetike gazovoj promyshlennosti* [New technologies and modern equipment in the electric power industry of the gas industry]. Moscow, Nedra, 2002. 300 p.

10. Abakumov A.M., Alimov S.V., Migacheva L.A. Analytical and experimental study of stationary operating modes of gas cooling units of compressor stations of gas mains. *Vestnik Samar. gos. tehn. un-ta. Ser. Tehniceskie nauki* [Bulletin of Samara State Technical University. Engineering], 2010, no. 7, pp. 113–117. (in Russian)

11. Danilushkin A.I., Davydova N.M., Zhivotyagin D.A. Study of the ventilation apparatus as a control object and statement of the control problem. *VIII MNPК «Aktual'nye problemy jenergetiki APK»* [VIII MNPК “Actual problems of the energy sector of the agro-industrial complex”]. Saratov, 2017, pp. 51–53. (in Russian)

12. Alimov S.V., Danilushkin I.A., Mosin V.N. Modeling of steady-state heat transfer processes in gas air-cooling units. *Vestnik Samar. gos. tehn. un-ta. Ser. Tehniceskie nauki* [Bulletin of Samara State Technical University. Engineering], 2010, no. 2(26), pp. 178–186. (in Russian)

13. Danilushkin A.I., Danilushkin I.A. Numerical-analytical model of gas transportation along a linear section of a gas pipeline. *Izvestija Tomskogo politehniceskogo universiteta* [Bulletin of Tomsk Polytechnic University], 2015, Vol. 326, no.12, pp. 96–103. (in Russian)

14. Bazarov A.A., Danilushkin A.I. Simulation of heat transfer processes between a gas pipeline and the environment. *Vestnik Samar. gos. tehn. un-ta. Ser. Tehniceskie nauki* [Bulletin of Samara State Technical University. Engineering], 2015, no. 2(46), pp. 66–76. (in Russian)

15. Rapoport E.Ya. *Optimal'noe upravlenie sistemami s raspredelennymi parametrami* [Optimal management of distributed parameter systems]. Moscow, High School, 2009. 677 p.

16. Grabovets V.A., Danilushkin A.I., Danilushkin I.A. e.a. Method for modeling gas temperature during transportation through a gas pipeline. *Gazovaya promyshlennost'* [Gaz Industry], 2016, no. 9 (743), pp. 26–30. (in Russian)

17. Bazarov A.A., Danilushkin A.I. Modeling of thermal and hydraulic processes in a gas main. *Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta* [Bulletin of Tomsk Polytechnical University], 2017, V. 328, no. 6, pp. 81–90. (in Russian)

Об авторах:

ДАНИЛУШКИН Александр Иванович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электроснабжения промышленных предприятий электротехнического факультета Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: aidanilushkin@mail.ru

ДАНИЛУШКИН Иван Александрович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации и управления в технических системах института автоматизации и информационных технологий Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: idanilushkin@mail.ru

ДАНИЛУШКИН Василий Александрович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий электротехнического факультета Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: vasilydan2013@yandex.ru

DANILUSHKIN Alexander I.

Doctor of Engineering Science, Professor of the Power Supply of Industrial Enterprises Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244, tel. (927) 201-47-36 E-mail: aidanilushkin@mail.ru

DANILUSHKIN Ivan A.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Automation and Control in Technical Systems Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244, tel. (846)337-07-00 E-mail: idanilushkin@mail.ru

DANILUSHKIN Vasily 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, tel. (846) 242-36-90 E-mail: vasilydan2013@yandex.ru

Для цитирования: 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.

For citation: 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// Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 167–174. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.21.

А. И. ЗЕМЦОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГАЗОКОМПРЕССОРНОГО ЦЕХА ЗА СЧЕТ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСЕТИ НА ОСНОВЕ ГЕНЕРАТОРОВ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

POWER SUPPLY EFFICIENCY INCREASE OF THE GAS-COMPRESSOR
WORKSHOP DUE TO MICROGRID FORMATION ON THE BASIS
OF OWN NEED GAS-DISTRIBUTING UNITS GENERATORS

Рассмотрена возможность использования постоянного тока в системах внутрицехового электро-снабжения предприятий с целью уменьшения потерь электроэнергии, повышения надежности электро-снабжения и решения проблем электро-магнитной совместимости. Для системы электро-снабжения газокompрессорного цеха предложена структурная схема микросети постоянного тока на основе генераторов собственных нужд, которыми оснащены газоперекачивающие агрегаты. Проанализировано использование данных генераторов при изменяемой частоте вращения вала, с возможностью регулирования производительности газоперекачивающих агрегатов для оптимизации режима транспорта газа. Обосновано объединение генераторов собственных нужд в микросеть с целью использования избытка энергии для электро-снабжения аппаратов воздушного охлаждения газа.

Ключевые слова: газоперекачивающий агрегат, компрессорный цех, электро-снабжение, синхронный генератор, микросеть постоянного тока

В себестоимости природного газа транспортная составляющая достигает 50 % и более, поэтому очевидна необходимость ее снижения за счет применения инновационных технологий.

Возможны следующие пути снижения энергозатрат на транспортировку газа:

- повышение КПД газоперекачивающих агрегатов (ГПА);
- снижение энергозатрат на эксплуатацию аппаратов воздушного охлаждения (АВО) газа;
- обеспечение сбалансированного режима работы ГПА и АВО газа;
- снижение затрат на выработку электроэнергии электростанциями собственных нужд (ЭСН) на компрессорных станциях (КС) с автономным или комбинированным электро-снабжением.

Большой резерв экономии топливно-энергетических ресурсов заложен в совершенство-

The possibility of the direct current use in the enterprise intra shop power supply systems for the electric power loss reduction purpose, the power supply reliability and the electromagnetic compatibility problem solution is considered. The structural direct current micro network scheme on the basis of own need generators, equipping gas-distributing units for gas-compressor workshop electrical generating system, is suggested. The use of these generators at changeable shaft speed is analyzed, with a possibility of regulation of gas-distributing unit capacity for the transporting gas optimization mode. The own need generators combination in the micro network for the purpose of energy surplus use for the gas air coolers power supply is essential.

Keywords: gas-distributing unit, compressor workshop, power supply, synchronous generator, direct current microgrid

вании технологии охлаждения газа, так как этот процесс является энергоемким. Мощность, потребляемая электродвигателями АВО газа одного компрессорного цеха, составляет сотни киловатт, что оказывает существенное влияние на структуру электропотребления КС МГ, особенно с газотурбинным приводом нагнетателей. Расход электроэнергии на охлаждение газа может составлять 60–70 % и более общего электропотребления на транспорт газа [1].

Существенный экономический эффект достигается, в частности, при оснащении электродвигателей АВО газа преобразователями частоты (ПЧ), с помощью которых осуществляется оптимальное регулирование производительности вентиляторов при вариациях температуры окружающей среды и технологических параметров транспорта газа [2].

Вместе с тем, интенсивный процесс внедрения частотно-регулируемых электроприводов

обозначил такую проблему, как снижение качества электроэнергии в сети [3]. Это объясняется тем, что входное звено ПЧ выполняется в виде выпрямителя, который потребляет из сети ток несинусоидальной формы. При определенном количестве работающих электроприводов показатели качества электроэнергии, характеризующие несинусоидальность напряжения, перестают соответствовать требованиям ГОСТ 32144-2013. Из-за высших гармоник токов и напряжений возрастают потери в кабельных линиях и трансформаторах, нарушается работа конденсаторных компенсирующих установок, устройств автоматики и защиты.

В этих условиях становится очевидным, что внутрицеховая система распределения энергии на переменном токе является неэффективной. Определенные преимущества может дать переход на электроснабжение цехов предприятия с использованием постоянного тока [4]. Реализация внутрицехового электроснабжения на постоянном токе позволяет уменьшить потери электроэнергии, повысить надежность электроснабжения, снизить остроту проблемы электромагнитной совместимости.

Идеи по созданию систем электроснабжения промышленных предприятий с промежуточным звеном постоянного тока начали выдвигаться более 10 лет назад. Они оказались плодотворными для тех объектов, где имеется большое количество технологического оборудования с частотно-регулируемым электроприводом [5]. Надо отметить, что работы по развитию этого направления в электроэнергетике активно ведутся в Европе. По данным журнала SW&W в Германии реализуется проект по созданию высокоэффективных системных решений с электроприводами на основе сетей постоянного тока, в реализации которого принимают участие 21 промышленная компания, 4 научно-исследовательских института и Центральный Союз электротехнической и электронной промышленности [6]. Проект финансируется в течение трех лет концерном BMW в сумме 10 млн. евро.

В настоящее время концепция использования постоянного тока получила новый импульс в результате интенсивного процесса создания и развития микросетей. Этот процесс обусловлен тем, что микросети имеют ряд преимуществ по сравнению с классическими способами генерирования, передачи и распределения энергии [7].

Перспективным направлением в энергетике магистрального транспорта газа является также перевод ГПА и АВО газа на автономное электроснабжение от генераторов собственных нужд (ГСН). Благодаря тому, что турбины ГПА работают в режиме, близком к оптимальному,

выработка электроэнергии ГСН осуществляется с меньшими затратами топливного газа, чем отдельно установленными газотурбинными электростанциями. Согласно проведенной оценке применение ГСН позволяет сократить расход топливного газа на собственное электроснабжение модульного ГПА на 11–28 % в зависимости от единичной мощности ГПА и типа агрегатов ЭСН [8].

Автономное электроснабжение газотурбинных ГПА является предметом изучения и обсуждения достаточно длительное время. Имеется опыт эксплуатации более 280 агрегатов импортного производства (ГТК-10И, ГТК-25И), оснащенных генераторами собственных нужд. Пуск газотурбинного ГПА осуществляется при внешнем электроснабжении, затем в работу подключается ГСН после того, как вал отбора мощности ГПА достигает рабочих оборотов.

ГСН представляет собой синхронную машину, в которой скорость вращения магнитного поля в ее рабочем зазоре равна скорости вращения ротора. На импортных агрегатах, например типа ГТК-10И, генератор подключается через редуктор к валу отбора мощности, который выходит от турбины высокого давления через осевой компрессор (рис. 1).

Существующие ГПА с ГСН рассчитаны на работу с постоянной частотой вращения вала отбора мощности. Частота f генерируемого напряжения связана с частотой вращения приводного вала n :

$$f = \frac{n \cdot p}{60}, \quad (1)$$

где p – число пар полюсов электрической машины.

Установленный в агрегате ГТК-10И генератор M2 315 фирмы Marelli Motori развивает мощность 250 кВт. Он имеет две пары полюсов и при номинальной скорости вращения вала 1500 об/мин генерирует напряжение 380 В с частотой 50 Гц.

Напряжение на выходе генератора при активно-индуктивной нагрузке определяется формулой

$$U = \sqrt{E_0^2 - (x_1 I_a)^2}, \quad (2)$$

где E_0 – ЭДС генератора; x_1 – синхронное реактивное сопротивление якоря; I_a – ток якоря.

ЭДС генератора можно вычислить по формуле

$$E_0 = C_e \cdot \Phi \cdot n, \quad (3)$$

где C_e – постоянная для каждой электрической машины величина; Φ – основной магнитный поток в воздушном зазоре, который зависит от тока нагрузки I_a и тока возбуждения I_B .



Рис.1. Внешний вид генератора собственных нужд агрегата ГТК-10И

Недостатком схемы электроснабжения ГПА с ГСН является необходимость стабилизации частоты вращения вала турбины, что усложняет возможность регулирования технологического режима транспорта газа. В соответствии с ГОСТ Р 54404-2011 «Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия» конструкция ГПА должна обеспечивать регулирование его производительности. При этом изменение скорости вращения турбины может находиться в пределах от 70 до 105 % от номинальной в зависимости от требуемого технологического режима работы нагнетателя. Однако необходимость стабилизации скорости вращения вала ГСН не позволяет реализовать это требование.

Электрическая энергия, вырабатываемая ГСН, должна соответствовать требованиям ГОСТ 32144-2013. При работе с фиксированной частотой вращения вала штатная система стабилизации выходного напряжения ГСН обеспечивает выполнение своих функций за счет изменения тока возбуждения I_B . Однако в соответствии с выражениями (1)–(3) при изменении режима работы ГПА происходит изменение не только частоты f выходного напряжения, но и его действующего значения U .

Для выполнения требований по качеству электроэнергии ГСН ГПА при работе с варьируемой частотой вращения приводного вала должен быть оснащен системой преобразования частоты. Возможные варианты схемных решений такой системы показаны в [9].

Вместе с тем оснащение ГСН ГПА системой преобразования частоты не позволяет передавать избытки электрической мощности от генератора в систему электроснабжения компрессорного цеха. Для решения этой задачи может быть использован подход, предусматривающий формирование микросети постоянного тока [10].

На рис. 2 показана схема электроснабжения газокompрессорного цеха с ГПА, оснащенными ГСН. Турбины ГПА вращаются с различными скоростями n_k , вследствие чего их ГСН вырабатывают электроэнергию с частотой f_k и действующим значением напряжения U_k . Потоки электроэнергии переменного тока с указанными параметрами с помощью выпрямителей B_k , регуляторов постоянного напряжения РПН_к и сглаживающих фильтров СФ_к преобразуются в электроэнергию постоянного тока, потоки которой суммируются на шине постоянного тока.

Далее инверторы I_k и выходные фильтры ВФ_к каждого ГПА обеспечивают получение электроэнергии переменного тока промышленной частоты, необходимой для питания электроприемников ЭП_к данного ГПА.

После запуска и выхода ГПА на номинальный режим ГСН, в зависимости от номинальной мощности, может отдать в микросеть 150 – 200 кВт. Если в работе находится N агрегатов, то суммарная избыточная мощность составляет $N \cdot (150 - 200)$ кВт. При определенном числе N этой мощности может оказаться вполне достаточным для обеспечения работы АВО газа. Избыток мощности в микросети постоянного тока с помощью инверторов $I_{АВО}$ преобразуется в электроэнергию переменного тока, частота и действующее значение напряжения которой требуется для питания электродвигателей АВО газа. Дефицит электроэнергии для питания электродвигателей АВО газа восполняется из питающей сети с помощью трансформатора T и выпрямителя B_0 . Эта же цепь служит для первоначального запуска электрооборудования ГПА.

Уравнение баланса мощностей в микросети постоянного тока (без учета потерь мощности в преобразовательных устройствах) имеет вид

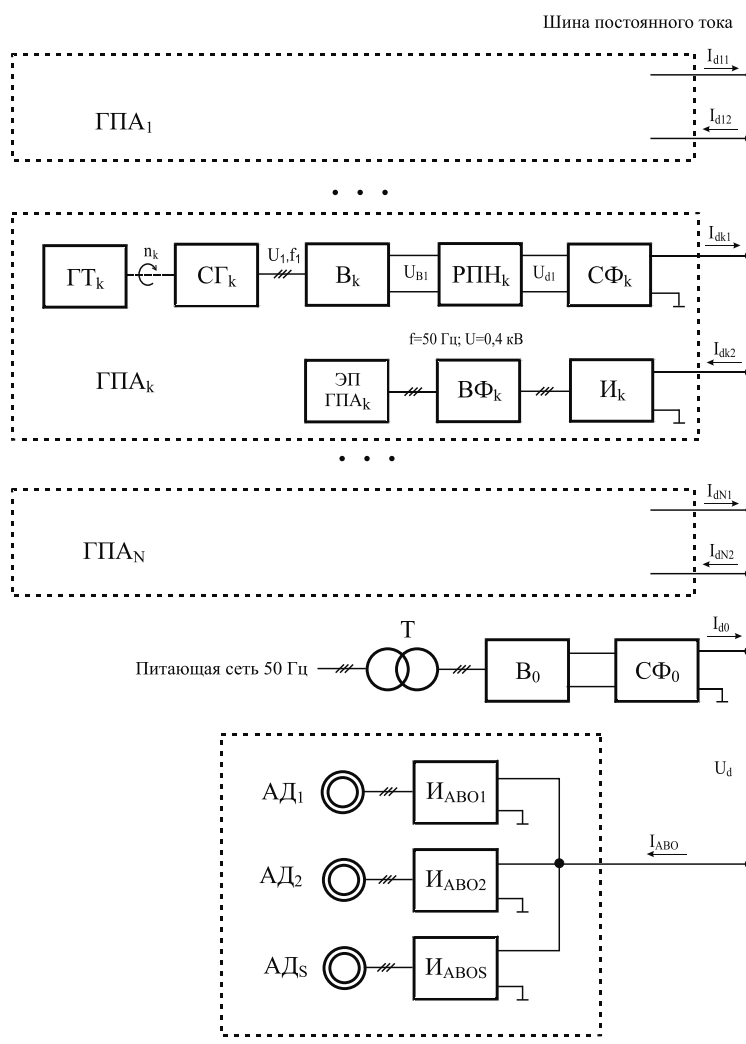


Рис. 2. Схема электроснабжения газокomppressorного цеха с микросетью постоянного тока

$$\sum_{k=1}^N P_{Гк} + P_T = \sum_{k=1}^N P_{ЭПк} + P_{АВО}, \quad (4)$$

где $P_{Гк}$ – мощности, отдаваемые генераторами собственных нужд $С_{Гк}$ соответствующего ГПА; P_T – мощность, забираемая из питающей сети через трансформатор T ; $P_{ЭПк}$ – мощности, потребляемые электроприемниками $ЭП_k$ соответствующего ГПА; $P_{АВО}$ – мощность, потребляемая электродвигателями вентиляторов АВО газа.

На основании (4) следует, что мощность, потребляемая рассматриваемым электротехническим комплексом, может быть определена по формуле

$$P_T = \sum_{k=1}^N P_{ЭПк} + P_{АВО} - \sum_{k=1}^N P_{Гк}. \quad (5)$$

Таким образом, для уменьшения затрат на приобретение электроэнергии у сетевой организации необходимо, чтобы генераторы собственных нужд всех ГПА работали в номинальном режиме.

Так как суммирование и распределение потоков энергии происходит в микросети постоянного тока с напряжением U_d , то формулу (5) можно записать следующим образом:

$$I_{d0} = \sum_{k=1}^N (I_{dk2} - I_{dk1}) + I_{АВО}, \quad (6)$$

где I_{d0} – выходной ток выпрямителя V_0 ; I_{dk1} , I_{dk2} – токи k -го ГПА после сглаживающего фильтра $СФ_k$ и на входе инвертора $И_k$; $I_{АВО}$ – суммарный ток, потребляемый АВО газа от шины постоянного тока.

Из формулы (6) следует, что выходной ток I_{d0} выпрямителя V_0 будет иметь минимальное

значение, если в заданном диапазоне изменения токов I_{dk2} и I_{ABO} токи I_{dk1} равны номинальным значениям. Этого можно добиться за счет соответствующего закона управления регуляторами постоянного напряжения РПН_к.

Выводы. Формирование микросети постоянного тока на основе ГСН позволяет использовать избыток энергии для электроснабжения АВО газа. При этом благодаря возможности ГПА работать с регулируемой производительностью оптимизируется режим транспорта газа, что снижает расход топливного газа. Повышается энергонезависимость газокomppressorной станции от неблагоприятных воздействий, возникающих в системе внешнего электроснабжения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аршакян И.И., Артюхов И.И. Динамические режимы в системах электроснабжения установок охлаждения газа. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2004. 120 с.
2. Артюхов И.И., Аршакян И.И., Тарисов Р.Ш., Тримбач А.А., Устинов Е.В. Ресурсосберегающая технология охлаждения газа на компрессорных станциях // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. № 1(54). Вып. 3. С. 25–32.
3. Артюхов И.И., Боцкарева И.И., Молот С.В. Влияние частотно-регулируемого электропривода вентиляторов на питающую сеть // Научное обозрение. 2015. № 4. С. 29–35.
4. Змиева К.А., Кулагин О.А. Разработка энергоэффективной концепции построения распределительных сетей промышленного предприятия // Электротехнические комплексы и системы управления. 2012. № 3. С. 22–28.
5. Артюхов И.И., Аршакян И.И., Коротков А.В., Погодин Н.В., Степанов С.Ф. Перестраиваемая по структуре автономная система электроснабжения технологического комплекса с многодвигательным электроприводом // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. № 1 (10). Т.1. С. 20–28.
6. Forschungsprojekt: Gleichspannung für die industrielle Energieversorgung [Сайт] URL: <http://www.sonnewindwaerme.de/panorama/forschungsprojektgleichspannung-fuer-industrielle-energieversorgung/>
7. Dragicevic T., Lu X., Vasquez J.C., Guerrero J.M. DC Microgrids – Part II: A Review of Power Architectures, Applications, and Standardization Issue // IEEE Transactions on Power Electronics. 2016. Vol. 31, № 5. Pp. 3528–3549.
8. Зюзьков В.В., Щуровский В.А. Автономное электроснабжение модульных газотурбинных газоперекачивающих агрегатов // Газотранспортные системы: настоящее и будущее (GTS-2009): сб. докл. III Междунар. науч.-техн. конф. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2010. С. 268–274.
9. Артюхов И.И., Боцкарев Д.А. Автономная система электроснабжения на основе генератора с изменяемой частотой вращения вала // Научное обозрение. 2014. № 3. С. 178–183.
10. Артюхов И.И., Степанов С.Ф., Боцкарев Д.А., Туленова Г.Н., Земцов А.И. Микросеть на основе группы автономно работающих синхронных генераторов // Градостроительство и архитектура. 2017. Т.7, № 4. С. 127–131. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.22.

REFERENCES

1. Arshakyan I.I., Artyukhov I.I. *Dinamicheskie rezhimy v sistemakh elektrosnabzheniya ustanovok okhlazhdeniya gaza* [Dynamic modes in power supply systems of gas cooling units]. Saratov: SSTU Publ., 2004. 120 p.
2. Artyukhov I.I., Arshakyan I.I., Tarisov R.SH., Trimbach A.A., Ustinov E.V. Resource-saving gas cooling technology at compressor stations. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Saratov State Technical University], 2011, no 1(54), i. 3. pp. 25-32. (in Russian)
3. Artyukhov I.I., Bochkareva I.I., Molot S.V. The influence of variable frequency fans on the supply network. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2015, no 4. pp. 29–35. (in Russian)
4. Zmieva K.A., Kulagin O.A. Development of an energy-efficient concept for building distribution networks of an industrial enterprise. *Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya* [Electrotechnical complexes and control systems], 2012. no 3. pp. 22–28. (in Russian)
5. Artyukhov I.I., Arshakyan I.I., Korotkov A.V., Pogodin N.V., Stepanov S.F. The structure-independent autonomous power supply system of a technological complex with a multi-engine electric drive. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Saratov State Technical University], 2006, i. 1 (10), vol.1, pp. 20–28. (in Russian)
6. Forschungsprojekt: Gleichspannung für die industrielle Energieversorgung (2018). Available at: <http://www.sonnewindwaerme.de/panorama/forschungsprojektgleichspannung-fuer-industrielle-energieversorgung/> (accessed 10 June 2018)
7. Dragicevic T., Lu X., Vasquez J.C., Guerrero J.M. DC Microgrids – Part II: A Review of Power Architectures, Applications, and Standardization Issue, IEEE Transactions on Power Electronics, 2016, Vol. 31, no 5. pp. 3528–3549.
8. Zyuz'kov V.V., Schurovskij V.A. Autonomous power supply of modular gas turbine gas pumping units. *Gazotransportnye sistemy: nastoyashee i budushee (GTS-2009): sb. dokl. III Mezhdunar. nauch.-tekhn. Konf* [Gas transmission systems: present and future (GTS-2009): col.of rep. III Internat. Scien. and techn. Conf.nce]. Gazprom VNIIGAZ, 2010, pp. 268–274. (in Russian)
9. Artyukhov I.I., Bochkarev D.A. Autonomous power supply system based on a variable speed shaft

generator. *Nauchnoe obozrenie* [Scientific Review], 2014, no 3, pp. 178–183. (in Russian)

10. Artyukhov I.I., Stepanov S.F., Bochkarev D.A., Tulepova G.N., Zemtsov A.I. A microgrid based on a group of autonomously working synchronous generators. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2017, vol.7, no. 4, pp. 127–131. DOI: 10.17673/Vestnik.2017.04.22. (in Russian)

Об авторе:

ЗЕМЦОВ Артем Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения промышленных предприятий Самарский государственный технический университет, филиал в г. Сызрани 446001, Россия, г. Сызрань, ул. Советская, 45
E-mail: artex283@mail.ru

ZEMTSOV Artem I.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Power Supply of Industrial Enterprises Chair Samara State Technical University, Syzran Branch 446001, Russia, Syzran, Sovietskaya, 45
E-mail: artex283@mail.ru

Для цитирования: *Земцов А.И.* Повышение эффективности электроснабжения газокompрессорного цеха за счет формирования микросети на основе генераторов собственных нужд газоперекачивающих агрегатов // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 175–180. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.22.

For citation: *Zemtsov A.I.* Power Supply Efficiency Increase of the Gas-Compressor Workshop Due to Microgrid Formation on the Basis of Own Need Gas-Distributing Units Generators // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 175–180. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.22.

Уважаемые читатели!

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

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

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

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