



ISSN 0044-4472

10'2023

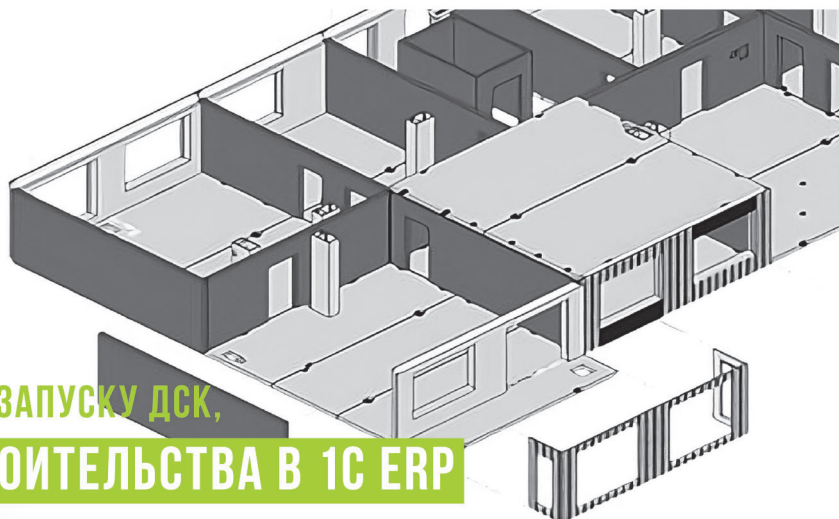
ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

научно-технический и производственный журнал

www.rifsm.ru

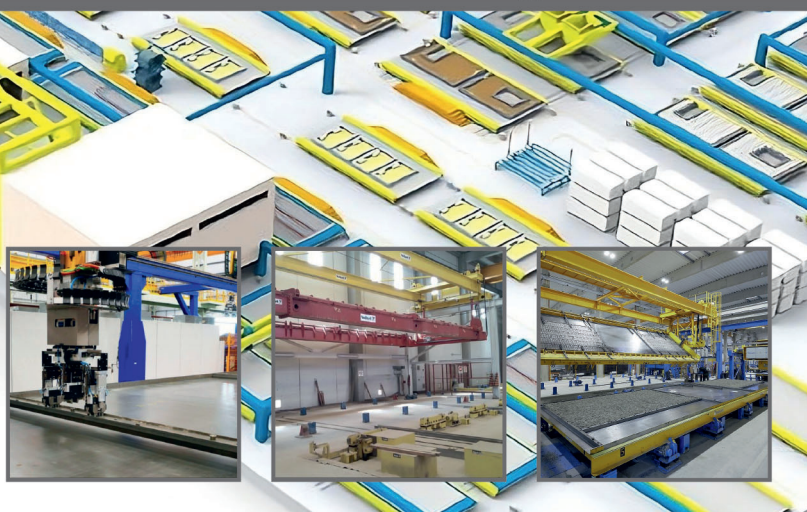
www.journal-hc.ru

издается с 1958 г.



КОМПЛЕКС ИНЖИНИРИНГОВЫХ УСЛУГ ПО ЗАПУСКУ ДСК,
ОРГАНИЗАЦИЯ ЛОГИСТИКИ, СТРОИТЕЛЬСТВА В 1С ERP

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОСНАЩЕНИЕ
РОБОТИЗИРОВАННЫХ ДСК



ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ
ЖИЛЫХ ДОМОВ В PREFAB



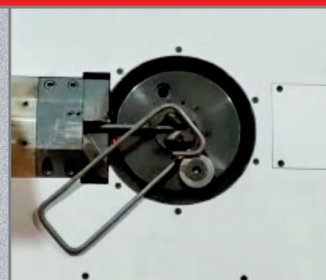
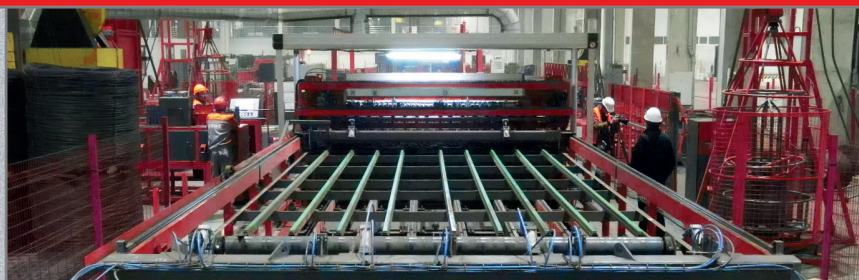
INARBI.RU

INFO@INARBI.RU

+7 495 409 00 58

129110, Г. МОСКВА, УЛ. ГИЛЯРОВСКОГО, Д. 57, СТР. 1

КОМПЛЕКСНОЕ ОСНАЩЕНИЕ АРМАТУРНОГО ЦЕХА



◆ МАШИНЫ СВАРКИ СЕТОК



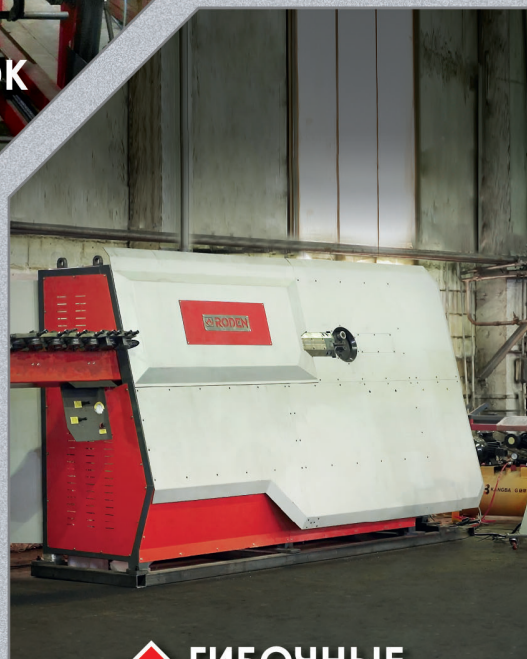
◆ ПРАВИЛЬНО-
ОТРЕЗНЫЕ
СТАНКИ



RODEN
ЦЕНТР МАШИНОСТРОЕНИЯ И МЕТАЛЛООБРАБОТКИ



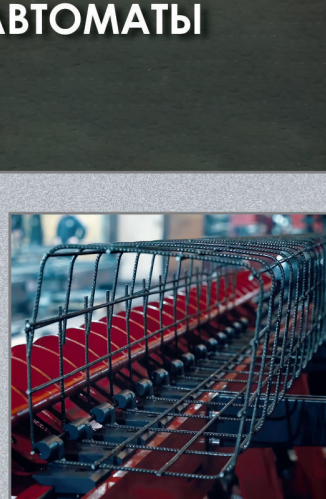
zsordn.ru



◆ ГИБОЧНЫЕ
АВТОМАТЫ



◆ СВАЕНАВИВОЧНЫЕ
МАШИНЫ



РОССИЙСКИЙ
ПРОИЗВОДИТЕЛЬ

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ
ПРОВОЛОКИ И АРМАТУРЫ

+7 (983) 510-19-19
+7 (383) 310-19-19

Учредитель журнала: АО «ЦНИИЭП жилища»
 Адрес: Россия, 127434, Москва,
 Дмитровское ш., д. 9, стр. 3
 Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»
 Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,
 д. 9, корп. 1, кв. 1
 Входит в Перечень ВАК,
 государственный проект РИНЦ и RSCI
 Журнал зарегистрирован Министерством РФ
 по делам печати, телерадиовещания
 и средств массовой информации № ФС77-64906

Главный редактор

ЮМАШЕВА Е.И.,
 инженер-химик-технолог,
 почетный строитель России

Редакционный совет:

НИКОЛАЕВ С.В.,
 председатель, д-р техн. наук,
 АО «ЦНИИЭП жилища» (Москва)
 АЗАРОВ В.Н.,
 д-р техн. наук (Волгоград)
 АКИМОВ П.А.,
 д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)
 АЛЕКСЕЕВ Ю.В.,
 д-р архитектуры, профессор (Москва)
 БОДРОВ М.В.,
 д-р техн. наук (Нижний Новгород)
 ВАВРЕНЮК С.В.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН (Владивосток)
 ВОЛКОВ А.А.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН (Москва)
 ГАГАРИН В.Г.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН (Москва)
 ЖУСУПБЕКОВ А.Ж.,
 д-р техн. наук (Астана, Казахстан)
 ЗВЕЗДОВ А.И.,
 д-р техн. наук, президент Ассоциации
 «Железобетон» (Москва)
 ИЛЬИЧЕВ В.А.,
 д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)
 КОЛЧУНОВ В.И.,
 д-р техн. наук, академик РААСН (Москва)
 ЛАПИДУС А.А.,
 д-р техн. наук, профессор (Москва)
 МАНГУШЕВ Р.А.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН (Санкт-Петербург)
 ОРЕЛЬСКАЯ О.В.,
 д-р архитектуры, член-корреспондент
 РААСН, профессор (Нижний Новгород)
 ОСИПОВА Н.Н.,
 д-р техн. наук (Саратов)
 СКОЛУБОВИЧ Ю.Л.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН (Новосибирск)
 СУББОТИН О.С.,
 д-р архитектуры (Краснодар)
 ТАБУНЩИКОВ Ю.А.,
 д-р техн. наук, член-корреспондент
 РААСН, профессор (Москва)
 ТЕР-МАРТИРОСЯН А.З.,
 д-р техн. наук (Москва)
 ТИХОНОВ И.Н.,
 д-р техн. наук (Москва)
 ФЕДОСОВ С.В.,
 д-р техн. наук, профессор,
 академик РААСН (Москва)

Авторы

опубликованных материалов несут
 ответственность за достоверность
 приведенных сведений, точность данных
 по цитируемой литературе
 и за использование в статьях данных,
 не подлежащих открытой публикации.

Редакция

может опубликовать статью
 в порядке обсуждения,
 не разделяя точку зрения автора.

Перепечатка

и воспроизведение статей, рекламных
 и иллюстративных материалов возможны
 лишь с письменного разрешения главного
 редактора.

**Редакция не несет ответственности
 за содержание рекламы и объявлений.**

ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Издается с 1958 г.

10'2023

Индустриальное домостроение

- InterConPan-2023 в Новосибирске: интеграция научных исследований
 и технических инноваций в индустриальное домостроение (*Информация*)..... 3
- С.В. НИКОЛАЕВ
 Двухслойная наружная панель в индустриальных зданиях..... 9
- Д.В. КУРНИКОВ
 Перспективы сборного железобетона для жилищного строительства:
 конструктивные решения с широким шагом несущих поперечных стен..... 14
- Н.В. ФЕДОРОВА, С.Ю. САВИН, В.И. КОЛЧУНОВ, В.С. МОСКОВЦЕВА, М.А. АМЕЛИНА
 Живучесть сборно-монолитного каркаса здания
 из индустриальных панельно-рамных элементов..... 20
- А.Н. КОРШУНОВ, Е.Ф. ФИЛАТОВ, А.Р. ГИЗЗАТУЛЛИН
 Новая технология изготовления объемных блоков – ступень для индустриального
 домостроения с гибкой квартирографией..... 28

Подземное строительство

- А.Д. СЕРОВ
 Расширение границ города за счет освоения подземных пространств
 при реконструкции исторической застройки..... 35
- В.А. СМИРНОВ, Е.О. ГАРБЕР, Д.Д. МАЛОВ
 Динамический анализ фундамента турбоагрегата при его взаимодействии
 с существующим основанием..... 42
- Д.Ю. ЧУНЮК, В.С. ГРИШИН
 Влияние устройства глубоких котлованов на несущую способность и деформации
 свайных фундаментов зданий окружающей застройки..... 48

Кадры для отрасли

- Л.А. САКМАРОВА, М.А. БАХМИСОВА
 BIM-моделирование как основной инструмент цифровизации
 образовательных технологий при подготовке кадров строительной отрасли..... 56

Сохранение архитектурного наследия

- О.С. СУББОТИН
 Архитектурно-градостроительные ценности исторической застройки Кубани:
 на примере г. Краснодара..... 63

Тепловая защита зданий

- Н.А. ЛИТВИНОВА, В.Н. АЗАРОВ
 Эффективность работы стеновых клапанов приточной принудительной вентиляции
 с очисткой воздуха в многоквартирных жилых зданиях..... 70

Материалы и конструкции

- И.В. БЕССОНОВ, В.А. ЗАХАРОВ, Е.А. ПАВЛОВА, Э.А. ГОРБУНОВА, И.С. ГОВРЯКОВ
 Определение морозостойкости строительных материалов
 методом одностороннего замораживания..... 77

Защита зданий от внешних воздействий

- А.В. МАСЛЯЕВ
 Разрушения населенных пунктов при землетрясениях будут повторяться..... 83

Founder of the journal: AO «TSNIEP zhilishcha»
Address: 9/3 Dmitrovskoye Highway, 127434,
Moscow, Russian Federation

Publisher: «STROYMATERIALY»
Advertising-Publishing Firm, OOO
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,
Moscow, 125319, Russian Federation

The journal is registered by the RF Ministry
of Press, Broadcasting and Mass
Communications, № FS77-64906

Editor-in-chief

YUMASHEVA E.,
chemical process engineer,
Honorary Builder of Russia

Editorial Board:

NIKOLAEV S.,
Chairman,
Doctor of Sciences (Engineering),
AO «TSNIEP zhilishcha» (Moscow)

AKIMOV P.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Academician of RAACS (Moscow)

ALEKSEEV Yu.,
Doctor of Architecture, Professor (Moscow)

AZAROV V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
(Volgograd)

BODROV M.V.,
Doctor of Sciences (Engineering)
(Nizhny Novgorod)

FEDOSOV S.,
Doctor of Science (Engineering), Professor,
Academician of RAACS (Moscow)

GAGARIN V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Moscow)

IL'ICHEV V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Academician of RAACS, Research
Supervisor of the Academic Scientific
and Creative Center of RAACS (Moscow)

KOLCHUNOV V.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Academician of RAACS (Moscow)

LAPIDUS A.A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Professor (Moscow)

MANGUSHEV R.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Saint-Petersburg)

ORELSKAYA O.,
Doctor of Architecture, Corresponding
member of RAACS, Professor
(Nizhny Novgorod)

OSIPOVA N.N.,
Doctor of Sciences (Engineering) (Saratov)

SKOLUBOVICH Yu.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Novosibirsk)

SUBBOTIN O.,
Doctor of Architecture (Krasnodar)

TABUNSHIKOV Yu.A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS,
Professor (Moscow)

TER-MARTIROSIAN A.,
Doctor of Sciences (Engineering) (Moscow)

TIKHONOV I.,
Doctor of Sciences (Engineering) (Moscow)

VAVRENIUK S.,
Doctor of sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS
(Vladivostok)

VOLKOV A.,
Doctor of Sciences (Engineering),
Corresponding member of RAACS (Moscow)

ZHUSUPBEKOV A.,
Doctor of Sciences (Engineering)
(Astana, Kazakhstan)

ZVEZDOV A.,
Doctor of Sciences (Engineering), President,
Association «Zhelezobeton» (Moscow)

The authors

of published materials are responsible for the accuracy of the submitted information, the accuracy of the data from the cited literature and for using in articles data which are not open to the public.

The Editorial Staff

can publish the articles as a matter for discussion, not sharing the point of view of the author.

Reprinting

and reproduction of articles, promotional and illustrative materials are possible only with the written permission of the editor-in-chief.

The Editorial Staff is not responsible for the content of advertisements and announcements.

ZHILISHCHNOE STROITEL'STVO

Published since 1958

10'2023

Prefabricated construction

InterConPan-2023 in Novosibirsk: Integration of Scientific Research and Technical Innovations into Industrial Housing Construction (*Information*) 3

S.V. NIKOLAEV
Double-Layer External Panel in Industrial Buildings 9

D.V. KURNIKOV
Prospects for Precast Concrete for Residential Construction:
Design Solutions with Wide Spacing of Load-Bearing Transverse Walls 14

N.V. FEDOROVA, S.Yu. SAVIN, V.I. KOLCHUNOV, V.S. MOSKOVITSEVA, M.A. AMELINA
Robustness of Precast Reinforced Concrete Buildings Made of Industrial Panel-Frame Elements. 20

A.N. KORSHUNOV, E.F. FILATOV, A.R. GIZZATULLIN
New Technology for Manufacturing Volumetric Blocks –
Slipway for Industrial Housing Construction with Flexible Apartmentography 28

Underground construction

A.D. SEROV
Expanding the Borders of the City Due to the Development
of Underground Spaces During the Reconstruction of Historical Buildings 35

V.A. SMIRNOV, E.O. GARBER, D.D. MALOV
Dynamic Analysis of the Turbine Unit Foundation in its Interaction with the Existing Foundation. 42

D.Y. CHUNYUK, V.S. GRISHIN
The Influence of the Device of Deep Pits on the Bearing Capacity and Deformation
of Pile Foundations of Surrounding Buildings. 48

Personnel for the industry

L.A. SAKMAROVA, M.A. BAKHMISOVA
BIM Modeling as the Main Tool for Digitalization of Educational Technologies
in Training Personnel of the Construction Industry 56

Preservation of architectural heritage

O.S. SUBBOTIN
Architectural and Town-Planning Values of the Historical Development of Kuban:
on the Example of Krasnodar. 63

Heat protection of buildings

N.A. LITVINOVA, V.N. AZAROV
Efficiency of Operation of Wall Valves for Supply Forced Ventilation
with Air Purification in Multi-Apartment Residential Buildings 70

Materials and structures

I.V. BESSONOV, V.A. ZAHAROV, E. A. PAVLOVA, E.A. GORBUNOVA, I.S. GOVRYAKOV
Determination of Frost Resistance of Building Materials by the Method of One-Sided Freezing 77

Protection of buildings against external impacts

A.V. MASLYAEV
The Destruction of Settlements in Countries During Earthquakes Will Be Repeated 83

Editorial address: 9/3, Dmitrovskoye Hwy, 127434, Moscow, Russian Federation

Tel.: (499) 390-87-17

Email: mail@rifsm.ru

http://www.journal-hc.ru

http://www.rifsm.ru

InterConPan-2023 в Новосибирске: интеграция научных исследований и технических инноваций в индустриальное домостроение

InterConPan-2023 in Novosibirsk: Integration of Scientific Research and Technical Innovations into Industrial Housing Construction

Более 150 специалистов строительно-инвестиционных компаний, домостроительных предприятий и проектных организаций, представители машиностроительных и инженеринговых компаний, поставщики программного обеспечения, ученые вузов и научно-исследовательских институтов из 30 регионов Российской Федерации и Республики Беларусь приняли участие в XIII Международной научно-практической конференции «InterConPan-2023: инновации для индустриального домостроения», которая прошла в Новосибирске. Организаторы мероприятия – АО «ЦНИИЭП жилища» (Москва) и объединенная редакция журналов «Строительные материалы»® и «Жилищное строительство» (Москва) при поддержке Комитета Торгово-промышленной палаты РФ по предпринимательству в сфере строительства и Новосибирского архитектурно-строительного университета НГАСУ (СибСТРИН). Генеральным спонсором мероприятия выступила компания РЕКОН-СМК (Республика Чувашия). Постоянный партнер конференции – ООО «Петро Билдинг Системс» (Санкт-Петербург). Партнерами стали ООО «ШНЕЛЛ РУС» (Москва), Центр машиностроения и металлообработки РОДЕН (Новосибирск), ООО «Карачинский источник» (Новосибирск).

More than 150 specialists from construction and investment companies, house-building enterprises and design organizations, representatives of mechanical engineering and engineering companies, software suppliers, scientists from universities and research institutes from 30 regions of the Russian Federation and the Republic of Belarus took part in the XIII International Scientific and Practical Conference «InterConPan-2023: innovations for industrial housing construction», which took place in May 2023 in Novosibirsk. The organizers of the event are JSC «TsNIEP Dwellings» (Moscow) and the joint editorial staff of the magazines «Building Materials»® and «Housing Construction» (Moscow) with the support of the Committee of the Chamber of Commerce and Industry of the Russian Federation on Entrepreneurship in the Construction Sphere and the Novosibirsk University of Architecture and Civil Engineering NGASU (Sibstrin). The general sponsor of the event was the RECON-SMK company (Republic of Chuvashia). The regular partner of the conference is Petro Building Systems LLC (St. Petersburg). The partners were SCHNELL RUS LLC (Moscow), RODEN Center for Mechanical Engineering and Metalworking (Novosibirsk), Karachinsky Istochnik LLC (Novosibirsk).

Обеспечение индустриального и модульного железобетонного строительства современной законодательной и нормативно-технической базой, которая будет способствовать массовому применению индустриальных технологий, является одной из важнейших задач.

Участники конференции обсудили ключевые вопросы отрасли: развитие отечественных технологий для индустриального строительства, их своевременное и эффективное применение; особенности внедрения цифровых технологий в проектирование, производство и строительство; современное типовое проектирование жилья и объектов социальной инфраструктуры; нормативно-технические документы в области индустриального домостроения и использования модульных зданий и сооружений, а также вопросы упрощения нормативного правового регулирования строительства зданий с применением модульных технологий.

Известны преимущества индустриального домостроения – снижение затрат и сроков возведения домов, повышение качества и темпов строительства, прозрачность всех процессов и достигаемых результатов. Задачу строительства 120 млн м² жилья к 2030 г. можно решить только при масштабном индустриальном и модульном домостроении с использованием префабтехнологий.





Об обеспечении индустриального и модульного строительства современной законодательной и нормативно-технической базой, о возможности строительства заводов по производству модулей, которых в России очень мало, о возможности финансирования строительства заводов, производящих модульные конструкции по всей территории России, исходя из планов регионов по строительству жилья говорили участники конференции. С докладом выступил **А.В. Копытин**, директор Федерального центра нормирования и стандартизации Минстроя России. Ректор Новосибирского архитектурно-строительного университета **Ю.Л. Сколубович** обратил внимание на вопросы подготовки специалистов для строительства. Доклады, посвященные эффективности применения нанодобавок для повышения качества и эксплуатационной надежности зданий, представили д-р техн. наук, проф. **А.П. Пичугин** и д-р техн. наук, проф. **В.Ф. Хританков** (Новосибирский государственный аграрный университет). О повышении прочностных характеристик цементных конгломератов добавками направленного действия рассказала д-р техн. наук, проф. **Н.В. Ильина**.



Индустриальное домостроение в настоящее время переживает новый этап совершенствования: необходимо не только не снижать темпы производства и строительства, но и наращивать их. Для этого необходимо наличие комплекса типовых решений и проектов как для строительства в обычных условиях, так и в чрезвычайных ситуациях; обеспечение заводов индустриального железобетонного строительства современным отечественным оборудованием. С докладами о комплексном предоставлении услуг выступили представители проектных, инжиниринговых и машиностроительных компаний.





Участники InterConPan-2023 в рамках первой выездной сессии посетили ООО «Завод «Первомайский», где установлено современное оборудование ГК «Рекон-СМК» (Чебоксары). Важной характеристикой универсальных стандов ГК «Рекон-СМК» является максимально возможное использование имеющихся производственных мощностей за счет быстрой переналадки под требования рынка, что способствует повышению производительности труда и снижению себестоимости ж/б изделий. После переналадки на том же оборудовании можно выпускать дорожные предварительно напряженные пазогребневые плиты, сваи, плиты наружных и внутренних стен, практически всю номенклатуру железобетонных изделий.

Центр машиностроения и металлообработки «Роден» – машиностроительное предприятие, выпускающее оборудование для комплексного оснащения арматурных цехов заводов ЖБИ и КПД. Одной из ключевых особенностей выпускаемого оборудования является высокий уровень автоматизации и производительности, сопоставимый с ведущими мировыми производителями.

Предприятие оснащено парком современного оборудования с числовым программным управлением для металлообработки, что позволяет максимально локализовать производственные процессы предприятия и обеспечить высокий уровень качества изделий. Собственное конструкторское бюро эффективно решает задачи по разработке и оперативному внедрению передовых технических решений в выпускаемую продукцию.

Застройка ЖК «Весенний» началась в 2005 г. В 2008 г. был сдан первый жилой дом. В 2018 г. построена школа на 1250 учащихся. В 2020 г. открылся второй корпус детского сада. Район отражает тенденции в индустриальном домостроении за прошедшие пятнадцать лет.





Вторая выездная сессия на уникальное производство компании «Брусника. Сибкадемстрой», которое является одним из примеров современной организации строительства. Технология предполагает возведение строительного городка закрытого типа, благодаря которому пыльные и шумные процессы локализованы внутри помещений. Предприятие, производящее индустриальные железобетонные домокомплекты, оснащено оборудованием российских производителей, например кассеты компании ООО «Петро Билдинг Системс» (Санкт-Петербург). Все здания и сооружения временные и будут использоваться только на период строительства. После окончания строительства жилого района мобильный строительный городок будет разобран и перевезен на другую площадку.

Здание цеха имеет закрытый цикл водоотведения. На стоках установлены фильтры с повторной рециркуляцией и системой многоступенчатой очистки воды. Работу производства

обеспечивает собственная газовая котельная. На территории строительного городка установлены солнечные батареи, которые компенсируют 60–70% потребляемой электроэнергии. Известно, что цех в Новосибирске – пилотный проект. После отработки технология будет масштабирована на города присутствия «Брусники». Следующей точкой второй выездной сессии стал район «Пшеница», застраиваемый компанией «Брусника». В основу проекта заложено три принципа. Первый – разнообразие и плотность; создание среды, где человек в шаговой доступности мог бы получить любой сервис. Второй принцип – сохранение истории места, уважение к идеям первых архитекторов ВАСХНИЛ и локальной идентичности. Третий принцип – связанность. Район постепенно станет единым целым за счет организации плотной сети вело- и пешеходных маршрутов, формирования разнородных общественных пространств.





ООО ЗКПД «Арматон» – цель третьей выездной сессии InterConPan-2023. Это завод, имеющий современное технологическое оснащение. На заводе изготавливается инновационная для Сибирского региона продукция с высоким уровнем качества. Максимальная производственная мощность 300 тыс. м² готового жилья в год. Общая площадь – 12 га. Персонал завода – 300 человек. Запуск ЗКПД «Арматон», входящий в ГК «Первый строительный фонд», состоялся в 2017 г. Тогда собственники выбрали европейское оборудование зарубежных компаний, представители которых, по известным субъективным причинам, не смогли приехать на конференцию. Завод может выпускать продукцию для строительства порядка 300 тыс. м² жилья в год, как высотного в 14–15 этажей, так и индивидуального малоэтажного. Продукция завода – стеновые панели трехслойные и однослойные, пустотные плиты перекрытия, широкий спектр ЖБИ разных форм и размеров.

Возможность посетить легендарный Академгородок под Новосибирском – главный наукоград страны – для многих участников конференции InterConPan-2023 уникальна.

Знаменательно, что посещение Академгородка совпало с днем его рождения: 18 мая 1957 г. Совмин СССР постановил организовать в Новосибирске Сибирское отделение АН СССР для усиления научных исследований в области физико-технических, естественных и экономических наук и быстрее развития производительных сил Сибири и Дальнего Востока. Коллеги посетили Дом ученых в Точке кипения, на 13-м этаже Академпарка, представляющего собой две башни, расположенные по разным сторонам ул. Николаева и соединенные между собой переходом-галереей. Оттуда Академгородок виден с как на ладони. Мы прогулялись по первым лесным улицам, увидели скромные домики академиков, которые по тем временам казались почти дворцами.





Основные проблемы современного индустриального железобетонного строительства – обеспечение производства импортозамещающим оборудованием, запасными частями и программным обеспечением. Известно, что введенные санкции стали стимулом для российского машиностроительного бизнеса, а также для компаний, занимающихся разработкой и технической поддержкой программных продуктов автоматизированных систем. Совершенствование наукоемких технологий, интеграция в сфере научных исследований и технических разработок – вот основные задачи, которые стоят

перед участниками конференции InterConPan. В 2023 г. эти проблемы прозвучали во многих выступлениях. В научно-технических журналах «Строительные материалы» и «Жилищное строительство» публикуются материалы и статьи ведущих специалистов, обладающих инновационными научными, инженеринговыми, проектными компетенциями для системного решения проблем с минимизацией экономических и технических рисков. Профессиональное сообщество, сформировавшееся за годы проведения конференции, принимает вызовы времени!



***Объединение профессионалов гарантирует успех!
Оставайтесь с нами! Ждем встречи в 2024 году!***

УДК 624.03

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-9-13>

С.В. НИКОЛАЕВ, д-р техн. наук, заслуженный строитель Российской Федерации,
научный руководитель (slutz1937@gmail.com)

АО «ЦНИИЭП жилища – институт комплексного проектирования жилых и общественных зданий» (АО «ЦНИИЭП жилища»)
(127434, г. Москва, Дмитровское ш., 9, стр. 3)

Двухслойная наружная панель в индустриальных зданиях

Использование готовых железобетонных конструкций стало чаще применяться при возведении как малоэтажных, так и многоэтажных зданий. Автор обращает внимание на ряд неэффективных решений, которые использовались в малоэтажном домостроении при применении одно- и трехслойных наружных панелей заводского производства. Эти решения реализованы при строительстве в Подмосковье коттеджного поселка. Проведен детальный разбор недостатков метода строительства малоэтажных панельных домов из одно- и трехслойных панелей. Показано, что использование двухслойных панелей наружных стен впервые применяется в малоэтажном домостроении. Рассмотрена возможность их применения в многоэтажных и многоквартирных домах. Приводится вариантное решение по фасадному оформлению панельных зданий с использованием штукатурных слоев, планкена, термопанелей под кирпич или облицовочной плитки.

Ключевые слова: панель, вентилируемый фасад, термопанель, планкен, угловое остекление, ростверко-свайный фундамент, домокомплект.

Для цитирования: Николаев С.В. Двухслойная наружная панель в индустриальных зданиях // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 9–13. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-9-13>

S.V. NIKOLAEV, Doctor of Sciences (Engineering), Honored Builder of the Russian Federation, Scientific Supervisor (slutz1937@gmail.com)
JSC “TSNIEPzhilishcha” – Institute of Comprehensive design of residential and public buildings (JSC “TSNIEPzhilishcha”)
(9, bldg.3, Dmitrovskoye Highway, Moscow, 127434, Russian Federation)

Double-Layer External Panel in Industrial Buildings

The use of prefabricated reinforced concrete structures has become more common in the construction of both low-rise and high-rise buildings. The author draws attention to a number of ineffective solutions that were used in low-rise housing construction when using single- and three-layer factory-produced exterior panels. These solutions were implemented during the construction of a cottage settlement in the Moscow region. A detailed analysis of the disadvantages of the method of construction of low-rise panel houses from single- and three-layer panels is carried out. It is shown that the use of two-layer panels of external walls is applied for the first time in low-rise housing construction. The possibility of application in multi-storey and apartment buildings is considered. A variant solution is given for the facade design of panel buildings using plaster layers, plank, thermal panels for bricks or facing tiles.

Keywords: double-layer panel, ventilated facade, thermal panel, planken, corner glazing, grillage-pile foundation, house kit.

For citation: Nikolaev S.V. Double-layer external panel in industrial buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 9–13. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-9-13>

Крупнопанельное домостроение существует, развивается и продолжает привлекать застройщиков; в современных условиях такое жилье пользуется повышенным спросом покупателей в связи с доступностью по цене и высокими потребительскими качествами [1, 2]. Жилые районы с панельными домами выглядят подчас более привлекательными, чем дома монолитного исполнения, которые, как уверяли архитекторы в конце прошлого столетия, внесут коренные изменения в архитектуру городов [3–6]. Ничего этого не произошло. Не произошло потому, что панельное домостроение не имеет ограничений и пределов в архитектуре, штамп ОТК на изделиях гаран-

тирует качество продукции, а технология возведения отлажена. В этой статье речь пойдет о малоэтажном строительстве.

Для начала отметим выход индустриального железобетонного домостроения на рынок малоэтажного жилья. Очень заметен реальный сдвиг в сторону индустриализации строительства малоэтажного жилья [7]. Фирмы, которые ранее строили дома из газобетонных блоков, деревянные каркасные дома, блочные дома, осознали привлекательность индустриального панельного домостроения [8, 9]. Скорость, качество и дешевизна строительства – основной эффект от перехода на панельное домо-

строение. Известны недостатки существующих видов малоэтажного домостроения: наличие мокрых процессов, невозможность всесезонного строительства, пониженная энергоэффективность с повышенными эксплуатационными расходами на содержание домов, ограниченные возможности наружной отделки – применение современных видов фасадной отделки планкеном, термопанелями с клинкерной плиткой, матричной отделки, использование наружных фотообоев.

Главным достоинством индустриального железобетонного строительства является всесезонность возведения малоэтажных домов. В РФ объемы малоэтажного строительства только за счет всесезонного возведения можно увеличить в два раза! Известно, что индивидуальное жилищное строительство (ИЖС) на протяжении последних десяти лет устойчиво обладает преимуществом по объемам возведения перед многоквартирным многоэтажным домостроением [4].

Осознание целесообразности использования панельного домостроения в малоэтажном строительстве домов – это лишь половина мудрого решения [5]. Автор провел анализ ошибочных решений при возведении панельных одно- и двухэтажных домов.

Панельный дом «Оливия». Недалеко от Москвы по Рижскому шоссе располагается комфортабельный коттеджный поселок (рис. 1), отличающийся архитектурным единообразием. При посещении поселка стало понятно, что именно единообразие архитектурного оформления поселка, отработанная до мелочей инженерия и обустройство с качественным обслуживанием проживающих придало этому поселку неповторимость и узнаваемость. Участки размером всего 3–4 соток казались небольшими. Однако основное население поселка в возрасте 30–40 лет не придает большого значения уходу за землей. Поэтому комфортное, уютное и дешевое жилье – основа сегодняшнего спроса населения на малоэтажные дома.

Три года назад руководство этого поселка объявило конкурс на строительство дома «Оливия», составляющего архитектурную основу поселка, построенного исключительно из керамических многослойных блоков с последующей отделкой под кирпич и термопанелями с клинкерной плиткой.

В прошедшем конкурсе победу одержали белорусские производители изделий и строители. Конечная цена на строительство дома позволила белорусским коллегам осуществить строительство первого панельного дома в полном соответствии с архитектурным решением коттеджного поселка (рис. 2).

Эксклюзивность построенного дома – в применении трехслойных наружных панелей с последующей облицовкой его термопанелями с клинкерными плитками.

Строительство дома «Оливия» в объеме предчистовой отделки заняло 35 дней. Для этого строителям пришлось сверлить через слой утеплителя во внутренний слой бетонной панели около 2 тыс. отверстий на глубину 60 мм, крепить термопанели с соединением «паз в паз», устанавливать пластмассовые дюбели и закрашивать их под цвет швов клинкерной плитки. Надо отметить как достоинство – работы по креплению термопанелей производились в зимних условиях.

Внешне получилось хорошее фасадное ограждение, полностью соответствующее соседним зданиям. Лишним в этом конструктивном решении при строительстве дома явился третий фасадный слой трехслойной панели. А это более чем третья часть кубатуры панели. При толщине внутреннего несущего слоя 140 мм и 60 мм фактурного слоя из железобетона, этот слой составляет 30%. Расход арматуры в фактурном слое составляет тоже немалую величину – 38%; трудозатраты на изготовление и крепление фактурного слоя – более 30%. Другими словами, понятно, что третий наружный слой трехслойной панели оказывался ненужным и лишним при переходе на малоэтажное домостроение. Лишним, если будет найден способ крепления «рубашки» из штукатурного слоя (2–3 см), планкена или термопанелей без использования бетонного фасадного слоя панелей.

Панельный дом ДСУ (дом с умом) под брендом BAUHAUS из однослойных панелей. Это второй пример неэффективного возведения малоэтажного жилья. В этом доме (рис. 3) в виде несущего каркаса здания использованы однослойные железобетонные панели. Строительство жилого дома велось двумя этапами (периодами). До зимы был устроен фундамент. Весной работы были продолжены: возведена холодная коробка из железобетонных панелей, затем приклеены к бетонному слою полистирольные листы толщиной 150 мм (достаточные по энергоэффективности) и нанесен штукатурный слой толщиной 2–3 см, для крепления которого потребовалось пристреливать через каждые 150 мм дюбели в несущий слой железобетонных панелей и выполнять штукатурный слой по арматурной сетке. Длительный простой (4–5 мес) при строительстве дома из однослойных наружных панелей свел к минимуму преимущества панельного строительства перед всеми традиционными видами малоэтажного домостроения.

Выход: переход на двухслойные панели. На XIII научно-практической конференции InterConPan, которая прошла в апреле 2023 г. в Новосибирске, в докладе автора статьи был изложен новый подход к использованию домокомплектов в виде наружных панелей в двухслойном исполнении (Николаев С.В. Патент РФ № 2800497 «Вентилируемые фасадные



Рис. 1. Малоэтажный коттеджный поселок (Московская обл.)

Fig. 1. Low-rise cottage settlement (Moscow region)



Рис. 2. Первый панельный двухэтажный дом «Оливия»

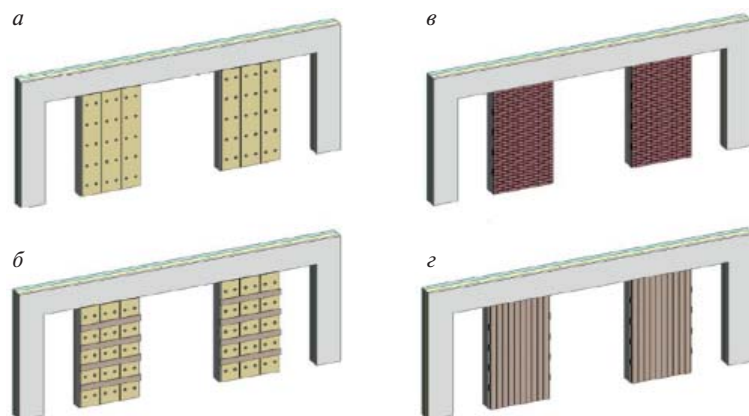
Fig. 2. The first panel two-storey house «Olivia»



Рис. 3. ДСУ (дом с умом) Баухаус

Fig. 3. DsU (house wisely) Bauhaus

ограждения панельных зданий»). Отличие этих панелей заключено в названии – для образования теплового контура здания используется внутренний железобетонный слой толщиной 120–140 мм и слой утеплителя из полистирольных плит толщиной 150 мм. Для крепления наружного слоя – «рубашки» здания – применяются деревянные закладные детали в виде бруска 30–50 мм толщиной и высотой, равной или меньше толщины утеплителя, как правило 150 мм. Все операции выполняются в заводских условиях со штампом ОТК и могут в таком виде поступать на строительную площадку, где на деревянные закладные детали крепится либо штукатурный слой по сетке, либо планкен, либо фасадные термopanели с клинкерной плиткой. В зависимости от конструктивного и декоративного решения фасадного слоя все или часть работ по его изготовлению могут выполняться



Двухслойная наружная панель: а – вид панели, выходящей с завода со штампом ОТК (несущий внутренний слой 120–140 мм, голубой цвет; слой утеплителя – 150 мм. Светло-коричневый цвет; вертикальные закладные детали, закрепленные в теле внутреннего бетонного слоя, доска 30–50×150 мм; наружный декоративный бетонный слой 60–80 мм, как возможный вариант отделки); б – подготовка к отделке панели в заводских или построечных условиях к наружной отделке (крепление обшивки из доски 25–30 мм); в – отделка панели под матричную отделку, клинкерную плитку или фиброцементные панели; г – отделка панели под планкен (например, скандинавская доска с поднятым ворсом)

Рис. 4. Двухслойная наружная панель

Fig. 4. Double-layer outer panel

ПЛАНКЕН – скандинавская доска
с поднятым ворсом



ТЕРМОПАНЕЛИ
с клинкерной плиткой



Рис. 5. Применение современных видов фасадной отделки

Fig. 5. The use of modern types of facade finishing

на заводе или в построечных условиях. В построечные условия следует переносить работы, обеспечивающие полное исключение швов между панелями, и, напротив, наносить рельефные швы, скрывающие панельность здания. Эффективным решением является создание в заводских условиях штукатурного слоя толщиной 20–25 мм (вместо 60–80 мм) с последующей покраской на стройке.

Предвижу вопрос: не лучше ли использовать известный вариант крепления «рубашки» к металлическим вкладышам? Действительно, напрашивается вариант изготовления двухслойных панелей с использованием закладных деталей из листового металла. Проведем сравнительный анализ такого решения только по стоимости расходуемых материалов на 1 п. м закладных. Объем 1 п. м деревянной доски сечением 30×150 мм составляет 0,0045 м³, что при

Сравнительный анализ эффективности применения наружных стен в двух- и трехслойном исполнении
Comparative analysis of the effectiveness of using external walls in two- and three-layer versions

№ дома	Тяжелый бетон В25, м ³			Плита полистирол. ПСБ-С-25, м ³	Мин. плита, м ³	Брус деревянный, м ³	Масса стали, кг	Объем изделия, м ³	Масса изделия, кг
	Внутренний слой	Наружный слой	Всего						
140-1	22,362	13,38	35,742	22,907	3,118	0	1684,32	61,767	90244
140-2	24,954	0	24,954	20,082	1,06	3,24	1191,89	46,096	62998
Экономия			30%	12%	66%	–	29%	25%	30%

стоимости кубометра древесины 20 тыс. р. соответствует цене 90 р. Металлическая закладная, утопленная в бетонный слой панели на 100 мм и имеющая отогнутую для крепления отделочного слоя горизонтальную полку шириной 50 мм, должна выполняться из листа шириной не менее 300 мм. Погонный метр металлической закладной, даже из неоцинкованного листового металла с минимальной толщиной 1,5 мм по объему составит 0,00045 м³ и будет весить 3,51 кг. При цене металла 70 тыс. р. за 1 т стоимость такой закладной составит 246 р.

Известно, только по объемным и весовым характеристикам металлические детали почти в три раза дороже деревянных закладных. Технологические сложности производства металлических закладных деталей, сварные или заклепочные соединения деталей между собой, нарезка, гнутье, необходимость применения саморезов для крепления отдельных слоев – все это дополнительно увеличивает разрыв в стоимости металлических закладных относительно деревянных и делает их применение нерациональным. При этом для использования древесины в качестве закладных требуется ее защита от гниения и возгорания – ГОСТ 20022.2–2018 «Защита древесины. Классификация» и СП 28.13330.2017 «Защита конструкций, находящихся в толще утеплителя».

Конструкция двухслойных панелей наружных стен позволяет осуществлять дальнейшую индустриализацию строительства, особенно домов в одноэтажном исполнении. Процесс производства наружных панелей может быть полностью перенесен в заводские условия, где на формовочных постах осуществляется изготовление 20 мм слоя (окантовка панелей) и на отделочных постах после распалубки изделий происходит крепление фасадного слоя в виде планкена или термопанелей (рис. 4). Для панелей с разной окраской штукатурного слоя эта операция выполняется непосредственно в производственном процессе изготовления двухслойных панелей на специальных формовочных постах. Монтаж оконных и дверных блоков также осуществляется в заводских условиях.

Технико-экономическая оценка применения двухслойных панелей. Справедливо отметить, что оценивать отдельно эффективность двухслойных панелей относительно трехслойных или однослой-

ных панелей некорректно. Только удаление из стоимостных оценок третьего слоя в трехслойных панелях – это уже снижение расхода бетона, утеплителя, стали. Перенос крепления утеплителя и фасадного слоя (мокрые процессы) на стройку и перерыв в строительстве до полугода – это тоже легко поддается оценке экономического ущерба этого метода строительства. Более правильным является подсчет экономии по комплексу показателей. Сокращение расхода бетона, утеплителя, стали, сокращение сроков возведения зданий – это только одна видимая статья расходов. Но не следует забывать о чисто конструктивных преимуществах двухслойных панелей. Эти панели весят на 30% меньше трехслойных, что позволяет увеличивать размеры изделий, например одно изделие вместо двух при длине до 9 м. Это и уменьшение транспортных затрат по числу и весу доставляемого груза, снижение грузоподъемности монтажных кранов, уменьшение числа соединений, полное исключение швов в зданиях. Если добавить к этому, что фундаменты малоэтажных зданий в типовом решении выполнены в виде ростверко-свайного с применением сплошных плит перекрытий заводского изготовления, то процесс строительства индивидуальных зданий из домокомплектов заводского производства с двухслойными наружными панелями не имеет себе равных по скорости возведения теплового контура зданий: 2–3 дня для одноэтажных и 3–5 дней для двухэтажных. Выполненные расчеты затрат на строительство одинаковых домов с использованием трех- и двухслойных панелей оценивают преимущества вторых на 0,5–0,6 млн р. на каждом доме площадью 120–140 м². Потери от сезонности строительства домов по технологии использования однослойных панелей далеко превышают названные выше цены на квадратный метр жилья. В таблице приведены данные сравнительного анализа эффективности применения наружных стен в двух- и трехслойном исполнении на примере строительства дома площадью 140 м² (140-1 – трехслойные, 140-2 – двухслойные панели наружных стен).

Выполненный анализ подтверждает эффективность применения двухслойных панелей за счет снижения объема применения бетона на 30%, снижение веса панелей на 25%, а главное – с учетом значитель-

ной стоимости арматурной стали, снижение ее расхода на 30–40%.

Следует добавить к сказанному эффект от использования двухслойных панелей в виде вентилируемого фасадного ограждения. Это эффект повышенной пожаростойкости здания и увеличение срока его эксплуатации. Ремонтоспособность и возможность простой смены фасадного ограждения – все это тоже в пользу перехода на применение двухслойных наружных панелей, причем применение не только в малоэтажном домостроении.

Следует дополнить эффект от архитектурного решения в части устройства угловых окон в планировочных решениях зданий с применением двухслойных панелей (рис. 5). За счет оригинального конструктивного решения угловые панели могут выполняться с большим бетонным «носиком» и создавать одной панелью угловое расположение окна. В панельном исполнении угловое расположение окна становится органичным решением с оконным проемом до 3,6 м с минимальными затратами на его исполнение.

Список литературы

1. Гурьев В.В., Дмитриев А.Н., Яххинд С.И. Экспериментальное и типовое проектирование – стратегический вектор развития индустриального гражданского строительства // *Промышленное и гражданское строительство*. 2022. № 7. С. 40–47.
2. Гурьев В.В., Яххинд С.И. Основные тенденции развития гражданского строительства на современном этапе // *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. 2022. № 3. С. 97–103.
3. Головин Н.Г., Фёдоров Ю.Н., Козлов А.С. БЭНПАН – инновационная технология сборного малоэтажного домостроения // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 24–26. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-24-26>
4. Николаев С.В. Двухслойная наружная панель заводского производства для малоэтажного домостроения // *Жилищное строительство*. 2023. № 3. С. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-3-3-10>
5. Николаев С.В. Монолитно-панельные малоэтажные дома // *Жилищное строительство*. 2022. № 3. С. 8–15. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-3-8-15>
6. Николаев С.В. Строительство малоэтажного жилья из домокомплектов заводского производства // *Жилищное строительство*. 2021. № 5. С. 3–8. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-5-3-8>
7. Соколов Б.С., Зенин С.А. Анализ нормативной базы проектирования железобетонных конструкций // *Строительные материалы*. 2018. № 3. С. 4–12. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-4-10>
8. Крашенинников А.В., Перькова М.В. Градостроительные перспективы // *Архитектура и строительство России*. 2022. № 3 (243). С. 4–7.
9. Давидюк А.Н., Несветаев Г.В. Крупнопанельное домостроение – важный резерв для решения жилищной проблемы в России // *Строительные материалы*. 2013. № 3. С. 24–26.

References

1. Guryev V.V., Dmitriev A.N., Yakhind S.I. Experimental and standard design – a strategic vector of development of industrial civil construction. *Promyshlennoe i gragdansкое stroitelstvo*. 2022. No. 7, pp. 40–47. (In Russian).
2. Guryev V.V., Yakhkind S.I. The main trends in the development of civil engineering at the present stage. *ACADEMIA. Architectura i stroitelstvo*. 2022. No. 3, pp. 97–103. (In Russian).
3. Golovin N.G., Fedorov Yu.N., Kozlov A.S. BENPAN – innovation technology of prefabricated low-rise housing construction. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2020. No. 3, pp. 24–26. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-24-26>
4. Nikolaev S.V. Two-layer factory-made exterior panel for low-rise housing construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2023. No. 3, pp. 3–10. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-3-3-10>
5. Nikolaev S.V. Monolithic-panel low-rise buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2022. No. 3, pp. 8–15. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-3-8-15>
6. Nikolaev S.V. Construction of low-rise housing from house sets of factory production. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2021. No. 5, pp. 3–8. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-5-3-8>
7. Sokolov B.S., Zenin S.A. Analysis of the regulatory base for designing reinforced concrete structures. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2018. No. 3, pp. 4–12. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-4-10>
8. Krashennnikov A.V., Per'kova M.V. Town-planning prospects. *Architectura i stroitelstvo Rossii*. 2022. No. 3 (243), pp. 4–7. (In Russian).
9. Davidyuk A.N., Nesvetaev G.V. Large-panel housing construction – an important provision for solving the housing problem In Russia. *Stroitel'nye Materialy [Construction Materials]*. 2013. No. 3, pp. 24–26. (In Russian).

УДК 624.03

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-14-19>

Д.В. КУРНИКОВ, инженер, управляющий партнер
ООО «Инарби» (129110, г. Москва, ул. Гиляровского, 57, стр. 1)

Перспективы сборного железобетона для жилищного строительства: конструктивные решения с широким шагом несущих поперечных стен

Рассмотрены возможности современного индустриального домостроения, которые полностью снимают ограничения на применение сборного железобетона, а объемно-планировочные и фасадные решения, применяемые в монолитном домостроении, эффективно воплощаются в индустриальном универсальном домостроении, сохраняя неоспоримые преимущества в скорости, качестве, низкой себестоимости. Показано, что при использовании предлагаемого конструктивного решения возведение теплого контура (каркас + наружные стены) в три раза быстрее монолитного варианта и в два раза быстрее обычного крупнопанельного за счет исключения части несущих стен, перегородок, применения крупноформатных плит перекрытия. Возможна реализация свободной планировки квартир (ячейка 7,2×7,2 м) за счет широкого шага несущих поперечных стен и применения плит с предварительно напряженной арматурой. Исключение сварных соединений, применение закладных из нержавеющей стали, заделка стыков безусадочным раствором обеспечат снижение на 25% расхода железобетона на 1 м² жилья и на 25% количество монтажных элементов. Себестоимость возведения теплого контура ниже не менее чем на 20% в сравнении с монолитным вариантом за счет приведенных факторов, без потери архитектурной привлекательности. За счет системы горизонтальных и вертикальных междуэтажных связей несущих элементов в виде болтовых соединений можно повысить надежность и безопасность таких зданий при аварийных, в том числе чрезвычайных, происшествиях.

Ключевые слова: сборный железобетон, жилищное строительство, конструктивное решение, широкий шаг несущих поперечных стен, железобетонная плита с предварительно напряженной арматурой, закладная деталь из нержавеющей стали, стык, безусадочный раствор, себестоимость, архитектурная привлекательность, междуэтажные связи, болтовое соединение.

Для цитирования: Курников Д.В. Перспективы сборного железобетона для жилищного строительства: конструктивные решения с широким шагом несущих поперечных стен // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 14–19. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-14-19>

D.V. KURNIKOV, Engineer, Managing Partner
LLC «Inarbi» (57, str. 1, Gilyarovskogo Street, Moscow, 129110, Russian Federation)

Prospects for Precast Concrete for Residential Construction: Design Solutions with Wide Spacing of Load-Bearing Transverse Walls

The possibilities of modern industrial housing construction, which completely remove restrictions on the use of precast reinforced concrete, and space-planning and facade solutions used in monolithic housing construction are effectively implemented in industrial universal housing construction, while maintaining undeniable advantages in speed, quality, and low cost, are considered. It is shown that when using the proposed design solution, the construction of a warm contour (frame + external walls) is 3 times faster than a monolithic version and 2 times faster than a conventional large-panel version due to the exclusion of part of the bearing walls, partitions, and the use of large-format floor slabs. It is possible to implement a free layout of apartments (cell 7.2×7.2 m) due to the wide spacing of load-bearing transverse walls and the use of slabs with pre-stressed reinforcement. Elimination of welded joints, use of stainless steel embedded parts, and sealing of joints with non-shrink mortar will ensure a 25% reduction in reinforced concrete consumption per 1 m² of housing and a 25% reduction in the number of installation elements. The cost of constructing a warm circuit is lower by at least 20% compared to the monolithic option due to the above factors, without loss of architectural attractiveness. Due to the system of horizontal and vertical inter-floor connections of load-bearing elements in the form of bolted connections, it is possible to increase the reliability and safety of such buildings in accident (including emergency) incidents.

Keywords: precast reinforced concrete, housing construction, structural solution, wide spacing of load-bearing transverse walls, reinforced concrete slab with pre-stressed reinforcement; stainless steel embedded part, joint, non-shrink mortar, cost, architectural attractiveness, inter-floor connections, bolted connection.

For citation: Kurnikov D.V. Prospects for precast concrete for residential construction: design solutions with wide spacing of load-bearing transverse walls. *Zhilyshchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 14–19. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-14-19>

Обеспечение граждан качественным и доступным жильем является одной из важнейших задач государства. Доступность жилья достигается за счет повышения производительности труда при строительстве жилых домов и сокращения продолжительности строительного цикла. Индустриальное строительство из сборного железобетона имеет конкурентное преимущество перед монолитным домостроением за счет сокращения сроков строительства, себестоимости сборного железобетона, обеспечения требуемого качества при производстве сборных железобетонных конструкций и скорости строительства [1–5]. Тенденция увеличения доли индустриального строительства объектов различного назначения в последние годы наблюдается во всем мире. Исторически в России опыт внедрения сборного железобетона позволил не только решить вопросы обеспечения жильем в короткие сроки, но и ускорить строительство промышленных зданий и объектов социально-культурного назначения [6–10].

В то же время сложилось мнение, что крупнопанельные жилые дома являются не совсем комфортными из-за ограничения в гибкости планировочных решений квартир, высоты потолков, отсутствия архитектурной выразительности фасадов, а также ограничения применения сборных конструкций на первых этажах при размещении коммерческих помещений. Для решения данных вопросов в последние 20–30 лет проектировщиками были предложены различные проектные решения. Так, например, для обеспечения широкого шага несущих поперечных стен были внедрены плиты пустотные, но наличие эффекта «клавишности», большого количества монтажных элементов, неудобство размещения отверстий в плитах и необходимость монолитных работ не привели к широкому распространению. Также для реализации высоких потолков и свободной планировки при размещении коммерческих помещений на первом этаже предложено проектировщиками применение монолитного железобетона под вышележащими сборными конструкциями. Применение аналогичных методов в проектировании привело к сведению к минимуму преимуществ индустриального строительства, повышению сроков и стоимости строительства.

Конструктивные решения второго этажа и выше

Стены. Конструктивная схема здания представляет собой перекрестно-стенную систему с широким шагом поперечных несущих стен (рис. 1) до 7,2 м и глубиной блок-секции до 18 м. Несущие вну-

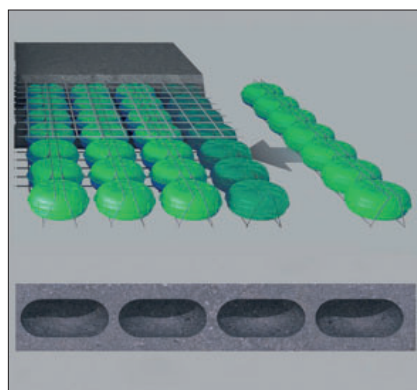


Рис. 2. Плита перекрытия с применением овальных пустотообразователей
Fig. 2. Floor slab using oval void formers

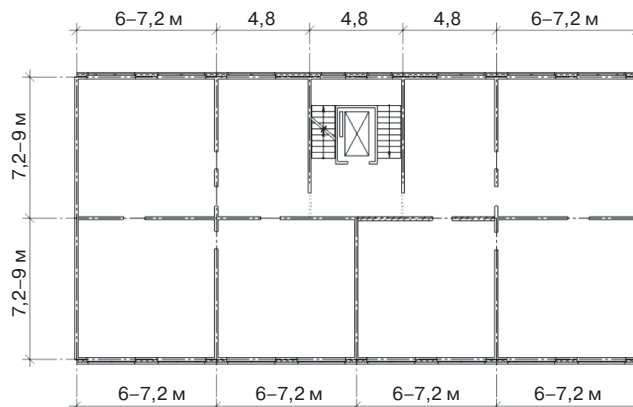


Рис. 1. Схема с широким шагом несущих поперечных стен до 6–7,2 м
Fig. 1. Scheme with a wide spacing of load-bearing transverse walls up to 6–7.2 m

тренные стены выполняются толщиной 160, 200 мм. Толщина внутренних стен принята различной в целях экономии бетона, изменяется по высоте здания ярусами в зависимости от нагрузки.

Наружные трехслойные стены могут выполняться как несущими, так и ненесущими. В них применяется эффективный утеплитель, наружный слой на гибких связях с облицовочным слоем, например из литевой плитки различной толщины (2–8 см) для придания фактурной, рельефной поверхности в виде кирпичной кладки на фасаде.

Плиты. Плиты перекрытия и покрытия выполняются с применением предварительно напряженной арматуры толщиной 160–180 мм с опиранием на стеновые панели по двум, трем, четырем сторонам. За счет применения вкладышей-пустотообразователей (овальных или квадратных) обеспечивается снижение веса (объема бетона) изделий перекрытий, приведенная толщина становится равной 120 мм (рис. 2).

При этом работа плиты перекрытия предусматривается по всем четырем сторонам за счет образования перекрестных несущих ребер, что имеет существенное преимущество, например относительно

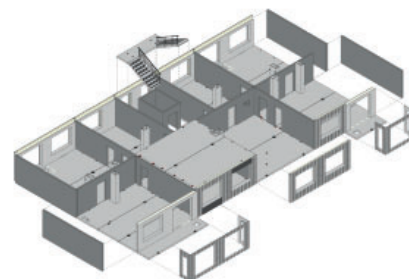


Рис. 3. Конструктивная схема с плитами перекрытия с предварительно напряженной арматурой. Варианты решений по балконам

Fig. 3. Structural scheme with floor slabs with pre-stressed reinforcement. Options for solutions for balconies



Рис. 4. Фрагмент фасада жилого дома с выступающими балконами различной конфигурации по этажам с применением литьевой плитки в панелях

Fig. 4. Fragment of the facade of a residential building with protruding balconies of various configurations on floors using cast tiles in panels

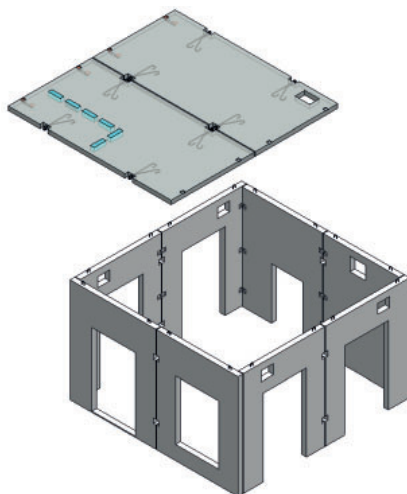


Рис. 5. Вариант конструктивного решения первого этажа (высота этажа 3,6 м)
Fig. 5. Option for a structural solution for the first floor (floor height 3.6 m)

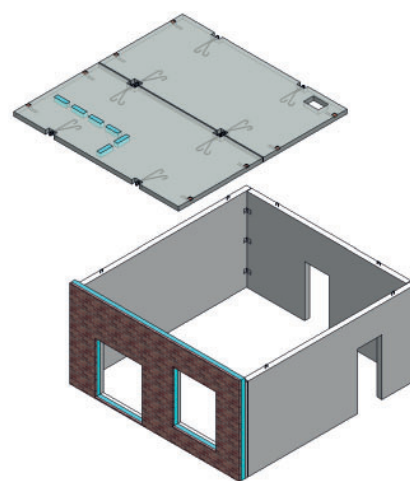


Рис. 6. Вариант конструктивного решения первого этажа (высота этажа 4,5 м)
Fig. 6. Option for a structural solution for the first floor (floor height 4.5 m)

пустотных плит безопалубочного формования. За счет возможности применения современных технологических линий на модернизированных предприятиях плиты перекрытия могут изготавливаться практически любых размеров и геометрии (рис. 3).

Балконы и лоджии могут выполняться выступающими любой конфигурации в плане, при этом менять геометрию по этажам, что позволяет архитекторам воплощать все свои амбициозные идеи (рис. 4).

В плиты и стены интегрированы закладные детали для инженерных систем. При этом в плитах перекрытия в верхней части плит предусматриваются ниши для прокладки труб отопления, холодного и горячего водоснабжения, розеточные группы электроснабжения. В результате при строительстве и отделке достаточно проложить в специально отведенных нишах заранее заготовленные на заводе по размеру трубы, выполнить соединения. Далее выполняется только минимально необходимый для выравнивания наливной пол и чистовой пол, тем самым исключаются затраты на выполнение стяжки, а также увеличивается высота самого помещения (от чистого пола до потолка).

Стыки сборных элементов. Важным элементом данной системы также являются решения по стыкам сборных изделий. Все соединения выполняются по принципу сухого монтажа, без применения мокрых процессов (бетонных работ). Монтаж последующих этажей в этом случае осуществляется без технологических перерывов, непрерывно и без дополнительных трудозатрат. Соединения могут выполняться как на сварных закладных, так и с помощью

болтовых соединений. Ввиду сравнительно небольших затрат на закладные детали как перспективное направление рассматриваются болтовые соединения с применением соединительных элементов на стыках только из нержавеющей стали. Таким образом, по долговечности здание из сборных конструкций не будет уступать зданиям из монолитного железобетона. Монтаж изделий и заделка стыков между плитами, стенами выполняются с применением безусадочного раствора. Нагнетание раствора в вертикальные швы рекомендуем выполнять механизированно для обеспечения качественной заделки, обеспечения гидроизоляции на наружных стыках и обеспечения качественной шумоизоляции между квартирами [11–15].

Конструктивные решения первого этажа, подвала и подземного паркинга

Во многих регионах вслед за г. Москва появились требования по размещению нежилых помещений на

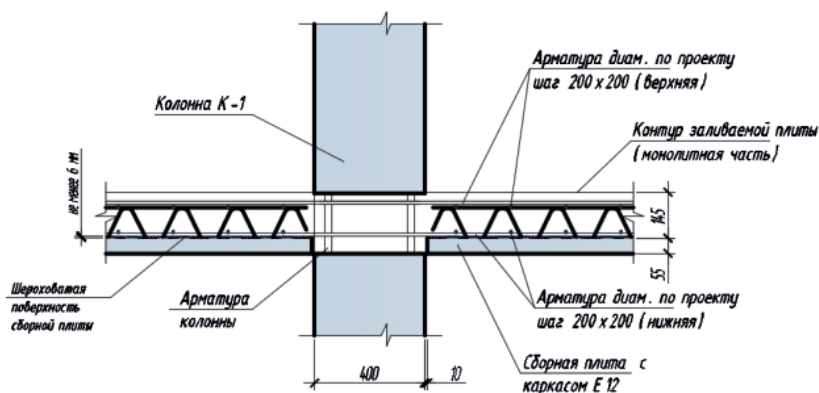


Рис. 7. Узел безбалочного сборно-монолитного перекрытия с применением несъемной железобетонной опалубки
Fig. 7. Unit of beamless prefabricated monolithic floor using permanent reinforced concrete formwork



Рис. 8. Монтаж жилых домов с применением конструкций с широким шагом несущих стен (шаг 7,2 м, толщина плиты 160 мм)
Fig. 8. Installation of a residential buildings using structures with wide spacing of load-bearing walls (spacing 7.2 m, slab thickness 160 mm)

первых этажах различного назначения взамен размещения жилых квартир [12, 13]. Это, в свою очередь, предъявляет требования по высоте данных помещений, возможности объединения смежных ячеек (свободная планировка) и возможности прокладки инженерных систем будущими владельцами коммерческой недвижимости.

Из условий возможности перевозки панелей в вертикальном положении (без сопровождения) высотой 3,6 м принимаются два варианта конструктивного решения.

Вариант 1. С применением на фасаде трехслойных панелей. В этом случае высота первого этажа (от пола до пола) составляет 3,6 м, высота помещения в чистоте – 3,3 м, что достаточно для большинства коммерческих помещений (рис. 5).

Вариант 2. С применением однослойных панелей шириной до 3,6 м и высотой до 4,5 м с возможностью их переворота на строительной площадке. В этом случае высота первого этажа (от пола до пола) может составлять 4,5 м, высота помещения в чистоте – 4,2 м (рис. 6). Отделка наружных стен первого этажа выполняется на строительной площадке (вентфасад, мокрый фасад либо кирпичная кладка);

Внутренние стены выполняются с проемами больших размеров. Конструктивные решения подвала и первого этажа по стыкам, соединениям аналогичны решениям на типовых этажах, что позволяет унифицировать все решения по всему зданию в целом, как на производстве, так и на строительной площадке.

За счет применения сборных конструкций в подвале и на первом этаже монтаж рядовой 9-этажной блок-секции осуществляется менее двух недель (от подвала до парапета). Дополнительно возможное применение готовых сантехнических модулей, а также применение модульных инженерных шахт-пакетов (блоков) позволяют сократить сроки строительства здания в целом.

Для подземных паркингов и стилобатной части (между жилыми секциями) предлагается применять конструкции, состоящие из 2–3-этажных сборных колонн и безбалочных сборно-монолитных перекрытий с применением несъемной железобетонной опалубки толщиной 50–60 мм (рис. 7).

До начала строительства пилотного проекта выполнены необходимые испытания, которые подтвердили расчетные данные. Группа жилых домов площадью более 100 тыс. м² реализована, выполняется благоустройство территории (рис. 8).

Выводы

Основные преимущества конструктивно-технологических решений предложенного варианта здания, подтверждающие его экономическую эффективность:

1. Высокие темпы строительства теплого контура (каркас + наружные стены) в три раза быстрее монолитного варианта и в два раза быстрее обычного крупнопанельного за счет исключения части несущих стен, перегородок, применения крупноформатных плит перекрытия.

2. Возможность реализации свободной планировки квартир (ячейка 7,2 x 7,2 м) за счет широкого шага несущих поперечных стен и применения плит с предварительно напряженной арматурой.

3. Высокое качество сборных изделий заводского изготовления.

4. Долговечность более 100 лет за счет исключения сварных соединений, применения закладных из нержавеющей стали и заделки стыков безусадочным раствором.

5. Полное исключение мокрых процессов на строительной площадке, возможность непрерывного монтажа при отрицательной температуре без технологических перерывов.

6. Снижение на 25% расхода железобетона на 1 м² жилья. Рядовая секция – 0,47 м³/м² (включая трехслойные панели).

7. Снижение на 25% количества монтажных элементов. Рядовая секция – 48 элементов.

8. Снижение веса здания за счет применения плит перекрытий с пустотообразователями, за счет исключения стяжки, замены бетонных перегородок на легкие перегородки, в результате экономии на конструировании фундаментов.

9. Сокращение срока строительства подвала и первого этажа при применении стеновой сборной системы в несколько раз по сравнению с монолитным вариантом.

10. Повышение производительности труда на производстве и при строительстве за счет внедрения набора универсальных проектных решений (узлы, закладные, комплектующие), который при ограниченном их числе дает возможность менять архитектурный облик и планировку здания.

11. Снижение себестоимости возведения тепло контура (каркас + наружные стены) не менее чем на 20% в сравнении с монолитным вариантом за счет приведенных факторов, без потери архитектурной привлекательности.

Список литературы

1. Гурьев В.В., Дмитриев А.Н., Яхкинд С.И. Экспериментальное и типовое проектирование – стратегический вектор развития индустриального гражданского строительства // *Промышленное и гражданское строительство*. 2022. № 7. С. 40–47.
2. Гурьев В.В., Яхкинд С.И. Основные тенденции развития гражданского строительства на современном этапе // *ACADEMIA. Архитектура и строительство*. 2022. № 3. С. 97–103.
3. Головин Н.Г., Фёдоров Ю.Н., Козлов А.С. БЭНПАН – инновационная технология сборного малоэтажного домостроения // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 24–26. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-24-26>
4. Юдин И.В., Петрова И.В., Богданов В.Ф. Совершенствование конструктивных решений, технологии и организации строительства крупнопанельных и панельно-каркасных домов Волжским ДСК // *Строительные материалы*. 2017. № 3. С. 4–8. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-746-3-4-8>
5. Николаев С.В. Решение жилищной проблемы в РФ на базе реконструкции и технического перевооружения индустриальной базы домостроения // *Жилищное строительство*. 2010. № 2. С. 2–5.
6. Николаев С.В. Возрождение домостроительных комбинатов на отечественном оборудовании // *Жилищное строительство*. 2015. № 10. С. 4–9.
7. Юмашева Е.И., Сапачева Л.В. Домостроительная индустрия и социальный заказ времени // *Строительные материалы*. 2014. № 10. С. 3–11.
8. Возможность повышения надежности и безопасности таких зданий при аварийных (в том числе чрезвычайных) происшествиях за счет системы горизонтальных и вертикальных междуэтажных связей несущих элементов в виде болтовых соединений. Применение конструктивных, технологических решений данной строительной системы способствует развитию индустриального строительства жилых домов из сборного железобетона, выводит на новый уровень качество, удобство жилья и восприятие жилых крупнопанельных домов как лучшего предложения на рынке жилья.

References

1. Guryev V.V., Dmitriev A.N., Yakhkind S.I. Experimental and standard design – a strategic vector of development of industrial civil construction. *Promyshlennoe i gragdanskoe stroitelstvo*. 2022. No. 7, pp. 40–47. (In Russian).
2. Guryev V.V., Yakhkind S.I. The main trends in the development of civil engineering at the present stage. *ACADEMIA. Architectura i stroitelstvo*. 2022. No. 3, pp. 97–103. (In Russian).
3. Golovin N.G., Fedorov Yu.N., Kozlov A.S. BEN-PAN – innovation technology of prefabricated low-rise housing construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 24–26. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-24-26>
4. Yudin I.V., Petrova I.V., Bogdanov V.F. Improvement of constructive solutions, technology and organization of construction of large-panel and panel-frame houses of Volga DSK. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2017. No. 3, pp. 4–8. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2017-746-3-4-8>
5. Nikolaev S.V. The solution of the housing problem in the Russian Federation on the basis of reconstruction and technical re-equipment of the industrial base of housing construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2010. No. 2, pp. 2–5. (In Russian).
6. Nikolaev S.V. Revival of House Building Factories on the Basis of Domestic Equipment. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 2, pp. 4–9. (In Russian).
7. Yumasheva E.I., Sapacheva L.V. The house-building industry and the social order of time. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 10, pp. 3–11. (In Russian).
8. Teshev I.D., Korosteleva G.K., Popova M.A., Shchedrin Yu.N. Modernization of housing module prefabrication plants. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 3, pp. 10–13. (In Russian).

8. Тешев И.Д., Коростелева Г.К., Попова М.А., Щедрин Ю.Н. Модернизация заводов объемно-блочного домостроения // *Строительные материалы*. 2016. № 3. С. 10–13.
9. Касторных Л.И., Каклюгин А.В., Гикало М.А., Трищенко И.В. Особенности состава бетонных смесей для бетононасосной технологии // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 4–11. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>
10. Амбарцумян С.А., Манукян А.В., Мкртычев О.В., Андреев М.И. Верификация расчетных методик на основе экспериментальных исследований фрагментов железобетонных блоков // *Промышленное и гражданское строительство*. 2023. № 6. С. 73–77. doi: 10.33622/0869-7019.2023.06.73-77
11. Касторных Л.И., Каклюгин А.В., Гикало М.А., Трищенко И.В. Особенности состава бетонных смесей для бетононасосной технологии // *Строительные материалы*. 2020. № 3. С. 4–11. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>
12. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem // *Journal of applied engineering science*. 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523. DOI: 10.5937/jaes15-14719
13. Соколов Н.С. Технология увеличения несущей способности основания // *Строительные материалы*. 2019. № 6. С. 67–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
14. Румянцев Е.В., Байбури А.Х. Особенности применения самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей при зимнем бетонировании стыков // *Строительные материалы*. 2022. № 6. С. 51–57. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-803-6-51-57>
15. Румянцев Е.В., Байбури А.Х., Соловьев В.Г., Ахмедьянов Р.М., Бессонов С.В. Технологические параметры качества самоуплотняющихся мелкозернистых бетонных смесей для зимнего бетонирования стыков // *Строительные материалы*. 2021. № 5. С. 4–14. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-4-14>
9. Kastornykh L.I., Kaklyugin A.V., Gikalo M.A., Trishchenko I.V. Features of the composition of concrete mixes for concrete pumping technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 4–11. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>
10. Ambartsumyan S.A., Manukyan A.V., Mkrtychev O.V., Andreev M.I. Verification of calculation methods based on experimental studies of fragments of reinforced concrete blocks. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2023. No. 6, pp. 73–77. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2023.06.73-77
11. Kastornykh L.I., Kaklyugin A.V., Gikalo M.A., Trishchenko I.V. Features of the composition of concrete mixes for concrete pumping technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 4–11. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>
12. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem. *Journal of applied engineering science*. 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523. DOI: 10.5937/jaes15-14719
13. Sokolov N.S. Technology for increasing the bearing capacity of the base. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 6, pp. 67–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
14. Rumyantsev E.V., Bayburin A.Kh. The features of using self-compacting fine-grained fresh concrete during winter concreting of joints. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 6, pp. 51–57. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-803-6-51-57>
15. Rumyantsev E.V., Bayburin A.Kh., Solov'ev V.G., Ahmed'yanov R.M., Bessonov S.V. Technological parameters of the quality of self-compacting fine-grained fresh concrete for winter concreting. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2021. No. 5, pp. 4–14. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-791-5-4-14>

**Как живет и трудится редакция издательства «Стройматериалы»,
как делаются наши журналы,
что нового и интересного в отрасли — расскажем и покажем!**

Объединение профессионалов гарантирует успех!

Оставайтесь с нами!

Присоединяйтесь к нашему Телеграм-каналу:

https://t.me/journal_cm



УДК 624.073

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-20-27>

Н.В. ФЕДОРОВА^{1,2}, д-р техн. наук (fedorovanv@mgsu.ru);
С.Ю. САВИН², канд. техн. наук (suwin@yandex.ru);
В.И. КОЛЧУНОВ^{1,2}, д-р техн. наук (asiorel@mail.ru);
В.С. МОСКОВЦЕВА², аспирант (lyavetka1@mail.ru);
М.А. АМЕЛИНА², аспирант (margo.dremova@mail.ru)

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Живучесть сборно-монолитного каркаса здания из индустриальных панельно-рамных элементов

Приведено новое конструктивное решение железобетонного сборно-монолитного каркаса для быстровозводимых жилых и гражданских зданий разной этажности из индустриальных железобетонных элементов заводского изготовления. Особенностью конструкции каркаса является применение в нем в качестве несущих конструкций сборных L-образных и перевернутых П-образных элементов, устанавливаемых в продольном и поперечном направлениях, многоярусных плит перекрытия и самонесущих панелей наружного контура, устанавливаемых на специальные ригели с терморазъемами. Соединение L-образных и перевернутых П-образных элементов в каркасе здания выполнено с помощью платформенно-штепсельного стыка с последующим замоноличиванием вместе с диском перекрытия и стойками рамных элементов. Общая устойчивость каркаса здания обеспечивается возведением монолитных диафрагм жесткости, устраиваемых в виде монолитных стен лестнично-лифтовых блоков и линейных или уголкового диафрагм, располагаемых в плане здания в соответствии с результатами расчета на вертикальные и горизонтальные (ветровые) нагрузки и особые воздействия. Предложенные конструкции узлов сопряжения сборных элементов обеспечивают их надежность, быстровозводимость и технологичность при монтаже. Приведены сведения о расчетных моделях и результаты расчетного анализа рассматриваемого сборно-монолитного каркаса здания с использованием подконструкций и различной степени дискретизации на разных этапах расчета. При этом особое внимание уделено моделированию платформенных стыков для оценки их напряженного состояния. Это позволило получить картину деформирования конструктивной системы в предельных и запредельных состояниях, вызванных особыми и аварийными воздействиями. Дана оценка эффективности применения предложенной конструктивной системы в массовом строительстве жилых зданий по сравнению с традиционно применяемыми конструкциями крупнопанельных зданий. Показано, что применение предложенных конструкций из панельно-рамных элементов позволяет значительно снизить материалоемкость и стоимость строительства несущего каркаса здания до 17,6% при обеспечении его механической безопасности.

Ключевые слова: железобетонный каркас, индустриальное домостроение, быстрая возводимость, панельно-рамные элементы, пространственная жесткость, расчетная схема, живучесть, конструктивная безопасность.

Для цитирования: Федорова Н.В., Савин С.Ю., Колчунов В.И., Московцева В.С., Амелина М.А. Живучесть сборно-монолитного каркаса здания из индустриальных панельно-рамных элементов // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 20–27. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-20-27>

N.V. FEDOROVA¹, Doctor of Sciences (Engineering) (fedorovanv@mgsu.ru); S.Yu. SAVIN², Candidate of Sciences (Engineering) (suwin@yandex.ru); V.I. KOLCHUNOV^{1,2}, Doctor of Sciences (Engineering) (asiorel@mail.ru); V.S. MOSKOVITSEVA², Graduate student (lyavetka1@mail.ru); M.A. AMELINA², Graduate student (margo.dremova@mail.ru)

¹ Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyi Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

² National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Robustness of Precast Reinforced Concrete Buildings Made of Industrial Panel-Frame Elements

The paper presents a new structural solution of the precast frame for residential and civil multistorey buildings which are manufactured from prefabricated industrial reinforced concrete elements. The precast frame structures include L-shaped and U-shaped precast elements, installed in the longitudinal and transverse directions, hollow-core slabs and bracing perforated beams of the outer contour, on which fencing non-bearing wall structures are supported within each storey. The computational model of the precast building frame was developed using various degrees of discretization at different stages of the analysis. This allowed to obtain both a general data about structural system deformations in the limiting and ultimate states caused by special and emergency actions. As well as, a

detailed picture of the stressed state in concrete and reinforcement of structural joint before and after cracking are discussed. The paper provides the results of the comparative analysis of the effectiveness of the proposed structural system application in the mass construction. It has been shown that the application of the proposed structures of panel-frame elements allows considerably reduce the material capacity and cost of the reinforced concrete frame by up to 17,6%, ensuring the mechanical safety of the building.

Keywords: reinforced concrete frame, industrial housing construction, fast construction, frame-panel elements, spatial rigidity, calculation scheme, robustness, structural safety.

For citation: Fedorova N.V., Savin S.Yu., Kolchunov V.I., Moskovtseva V.S., Amelina M.A. Robustness of precast reinforced concrete buildings made of industrial panel-frame elements. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 20–27. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-20-27>

Несмотря на достаточно большое разнообразие архитектурно-планировочных решений жилых зданий, строящихся в последние два-три десятилетия, в массовом жилищном строительстве находит применение крайне ограниченная номенклатура относительно недорогих конструктивных решений. По сути, в настоящее время она представлена крупнопанельными, стоечно-балочными сборными, монолитными или сборно-монолитными конструкциями, а также объемно-блочными и кирпичными зданиями различных типов. При этом крупнопанельные и монолитные здания занимают преобладающий объем всех строящихся многоэтажных жилых зданий [1–3]. Учитывая острую необходимость сокращения сроков строительства и все больший дефицит профессий квалифицированных каменщиков и бетонщиков, объем индустриального крупнопанельного, крупногабаритного и объемно-блочного строительства [4–8] быстровозводимых зданий имеет тенденцию к увеличению. Так, по данным ЦНИИЭП жилища [3], в настоящее время более 60–70% жилья в регионах страны строится в быстровозводимых панельных зданиях различных типов. Что же касается новых регионов России, то, судя по строящимся и проектируемым в этих регионах объектам жилья, такой тип зданий приближается к 90% [9]. В нынешних условиях, судя по всему, такая тенденция сохранится еще как минимум на ближайшее десятилетие. Поэтому разработка, исследование и введение в хозяйственный оборот относительно недорогого быстровозводимого безопасного и комфортного жилья для массового строительства и объектов социального назначения на индустриальной основе представляют научный и практический интерес. Учитывая это, в строительном комплексе России, хотя и крайне медленно, но проводится модернизация и создание современных технологических линий предприятий стройиндустрии для выпуска сборных конструкций. Примерами движения в этом направлении могут служить недавно построенные и модернизированные технологические линии [4–10]. Для успешного развития этого направления необходимо создание новых эффективных конструкций индустриального производства на современной технологической базе, обеспечивающих качественное строительство экономичного, безопасного и комфортного жилья. Учитывая все

возрастающие воздействия на здания и сооружения природного, техногенного и даже террористического характера и, соответственно, требования к проектированию таких зданий [11–18], для скорейшего внедрения новых технологий требуется научно-техническое сопровождение проектирования зданий и сооружений с новыми типами конструкций и с экспериментальным обоснованием их безопасности. В статье представлено техническое решение железобетонного сборно-монолитного каркаса многоэтажного здания из индустриальных рамно-панельных железобетонных элементов заводского изготовления. Даны результаты расчетного анализа деформирования таких конструктивных систем при эксплуатационных нагрузках и особых воздействиях и приведены технические решения сборных элементов и узлов каркаса здания, принятые по результатам этих расчетов. Приведена также технико-экономическая оценка эффективности применения в строительстве таких конструктивных систем.

Конструктивное решение здания

Железобетонный сборно-монолитный каркас многоэтажного здания (рис. 1) собирается из двух типов рамных L-образных и перевернутых П-образных железобетонных элементов (рис. 2). Пространственная рамная конструктивная система здания в продольном и поперечном направлениях образуется соединением сборных L-образных и перевернутых П-образных конструктивных элементов между собой в плане и по высоте здания.

Стойка нижележащей рамы и нижняя плоскость сборного ригеля при монтаже соединяются между собой с помощью штепсельного стыка [19]. В направлении ригелей рамных элементов несущий ригель L-образного элемента опирается с помощью подрезки на выступающую консоль ригеля перевернутого П-образного элемента (рис. 2 и 3, разрез 1–1). Все стойки сборных рамных элементов в нижней части в зоне сопряжения с ригелем имеют проемы высотой на 15 мм меньше высоты монолитной верхней части ригеля. Это обеспечивает надежное заполнение этих проемов при бетонировании верхней монолитной части ригелей. В другом направлении пространственного каркаса соединение рамных элементов производится монолитными связевыми ригелями,

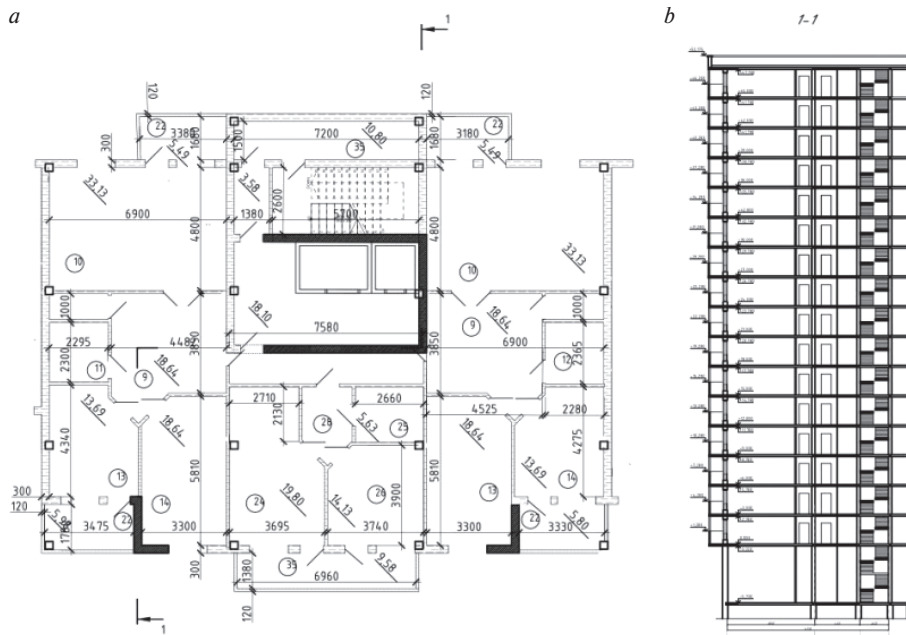


Рис. 1. Схема конструктивной системы фрагмента каркаса здания из перевернутых П-образных и L-образных панельно-рамных элементов (а); разрез 1–1 (б)

Fig. 1. Scheme of the structural system of a fragment of a building frame made of panel-frame elements (a); section 1–1 (b)

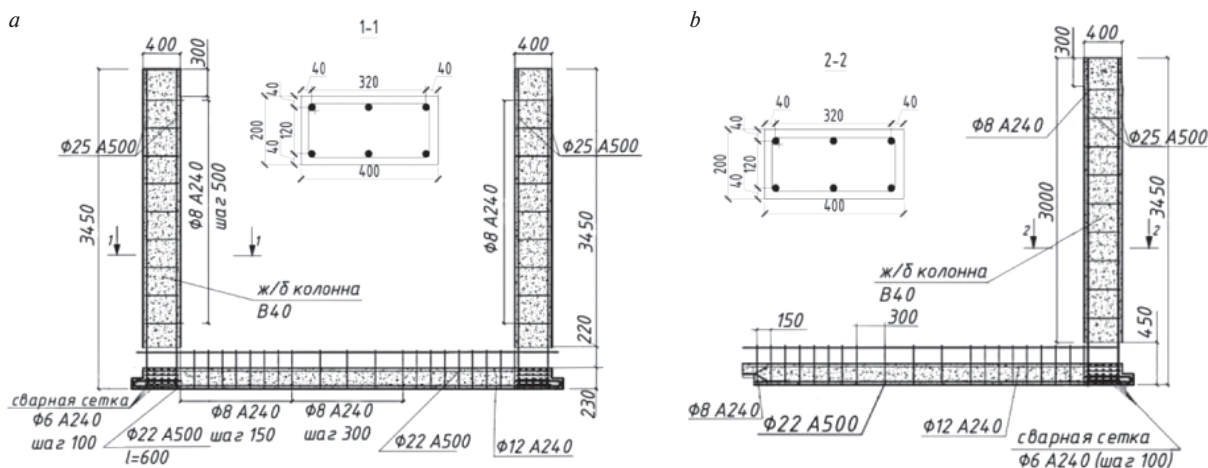


Рис. 2. Конструкции сборного рамного элемента: перевернутого П-образного (а); L-образного (б)

Fig. 2. Constructions of the prefabricated frame element: inverted П-shaped (a); L-shaped (b)

бетонируемыми в процессе монтажа каркаса. Ширина связевых ригелей принята равной высоте поперечного сечения стойки рамных элементов, а высота сечения этих ригелей равна высоте сечения многпустотной плиты перекрытия. Армирование стоек рамных L-образных и перевернутых П-образных конструктивных элементов выполнено по расчету четырьмя или шестью продольными стержнями в зависимости от нагрузки. Площадь арматуры определяется расчетом рамной системы каркаса здания. Несущие сборно-монолитные ригели каркаса имеют тавровое сечение. Нижняя сборная часть ригеля выполняется как элемент сборного L-образного или перевернутого П-образного элемента. Верхняя монолитная часть ригеля бетонируется в процессе монтажа каркаса и принимается равной высоте многпустотных плит перекрытия. Боковые поверхности и торцы много-

пустотных плит, опирающиеся на сборную часть ригелей панельно-рамных элементов, имеют шпонки. Армирование ригелей в стадии эксплуатации определяется расчетом каркаса здания на заданные эксплуатационные нагрузки и на особые воздействия, вызванные начальным локальным разрушением одной из стоек первого этажа каркаса здания [12].

При повышенной этажности здания для восприятия ветровых нагрузок в конструктивной системе устраиваются диафрагмы жесткости (рис. 3). В качестве диафрагм используются монолитные или сборные стены шахт лестнично-лифтового блока здания, а также дополнительные линейные или угловые в плане железобетонные элементы, устраиваемые в виде монолитных стен на всю высоту здания. Схема их расположения в плане определяется расчетом каркаса здания на горизонтальные нагрузки. Кон-

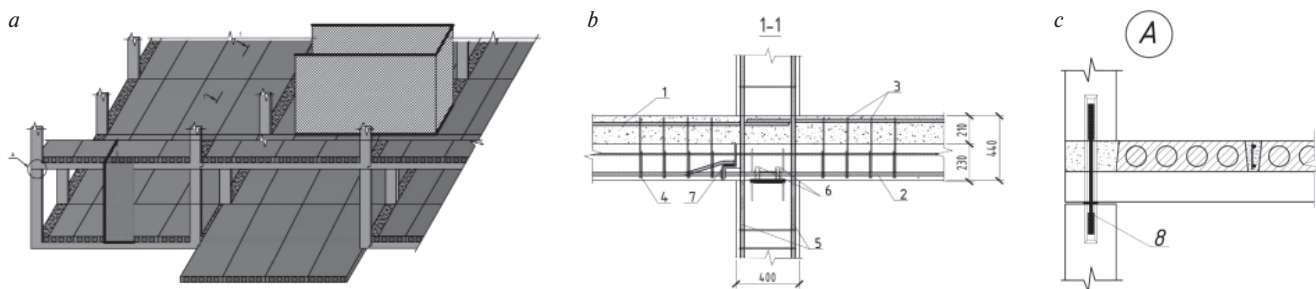


Рис. 3. Конструктивная система сборно-монолитного здания из панельно-рамных элементов: а – фрагмент каркаса; б – разрез 1–1; с – схема соединения сборных панельно-рамных элементов по высоте: 1 – рабочая арматура монолитной части ригеля; 2 – рабочая арматура сборной части ригеля; 3 – горизонтальные поперечные стержни в монолитной части ригеля; 4 – вертикальные поперечные стержни-выпуски ригеля; 5 – рабочая арматура стойки панельно-рамного элемента; 6 – закладные детали штепсельного стыка; 7 – закладная деталь консоли для опирания L-образного элемента; 8 – накладка

Fig. 3. The structural system of a prefabricated monolithic building made of panel-frame elements: a - a fragment of the frame; b - section 1–1; c - the connection scheme of prefabricated panel-frame elements in height: 1 - the working fittings of the monolithic part of the crossbar; 2 - the working fittings of the assembled parts of the crossbar; 3 - horizontal transverse rods in the monolithic part of the crossbar; 4 - vertical transverse rods-the releases of the crossbar; 5 - the working fittings of the panel-frame element; 6 - plug-in parts of the plug joint; 7 - the embedded part of the console for support L-shaped element; 8 - lining

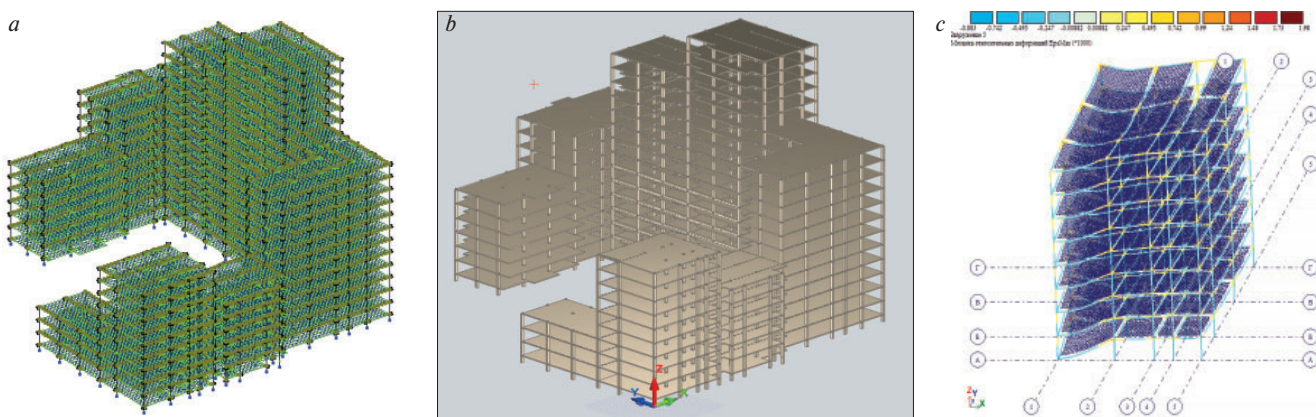


Рис. 4. Расчетная (а), конструктивная (б) схемы каркаса здания первого уровня и максимальные относительные деформации в стойках и ригелях сборных панелей-рам десятиэтажного фрагмента несущей системы здания при особом воздействии в виде удаления угловой стойки (с)

Fig. 4. Calculation (a), structural (b) scheme of the first-level building frame and maximum relative deformations in the racks and crossbars of prefabricated panels-frames of a ten-story fragment of the building's load-bearing system under special impact in the form of removal of the corner post (c)

структивно они выполняются в плоскости несущих или связевых ригелей рам каркаса.

Соединение сборных элементов в каркасе здания выполняется следующим образом. L-образный элемент через подрезку в ригеле опирается на выступающую консоль перевернутого П-образного элемента и соединяется с ней с помощью закладных деталей. Соединение L-образных и перевернутых П-образных элементов по высоте выполняется с помощью двойного штепсельного стыка через специальные закладные детали по типу вилки. Жесткость узлов каркаса обеспечивается замоноличиванием верхней части L-образных и П-образных элементов совместно со стойками этих элементов через проемы в нижней зоне стоек, образуя тем самым во взаимно ортогональных направлениях жесткую рамную систему. Предлагаемое техническое решение позволяет в сборно-монолитном железобетонном каркасе здания обеспечить восприятие изменяющихся в нем силовых потоков при особых воздействиях, напри-

мер при внезапном разрушении одной из несущих колонн [13]. С целью защиты каркаса здания от прогрессирующего обрушения [12] стойки L-образных и П-образных элементов рам по высоте дополнительно соединяются специальными связями-накладками (рис. 3, с, узел А). Это обеспечивает восприятие растягивающих усилий по высоте каркаса здания в случае повреждения или удаления стойки первого этажа при сценарии расчета, предусмотренном СП 385.1325800.2018.

Анализируя представленное конструктивное решение, можно отметить следующее. В традиционном сборном или сборно-монолитном стоечно-балочном каркасе одна ячейка каркаса, например 6×4,8 м, монтируется из четырех колонн и четырех ригелей. Такая же ячейка сборно-монолитного каркаса из L-образных и перевернутых П-образных элементов имеет в два раза меньше монтажных элементов и соответственно меньшее число стыковых соединений. В отличие же от зданий из крупнопанельных элемен-

Расход материалов и стоимость конструкций каркаса здания
Material consumption and cost of building frame structures

Крупнопанельное здание (вариант 1)			Здание из панельно-рамных элементов (вариант 2)			Разность по 1-му и 2-му вариантам, на м ²	
Наименование конструктивного элемента и его параметры	Кол-во изделий на м ²	Объем, м ³ /м ²	Наименование конструктивного элемента	Кол-во изделий на м ²	Объем, м ³ /м ²	в объеме м ³ /м ²	в стоимости
							р./м ²
Монолитная плита фундамента $h=600$ мм	—	0,6	Монолитная плита фундамента $h=500$ мм	—	0,5	0,1	716
Наружные несущие стеновые панели $t=350$ мм	0,049	0,108	Наружные самонесущие стеновые панели $t=250$ мм	0,049	0,074	0,034	671,5
			Обвязочный ригель $l=3,2$ м	0,049	0,0098	-0,0098	5,6
Внутренние несущие стеновые панели $t=160$ мм	0,098	0,252	Внутренние несущие П-образные элементы	0,037	0,033	0,196	2286,1
			Внутренние несущие L-образные элементы	0,037	0,023		18
Плиты перекрытия по контуру 6000×3200 мм $t=160$ мм	0,049	0,16	Многopустотные плиты перекрытия 6800×1500 мм $t=220$ мм	0,098	0,11	0,05	312,7
							2

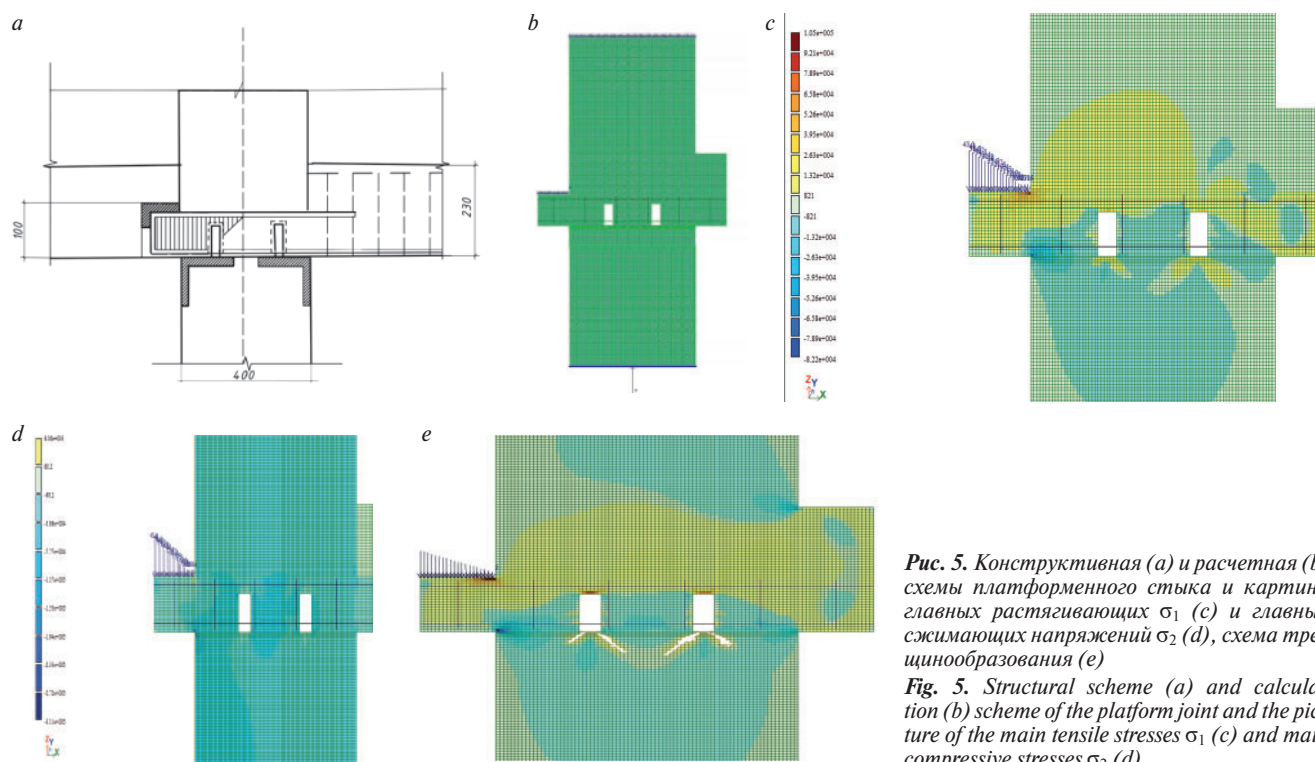


Рис. 5. Конструктивная (а) и расчетная (б) схемы платформенного стыка и картина главных растягивающих σ_1 (с) и главных сжимающих напряжений σ_2 (d), схема трещинообразования (e)

Fig. 5. Structural scheme (a) and calculation (b) scheme of the platform joint and the picture of the main tensile stresses σ_1 (c) and main compressive stresses σ_2 (d)

тов, имеющих жесткую архитектурно-планировочную структуру, предлагаемое решение позволяет обеспечить различные варианты объемно-планировочных решений как для жилых зданий различной этажности с широким разнообразием форм в плане, так и для общественных зданий различного назначения [20].

Расчетный анализ

Расчет рассматриваемого каркаса жилого здания, собираемого из рамно-панельных L-образных и перевёрнутых П-образных элементов, выполнен по двум

вариантам расчетных схем: первичной – на действие эксплуатационной нагрузки; вторичной – на особое воздействие в виде гипотетического удаления одной из несущих колонн первого этажа. При построении расчетных схем использована методика двухуровневого моделирования на основе подконструкций [17]. Расчетная схема первого уровня (рис. 4, а) построена по принятой конструктивной схеме для всего каркаса здания (рис. 4, б). Расчетные схемы второго и третьего уровней с целью детализации напряженного состояния в конструктивных элементах и определения

параметров предельных состояний второй группы строились для фрагментов или отдельных конструктивных элементов каркаса. Деформированное состояние 10-этажного фрагмента несущей системы здания в результате внезапной структурной перестройки при удалении угловой стойки показано на рис. 4, с.

Поскольку гибкость стоек панельно-рамных элементов из их плоскости составляет $\lambda_{\text{н}} \approx 20$, расчет несущей способности по первой группе предельных состояний и оценка живучести рассматриваемой конструктивной системы здания при особом воздействии выполнялись также и по деформированной схеме, с учетом геометрической и физической нелинейности для проверки устойчивости элементов каркаса здания. Установлено, что принятые при проектировании размеры сечений стоек рамных элементов достаточны для обеспечения их устойчивости при особом воздействии.

Важным этапом расчетного анализа для рассматриваемого каркаса здания явился этап моделирования платформенного стыка рамно-панельных элементов. Конструкция платформенного стыка каркаса здания из перевернутых П-образных и L-образных панельно-рамных элементов, включая скрытую консоль для опирания ригеля L-образного элемента (рис. 5, а), моделировалась плоскими конечными элементами.

В конечно-элементной модели (рис. 5, б) расчетная схема формировалась из плоских физически нелинейных четырехугольных конечных элементов балки стенки типа КЭ-230. Нагрузка моделировалась по результатам расчета всего каркаса сборно-монолитного здания из панельно-рамных элементов (рис. 4, б).

В результате расчета получена картина напряженного состояния в зоне платформенного стыка при нагрузке на стойку ригеля $N=852$ кН и нагрузке $N=1372$ кН. При этих нагрузках построены мозаики главных растягивающих и сжимающих напряжений до и после трещинообразования в зоне платформенного стыка (рис. 5, с, д), включая скрытую консоль платформенного стыка, а также картина трещин (рис. 5, е) при нагрузке $N=1372$ кН. Максимальные главные сжимающие напряжения после образования трещин в рассматриваемой зоне составили 32,3 МПа. Образование трещин в наиболее напряженных зонах штепсельного стыка произошло при нагрузке на стойку $N=1372$ кН. При этой нагрузке напряжения в арматурном стержне, окантовывающем металлическую пластину скрытой консоли, составили 118,3 МПа.

Для оценки эффективности применения предложенной конструктивной системы был определен расход материалов и стоимость каркаса здания с применением быстровозводимых конструкций ин-

дустриального изготовления для двух вариантов 17-этажного здания: здание из крупнопанельных конструкций (вариант 1) и здание из индустриальных панельно-рамных элементов (вариант 2) (см. таблицу).

При сопоставлении фундамент зданий в обоих вариантах принят в виде монолитной железобетонной плиты высотой 600 и 500 мм соответственно. В расчете был учтен расход железобетона, легкого железобетона для ограждающих конструкций наружного контура и легкого бетона для межкомнатных и межквартирных перегородок, применяемых для второго варианта. Анализ полученных результатов показал, что расход конструкционного железобетона в предлагаемом варианте каркаса в среднем снижен на $0,37 \text{ м}^3/\text{м}^2$, или на 23,4%, масса каркаса здания соответственно снижается до 27%. Общая стоимость конструкций каркаса здания из панельно-рамных элементов (вариант 2) сокращается на 3892,2 р./ м^2 , или на 17,6%. При этом в здании из панельно-рамных элементов значительно улучшаются теплоизоляция наружного контура и звукоизоляционные показатели в квартирах.

Выводы

1. Предложено новое конструктивное решение сборно-монолитного каркаса из индустриальных элементов заводского изготовления для строительства быстровозводимых жилых и общественных зданий. Конструктивное решение каркаса позволяет выполнять проектирование зданий разной этажности, с гибкой планировкой внутренних пространств, пластикой и архитектурной выразительностью фасадов, высокими теплотехническими качествами внешнего контура здания.

2. Производство конструкций каркаса здания может быть организовано на предприятиях сборного железобетона. Формование L-образных и перевернутых П-образных конструкций рам производится с использованием поворотных вибростолов с магнитными вставками. На этих же столах производится термообработка изделий. Использование этих столов и специальных магнитов позволяет обеспечить высокую точность размеров изделий и положения закладных деталей с минимальными допусками и тем самым высокое качество сборных конструкций.

3. Проведенный расчетный анализ конструктивных систем сборно-монолитных 9- и 17-этажных каркасов зданий, собираемых из рамных L-образных и перевернутых П-образных элементов, дал высокие показатели силового сопротивления элементов каркаса при эксплуатационных нагрузках и особых воздействиях. Сборно-монолитное исполнение несущих и связевых ригелей каркаса с принятой конструкцией

платформенного стыка и вертикальными связями позволяет обеспечить требования СП 385.1325800.2018 по защите зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения.

4. Проведенный технико-экономический анализ эффективности применения рассматриваемой конструктивной системы для многоэтажных жилых зда-

ний показал, что в предлагаемом варианте каркаса по сравнению со зданием из крупнопанельных конструкций расход конструкционного железобетона в среднем снижен на $0,37 \text{ м}^3/\text{м}^2$, или на 23,4%, масса каркаса здания соответственно снижается до 27%. При этом общая стоимость конструкций каркаса здания из панельно-рамных элементов сокращается до 17,6%.

Список литературы

1. Соколов Б.С., Зенин С.А. Анализ нормативной базы проектирования железобетонных конструкций // *Строительные материалы*. 2018. № 3. С. 4–12. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-4-10>
2. Николаев С.В. Строительство панельно-монолитных домов из домокомплектов заводского производства // *Жилищное строительство*. 2021. № 10. С. 10–16. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-10-10-16>
3. Николаев С.В. Инновационная замена КПД на панельно-монолитное домостроение (ПМД) // *Жилищное строительство*. 2019. № 3. С. 3–10. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-3-10>
4. Пахомова Л.А., Мещеряков А.С. Аспекты организации проектирования для крупномодульного домостроения // *Системные технологии*. 2022. № 1 (42). С. 15–21.
5. Шембаков В.А. Возможности инновационной индустриальной технологии сборно-монолитного каркаса ГК «Рекон-СМК» // *Жилищное строительство*. 2023. № 3. С. 32–38. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-3-32-38>
6. Сычев С.А. Высокотехнологичная строительная система скоростного возведения многофункциональных полносборных зданий // *Жилищное строительство*. 2016. № 3. С. 43–48.
7. Шембаков В.А. Инновационные технологии в домостроении, освоенные ГК «Рекон-СМК» за 20 лет работы на рынке РФ и СНГ // *Жилищное строительство*. 2018. № 3. С. 36–43.
8. Коршунов А.Н. Крупнопанельные дома нового поколения // *Жилищное строительство*. 2018. № 3. С. 44–46.
9. Мушчанов В.Ф., Югов А.М. Состояние и основные проблемы строительного комплекса Донецкой Народной Республики // *Строительство и реконструкция*. 2023. № 4 (108). С. 138–148.
10. Лapidus А.А., Амбарцумян С.А., Долгов О.С., Колпаков А.М., Мещеряков А.С., Горбачевский В.П. Исследование влияния технологических и функциональных особенностей мобильных конвейер-

References

1. Sokolov B.S., Zenin S.A. Analysis of the regulatory base for designing reinforced concrete structures. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 3, pp. 4–12. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-768-3-4-10>
2. Nikolaev S.V. Construction of panel-monolithic houses from factory-made house kits. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 10, pp. 10–16. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-10-10-16>
3. Nikolaev S.V. Innovative replacement of large-panel housing construction by panel-monolithic housing construction (PMHC). *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 3, pp. 3–10. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-3-10>
4. Pakhomova L.A., Meshcheryakov A.S. Aspects of design organization for large-modular housing construction. *Sistemnye tekhnologii*. 2022. No. 1 (42), pp. 15–21. (In Russian).
5. Shembakov V.A. Possibilities of innovative industrial technology of prefabricated monolithic frame GC “Recon-SMK”. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 3, pp. 32–38. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-3-32-38>
6. Sychev S.A. High-tech construction system for high-speed construction of multifunctional fully assembled buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 3, pp. 43–48 (In Russian).
7. Shembakov V.A. Innovative technologies in housing construction, mastered by GC “Recon-SMK” for 20 years of work in the market of the Russian Federation and the CIS. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 3, pp. 36–43 (In Russian).
8. Korshunov A.N. Large-panel houses of the new generation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 3, pp. 44–46 (In Russian).
9. Mushchanov V.F., Yugov A.M. State and main problems of a construction complex of the Donetsk People's Republic. *Stroitel'stvo i rekonstruktsia*. 2023. No. 4 (108), pp. 138–148. (In Russian).
10. Lapidus A.A., Ambarcumyan S.A., Dolgov O.S., Kolkpakov A.M., Meshcheryakov A.S., Gorbachevskij V.P. Investigation of the influence of technological and functional features of mobile robotic conveyor tech-

- ных роботизированных технологических линий на конструкцию железобетонных стен и перекрытий мобильных крупногабаритных модулей // *Строительное производство*. 2022. № 3. С. 2–10.
11. Савин С.Ю., Федорова Н.В., Емельянов С.Г. Анализ живучести сборно-монолитных каркасов многоэтажных зданий из железобетонных панельно-рамных элементов при аварийных воздействиях, вызванных потерей устойчивости одной из колонн // *Жилищное строительство*. 2018. № 12. С. 3–7.
 12. Травуш В.И., Шапиро Г.И., Колчунов В.И., Леонтьев Е.В., Федорова Н.В. Проектирование защиты крупнопанельных зданий от прогрессирующего обрушения // *Жилищное строительство*. 2019. № 3. С. 40–46. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-40-46>
 13. Колчунов В.И., Федорова Н.В., Савин С.Ю. Динамические эффекты в статически неопределимых физически и конструктивно нелинейных системах // *Промышленное и гражданское строительство*. 2022. № 9. С. 42–51.
 14. Feng. F.F., Hwang H.J., Yi W.J. Static and dynamic loading tests for precast concrete moment frames under progressive collapse // *Engineering Structures*. 2020. Vol. 213, pp. 110612.
 15. Zhou. Y., Hu X., Pei Y., Hwang H.J., Chen T., Yi W., Deng L. Dynamic load test on progressive collapse resistance of fully assembled precast concrete frame structures // *Engineering Structures*. 2020. Vol. 214, pp. 110675.
 16. Lin K., Lu X., Li Y., Guan H. Experimental study of a novel multi-hazard resistant prefabricated concrete frame structure // *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2019. Vol. 119, pp. 390–407.
 17. Savin S., Kolchunov V., Fedorova N., Tuyen Vu.N. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario // *Buildings*. 2023. Vol. 13 (4), pp. 908. <https://doi.org/10.3390/buildings13040908>
 18. Тамразян А.Г. Концептуальные подходы к оценке живучести строительных конструкций, зданий и сооружений // *Железобетонные конструкции*. 2023. Т. 3. № 3. С. 62–74.
 19. Соколов Б.С. Теоретические основы методики расчета штепсельных стыков железобетонных конструкций зданий и сооружений // *Жилищное строительство*. 2016. № 3. С. 60–63.
 20. Федорова Н.В., Савин С.Ю., Колчунов В.И., Московцева В.С., Амелина М.А. Конструктивная система быстровозводимого здания из промышленных панельно-рамных элементов // *Строительство и реконструкция*. 2023. № 3. С. 70–81.
 11. Savin S.Yu., Fedorova N.V., Emel'yanov S.G. Survivability analysis of reinforced concrete frameworks of multi-storey buildings made of frame-panel elements using combination of prefabricated and monolithic concrete in case of accidental impacts caused by loss of stability of one of the columns. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 12, pp. 3–7. (In Russian).
 12. Travush V.I., Shapiro G.I., Kolchunov V.I., Leont'ev E.V., Fedorova N.V. Design of protection of large-panel buildings against progressive collapse. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 3, pp. 40–46. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-3-40-46>
 13. Kolchunov V.I., Fedorova N.V., Savin S.YU. Dynamic effects in statically indeterminate physically and structurally nonlinear structural systems. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2022. No. 9, pp. 42–51. (In Russian).
 14. Feng. F.F., Hwang H.J., Yi W.J. Static and dynamic loading tests for precast concrete moment frames under progressive collapse. *Engineering Structures*. 2020. Vol. 213, pp. 110612.
 15. Zhou Y., Hu X., Pei Y., Hwang H.J., Chen T., Yi W., Deng L. Dynamic load test on progressive collapse resistance of fully assembled precast concrete frame structures. *Engineering Structures*. 2020. Vol. 214, pp. 110675.
 16. Lin K., Lu X., Li Y., Guan H. Experimental study of a novel multi-hazard resistant prefabricated concrete frame structure. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2019. Vol. 119, pp. 390–407.
 17. Savin S., Kolchunov V., Fedorova N., Tuyen Vu.N. Experimental and Numerical Investigations of RC Frame Stability Failure under a Corner Column Removal Scenario. *Buildings*. 2023. Vol. 13 (4), pp. 908. <https://doi.org/10.3390/buildings13040908>
 18. Tamrazyan A.G. Conceptual approaches to robustness assessment of building structures, buildings and facilities. *Reinforced concrete structures*. 2023. Vol. 3. No. 3, pp. 62–74. (In Russian).
 19. Sokolov B.S. Theoretical basis of calculation methods of plug joints of reinforced concrete structures of buildings and constructions. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 3, pp. 60–63. (In Russian).
 20. Fedorova N.V., Savin S.Yu., Kolchunov V.I., Moskovtseva V.S., Amelina M.A. Building structural system made of industrial frame-panel elements. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2023. No. 3, pp. 70–81. (In Russian).

УДК 624.03

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-28-34>

А.Н. КОРШУНОВ¹, инженер-конструктор (a.korshunov@gap-rt.ru);
Е.Ф. ФИЛАТОВ², начальник лаборатории (filatovef@mail.ru);
А.Р. ГИЗЗАТУЛЛИН³, канд. техн. наук, доцент (anasrg@yandex.ru)

¹ АО «Казанский Гипрониавиапром» (420127, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Дементьева, 1)

² ООО «ИНТ-Солюшн» (241019, г. Брянск, ул. Пересвета, 18)

³ Казанский государственный архитектурно-строительный университет (420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1)

Новая технология изготовления объемных блоков – стапель для индустриального домостроения с гибкой квартирографией

Рассматривается объемное домостроение с гибкой квартирографией, в вариантах применения объемного блока с предварительно напряженным сборно-монолитным перекрытием, в котором используется сборная преднапряженная плита. Предлагается трансформируемая оснастка и технология для изготовления гибкого объемного блока, а также варианты модернизации существующих технологий.

Ключевые слова: объемный железобетонный блок, домостроение с гибкой квартирографией, преднапряженная плита перекрытия, форма, заводская технология производства, типы блоков «стакан», «колпак», форма, технология, стэнд, стапель.

Для цитирования: Коршунов А.Н., Филатов Е.Ф., Гиззатуллин А.Р. Новая технология изготовления объемных блоков – стапель для индустриального домостроения с гибкой квартирографией // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 28–34. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-28-34>

A.N. KORSHUNOV¹, Design Engineer (a.korshunov@gap-rt.ru);

E.F. FILATOV², Head of Laboratory (filatovef@mail.ru);

A.R. GIZZATULLIN³, Candidate of Sciences (Engineering), Docent (anasrg@yandex.ru)

¹ JSC «Kazan Giproniaviaprom» (1, Dementieva Street, Kazan, 420127, Republic of Tatarstan, Russian Federation)

² LLC «INT-Solushn» (18, Peresveta Street, Bryansk, 241019, Russian Federation)

³ Kazan State University of Architecture and Engineering (1, Zelenaya Street, Kazan, 420043, Republic of Tatarstan, Russian Federation)

New Technology for Manufacturing Volumetric Blocks – Slipway for Industrial Housing Construction with Flexible Apartmentography

Volumetric housing construction with flexible apartmentography is considered, in the variants of using a volumetric block with a pre-stressed prefabricated monolithic ceiling, in which a prefabricated pre-stressed plate is used. Transformable tooling and technology for the manufacture of a flexible volumetric block are considered. Options for upgrading existing technologies are considered.

Keywords: volumetric reinforced concrete block, housing construction with flexible apartmentography, prestressed floor slab, shape, factory production technology, types of blocks “glass”, “hood”, shape, technology, stand, slipway.

For citation: Korshunov A.N., Filatov E.F., Gizzatullin A.R. New technology for manufacturing volumetric blocks – slipway for industrial housing construction with flexible apartmentography. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 28–34. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-28-34>

Выбор конструктивной схемы объемно-блочного домостроения. В [1] показаны три варианта конструкций объемных блоков, лишенных главного недостатка объемно-блочного домостроения (ОБД) – в виде жестких планировок квартир.

С помощью объемных блоков (ОБ) данной конструкции появилась возможность строить квартиры со свободными планировками, когда несущие стены располагаются по периметру квартиры. При этом квартира может иметь любую площадь и любую конфигурацию за счет применения в конструкции

блока преднапряженных, пустотных или сплошных плит перекрытия. Также блок позволяет использовать пустотную плиту в зданиях любой этажности за счет перехода от платформенного стыка блоков к контактному [2–5]. Уменьшается количество монтажных элементов за счет наличия в составе блока не только балконной плиты, но и плиты перекрытия этажного коридора; блоки могут быть изготовлены со всеми внутриквартирными перегородками (схема «стакан») [6–17]. Размеры блока не выходят за грузовой автотранспортный габарит. Вес блока менее

грузоподъемности отечественного башенного крана КБ-605 (СТМ-37) 20 т, на вылете 21–23 м, кран широко применяется при строительстве зданий из объемных железобетонных блоков до 18 этажей (г. Кохма) с возможностью разнообразных фасадов для здания. Наличие механизма инсоляции проблемных квартир улучшает технико-экономические показатели застройки любого участка. На конструкцию блоков получен патент [2]

Для реализации данных преимуществ нужно экономичное решение по индустриальной технологии производства объемных блоков.

Выбор оснастки для производства ОБД. В 2009 г., по данным Росстата, объем возведения панельных железобетонных (ж/б) домов составил 8,5 млн м², монолитных домов – 5,8 млн м². В 2020 г. построили лишь 5,7 млн м² панельных ж/б зданий (на 33% меньше), тогда как монолитных стало в три раза больше – 17,4 млн м². Произошло существенное удешевление стоимости монолитного строительства, и эти здания переместились в сегмент доступного жилья. Предлагаемая конструктивная схема ОБД [1] предназначена для устранения данной тенденции, она не только приближается к монолиту по разнообразию планировочных решений квартир и фасадов зданий, но и превосходит его в связи с наличием преднапряженных перекрытий.

Технология монолитного строительства имеет определенные преимущества за счет использования щитовой опалубки, которая универсальна в применении, нетрудоемка в эксплуатации, недорогая, мобильная, соответственно не требует больших капитальных затрат на организацию строительного бизнеса.

Поэтому авторы предлагают симбиоз новой конструктивной схемы ОБД и заводского (индустриального) стенового изготовления блоков на так называемом **стапеле**, с использованием как щитовой опалубки, так и без нее. Под щитовой опалубкой подразумевается формообразующее ограждение для заливки бетонных монолитных стен и перегородок объемных блоков из соответствующих видов бетона [9, 10]; опалубка может быть из различных материалов и различной конструкции.

Первый вариант оснастки для изготовления объемных блоков (ОБ) на стапеле – щитовая опалубка для монолитных стен. Стапель – это горизонтальная площадка для изготовления объемных блоков, оборудованная как минимум энергоносителями для тепловлажностной обработки, электропитанием, грузоподъемными механизмами, механизмами фиксации опалубки. Стапель может быть смонтирован в пролете формовочного цеха, имеющего кран грузоподъемностью 20 т, возможны и другие варианты его расположения, вплоть до приобъектного.

В идеале **размер стапеля должен позволять собирать единую оснастку на весь этаж изготавливаемого здания в соответствии с его проектным планом**, копируя монолитную технологию; разница в том, что в нашем случае этаж – это сумма отдельных объемных блоков. На стапеле объемные блоки и их соединительные узлы изготавливаются в монтажном положении относительно друг друга, что упрощает последующее качество их монтажа на стройплощадке. Экономятся производственные площади ввиду отсутствия проходов между формами объемных блоков, которые на стапеле выстроены в единый массив – этаж.

Также это дает возможность организовать поточный ритм изготовления блок-секции многоэтажного здания, когда блоки бетонируются и отправляются на стройку в монтажном порядке. При небольшом количестве оснастки или небольших объемах строительства возможен модульный вариант из нескольких объемных блоков на модуль-квартиру (рис. 1–4; ОБ-1, ОБ-2, ОБ-3) или фрагмент этажа. Это принципиально не усложнит сборку модулей при последовательной заливке в них объемных блоков для всего этажа здания. В данном случае в модулях постоянно будут меняться проемообразователи дверей и окон и расположение поперечных стен.

Длина опалубки этажа на стапеле в сборе в отличие от проектного будет больше на сумму толщин поперечных рам опалубки, которые устанавливаются на границах между шириной двух смежных объемных блоков, в поперечном направлении этажа блок-секции. Как правило, ширина блоков не превышает автомобильный транспортный габарит (не более 2,5 м). Поперечные рамы являются общей опалубкой для двух соседних блоков, что дает существенную экономию металла.

Поперечная рама состоит из горизонтального линейного профиля (опалубка горизонтальных перекрытий, балконов), прямоугольного или квадратного сечения, длиной, равной сумме ширины этажного коридора, глубины комнаты и ширины балкона (лоджии). На месте пересечения или примыкания поперечного горизонтального профиля рамы с продольными и/или поперечными стенами блок-секции (вертикальные конструкции) к горизонтальному поперечному профилю рамы крепятся вертикальные стойки, которые также являются общими для двух соседних блоков и могут перемещаться, относительно друг друга в составе рамы. К вертикальным стойкам для монолитного варианта крепится щитовая опалубка продольных и поперечных стен блок-секции.

Бортами опалубки плит перекрытия в продольном направлении этажа здания могут быть обычные магнитные борта, которые устанавливаются впритык

между поперечными рамами, а их местоположение по длине поперечной рамы определяется наличием или отсутствием в данном объемном блоке балкона, плиты этажного коридора, эркера.

Конструкция стапеля может быть более сложной, когда ставятся задачи по увеличению производительности и уменьшению времени распалубки и сборки формы объемного блока в составе стапеля. Тогда поперечная рама, или стапель может оснащаться механизмами перемещения и фиксации стеновых опалубочных щитов. Внутренние щиты опалубки стен могут группироваться в сердечники с распалубочным уклоном для их демонтажа краном. Потенциал механизации опалубки блоков большой, поэтому в качестве иллюстрации мы предлагаем рассмотреть самый простой вариант опалубки.

Также горизонтальные и вертикальные профили поперечной рамы в контактной зоне с бетоном могут иметь сечения различной формы, соответственно монтажные стыки ОБ друг с другом могут быть от «паз-ребень» до любой конфигурации, в том числе с монолитными шпонками, что увеличивает герметичность стыка и его прочность.

Порядок бетонирования объемных блоков на стапеле в варианте наличия оснастки на весь этаж следующий.

1. Выставляются по фиксаторам на стапеле поперечные рамы (рис. 1, 1), горизонтальные профили которых являются опалубкой плит перекрытия блоков, а вертикальные стойки – торцевой опалубкой стен и направляющими для щитовой опалубки стен (рис. 2, 3, 4). Рамы фиксируются на стапеле в проектное положение штатными быстросъемными фиксаторами, имеющими постоянное положение для всех типовых этажей этого здания, что ускоряет опалубочные работы и гарантирует их точность. На следующем типе здания положение фиксаторов может быть изменено.
2. Между рамами устанавливаются продольные борта плит перекрытия (рис. 1, 2), этажного диска на магнитах. Наносится разделительная смазка.
3. Опалубка плит перекрытия этажа блок-секции, состоящая из плит перекрытия блоков, собрана.

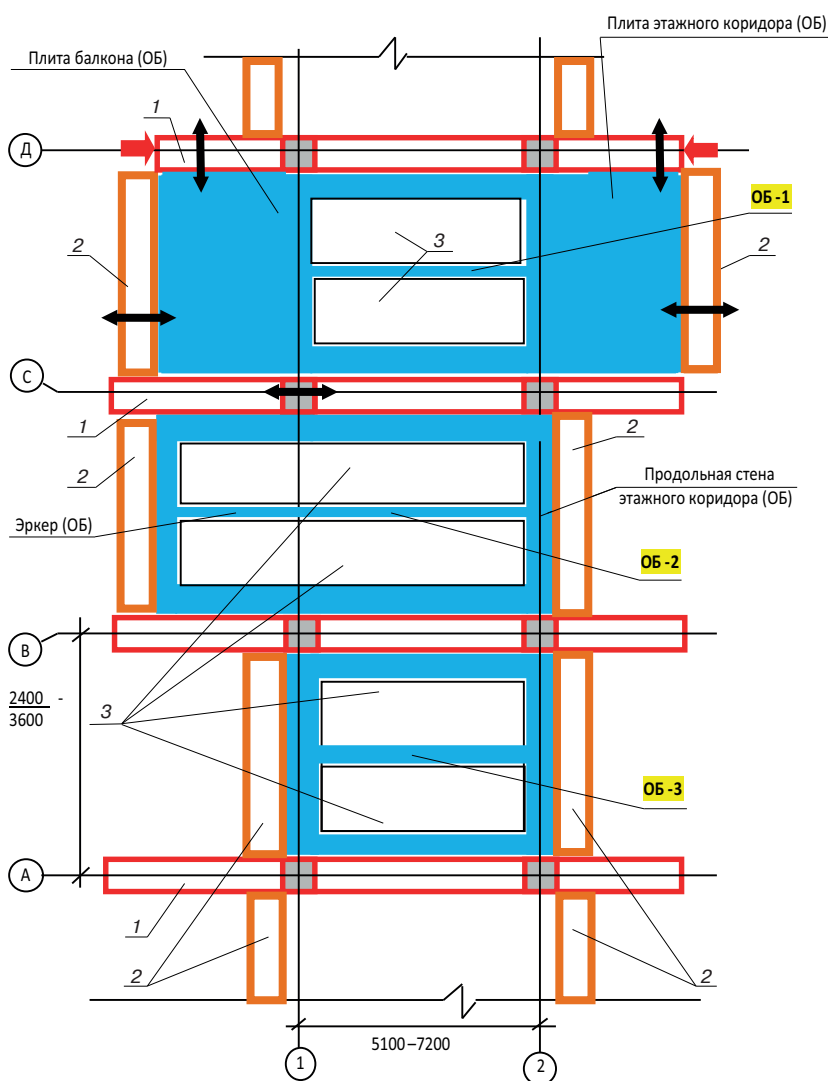


Рис. 1. Заливка плиты перекрытия квартиры на фрагменте стапеля. Модуль однокомнатной квартиры состоит из трех объемных блоков (ОБ-1, ОБ-2, ОБ-3): 1 – поперечная рама стапеля; 2 – продольные борта плит этажного диска перекрытия; 3 – сборные преднапряженные плиты перекрытия

Fig. 1. Pouring an apartment floor slab on a fragment of the slipway. The module of a one-room apartment consists of three volumetric blocks (VB-1, VB-2, VB-3): 1 – transverse frame of the slipway; 2 – longitudinal sides of floor disc slabs; 3 – prefabricated pre-stressed floor slabs

В опалубку перекрытия укладываются преднапряженные пустотные или сплошные плиты перекрытия (рис. 1, 3), производится проектное армирование монолитных участков плит, устанавливаются закладные детали.

4. Производится бетонирование плит перекрытия целиком (вариант без преднапряжения), фрагментами (преднапряженные пустотные или сплошные плиты), бетонирование не производится (вариант, когда перекрытие – единая сборная плита). Производится ТВО плит [19].

5. Устанавливается щитовая опалубка стен и перегородок (рис. 2, 3, 4) с использованием для ее фиксации горизонтальных профилей и вертикальных стоек в составе поперечных рам (1), которые выверены

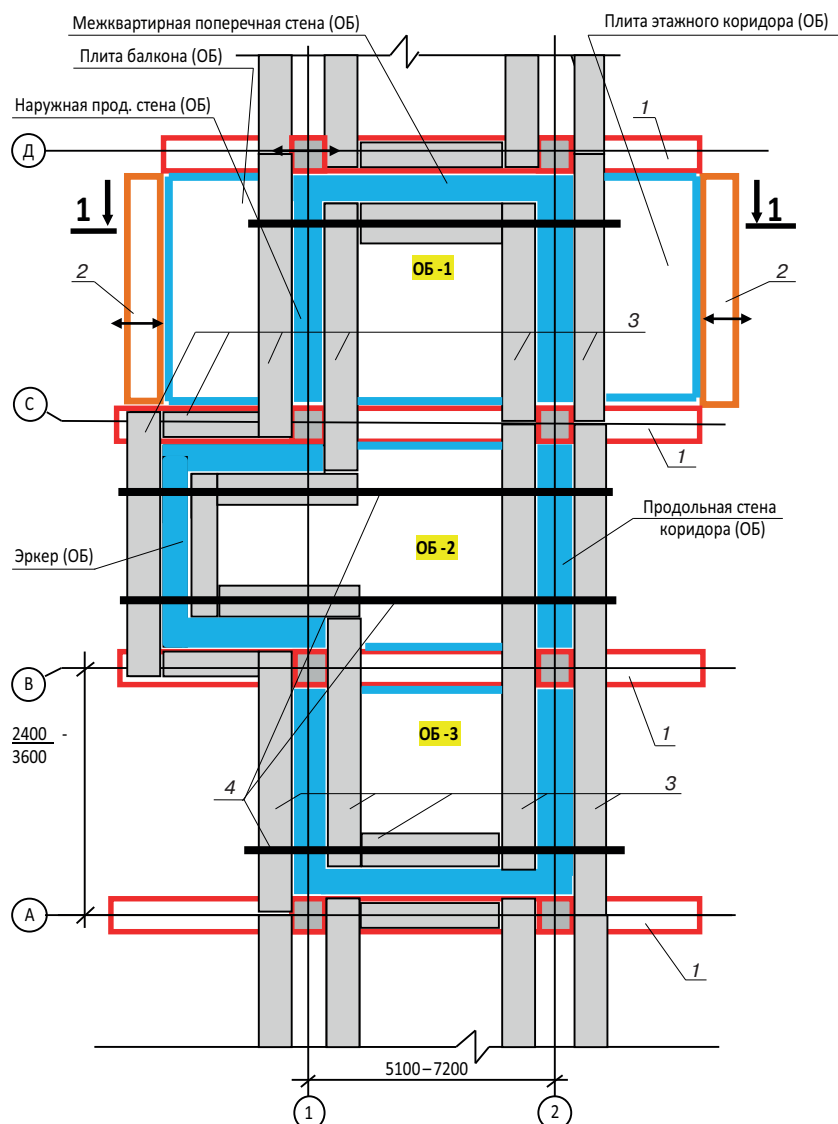


Рис. 2. Заливка стен квартиры на стапеле (модуль однокомнатной квартиры состоит из трех объемных блоков ОБ-1, ОБ-2, ОБ-3): 1 – поперечная рама стапеля; 2 – продольные борты плит этажного диска перекрытия; 3 – щитовая опалубка стен объемного блока; 4 – верхние балки для крепления внесистемных щитов опалубки стен объемного блока

Fig. 2. Pouring the walls of an apartment on a slipway (a one-room apartment module consists of three volumetric blocks VB-1, VB-2, VB-3): 1 – transverse frame of the slipway; 2 – longitudinal sides of floor disc slabs; 3 – panel formwork of the walls of the volumetric block; 4 – upper beams for fastening non-system formwork panels of the walls of a volumetric block

и зафиксированы на стенде, в проектное положение стен и перекрытий. Внесистемные щиты опалубки крепятся с помощью верхних балок (рис. 2, 5). Устанавливаются проеомообразователи. Наносится смазка.

6. Устанавливается арматура, закладные детали.
7. Бетонируются стены. Производится ТВО.
8. Распалубка блоков.

9. Обратная установка поперечных рам на стапель в зафиксированное положение штатных быстросъемных фиксаторов для бетонирования следующего этажа. За счет наличия фиксации и самих поперечных рам процесс сборки опалубки проходит быстро.

Второй вариант оснастки для изготовления ОБ на стапеле – перекрытия и/или стены из сборных панелей. Объемные блоки (ОБ) могут собираться из готовых стеновых панелей и плит перекрытия. В этом случае из тех же соседних поперечных рам на стапеле собирается череда кондукторов, в которые монтируются готовые стеновые панели, где они соединяются в объемный блок закладными деталями или омоноличиванием арматурных выпусков.

Опалубка, дающая возможность выбирать и сочетать сборные и монолитные стены, в любом блоке на стапеле позволяет заводскому технологю выполнить многие предложения архитектора и конструктора.

В варианте установки этажного стапеля-кондуктора на стройке под монтажным краном на стройку доставляются уже не объемные, а плоские сборные элементы, где они устанавливаются в нужную ячейку стапеля, собираются в объемный блок и по мере комплектации объемных блоков монтируются в тело здания. Таким образом, стапель является не только кондуктором, но и приобъектным складом (накопителем) сборных изделий с их адресной установкой сразу в монтажное положение, без промежуточных переключений и поисков перед монтажом. Также отпадают ограничения по габаритам перевозимых изделий; единственным ограничением остается грузоподъемность монтажного крана.

Третий вариант оснастки для изготовления ОБ на стапеле: стены напечатаны на строительном принтере.

В этом варианте принтер печатает стены типовых этажей, стены чердака, технического этажа, все перегородки, сантехкабины, вентблоки, ограждения лоджий и балконов в составе объемных блоков.

Порядок технологических операций:

– на стапеле изготавливается перекрытие согласно пп. 1–4 первого варианта оснастки для изготовления ОБ (рис. 1), внешняя опалубка плит может печататься на принтере;

– после заливки сборно-монолитной плиты перекрытия [19] на принтере печатается опалубка стен, которая заполняется бетоном на стапеле или на стройке.

По этому объемно-блочному варианту уже сейчас можно строить объекты соцкультбыта до трех этажей (школы, детские сады). Есть возможность строить без опалубки, используя стапель как термостенд. Для разделения этажа или модуля на отдельные объемные блоки можно использовать разделительную смазку или пленку, которая устанавливается в зоне контакта бетонных поверхностей соседних блоков друг с другом.

Из трех вариантов конструкций объемных блоков, предложенных в [1], лучшим для принтера, вероятно, будет вариант с отдельной сборной наружной панелью – простое решение по теплому контуру.

Промежуточный вариант – когда стены изготавливаются по первому (монолитные) или второму варианту (сборные), а принтер печатает только перегородки, сантехкабины, ограждения лоджий.

Четвертый вариант оснастки для изготовления ОБ на стапеле – стены бетонируются в несъемной опалубке. В этом варианте снижаются капитальные затраты на оснастку, упрощается производство, уменьшается трудоемкость. Наружные панели кроме утепления могут иметь различную фасадную фактуру (дикий камень, кирпич, штукатурка).

Это вариант этапного освоения стапельной технологии ОБД, когда деньги вкладываются в производство частями, сначала в оснастку для изготовления перекрытий, потом в оснастку стен.

Наличие перечисленных вариантов оснастки для стапеля дает возможность производителям, уже имеющим или производство пустотных плит, или сплошных преднапряженных плит, или наличие термостендов, или кассет, или строительных принтеров, или производство несъемной опалубки – расширить сферу применения имеющегося у них оборудования, т. е. перейти в разряд ОБД.

Перечислим преимущества кроме объемно-планировочных, фасадных, монтажных, которые получает предприятие, внедрившее данную заводскую технологию ОБД по сравнению с предприятиями-аналогами.

1. При сравнении с распространенной сейчас технологией конвейерного заводского производства ОБД, которая реализуется в Краснодаре, минимизировано количество технологического оборудования, нет сложного и металлоемкого, отсутствуют заводские, технологические перемещения крупнотоннажных блоков и оснастки, соответственно уменьшаются капитальные затраты на организацию производства и эксплуатационные на энергопотребление на собственные нужды. При этом в отличие от аналога мы получаем гибкое производство, способное перенастраиваться под любые требуемые проектные объемно-планировочные решения зданий, с отсутствием логистических проблем по перемещению готовой

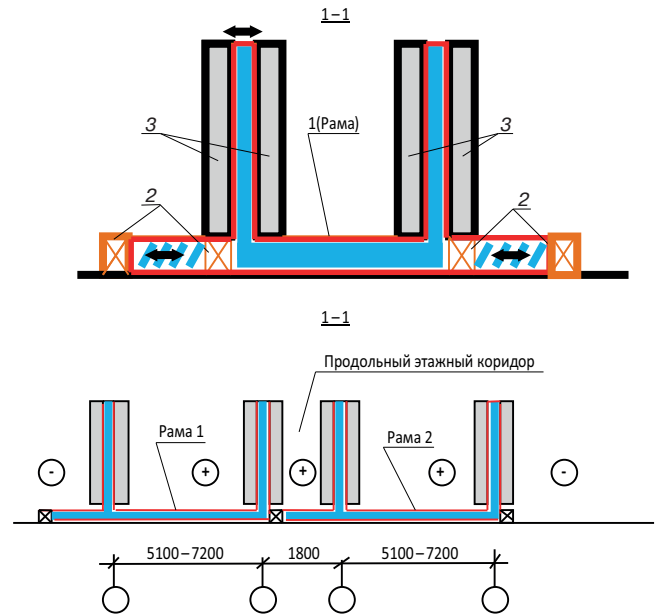


Рис. 3. Стапель шириной на блок-секцию – две квартиры в поперечном сечении: 1 – поперечная рама стапеля; 2 – продольные борта плит этажного диска перекрытия; 3 – щитовая опалубка стен объемного блока

Fig. 3. A slipway with the width of a block section – two apartments in cross section: 1 – transverse frame of the slipway; 2 – longitudinal sides of floor disc slabs; 3 – panel formwork of the walls of the volumetric block

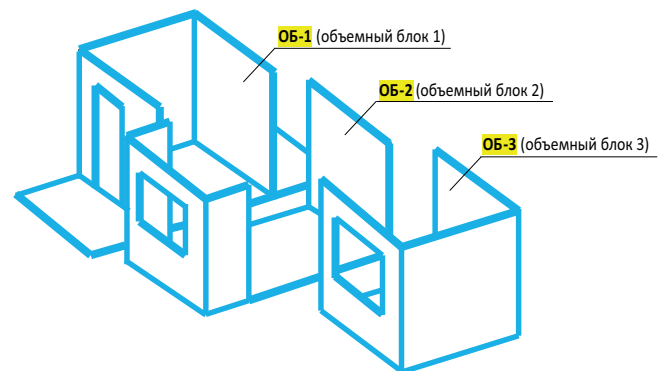


Рис. 4. Модуль однокомнатной квартиры из трех объемных блоков, изготовленных (собранных) на стапеле

Fig. 4. Module of a one-room apartment made of three volumetric blocks manufactured (assembled) on a slipway

продукции, так как размеры блоков находятся в пределах автомобильных транспортных габаритов.

2. При сравнении со стендовой технологией Воронежского завода ОБД «Выбор», который работает по схеме «колпак», когда блоки изготавливаются в индивидуальных формах, у которых большой расход металла на внутренний сердечник и шарнирные борта для обеспечения точности сборки и формовочной жесткости, в предложении со стапелем мы имеем уменьшение металлоемкости и производственных площадей из-за отсутствия технологических проходов между стендовыми формами на один объемный блок, количество которых определяется десятками, также из-за наличия общих бортов у форм.

Соответственно, мы дополнительно имеем гибкое производство с оптимизацией логистики готовой продукции.

Новая конструкция объемных блоков может производиться на предприятиях с вышеуказанными технологиями (Краснодар, Воронеж) после небольшой модернизации форм [1, 2].

3. Завод на одной оснастке стапеля может выбрать любой вариант конструкции ОБ по весу и габариту из трех предлагаемых конструктивных схем блоков [1] исходя из возможностей и ограничений кранового и автомобильного хозяйства на очередном строительном объекте. Например, какие-то удаленные объекты можно строить с комплектацией наружными панелями по месту монтажа от местных производителей [18, 19].

Также могут быть реабилитированы доставки промышленных домов водным транспортом на большие расстояния. Например, предлагаемая авторами схема ОБД в 2–2,5 раза компактнее стандартных схем «стакан» и «колпак», так как здесь объемные блоки могут вкладываться друг в друга

Список литературы

1. Коршунов А.Н., Филатов Е.Ф. Объемный железобетонный блок для домостроения с гибкой квартирографией. Гибкая форм-оснастка и стенд для изготовления объемного блока // *Жилищное строительство*. 2022. № 10. С. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-10-11-18>
2. Патент RU218225U1. *Объемный железобетонный блок для домостроения с гибкой квартирографией* // Коршунов А.Н. Заявл. 27.07.22. Опубл. 16.05.2023. Бюл. 14.
3. Амбарцумян С.А., Манукян А.В., Мкртычев О.В., Андреев М.И. Верификация расчетных методик на основе экспериментальных исследований фрагментов железобетонных блоков // *Промышленное и гражданское строительство*. 2023. № 6. С. 73–77. DOI: [10.33622/0869-7019.2023.06.73-77](https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.06.73-77)
4. Патент РФ 2715781. *Способ производства объемного модуля* / Мещеряков А.С., Амбарцумян С.А. Заявл. 19.08.2019. Опубл. 03.03.2020. Бюл. № 7.
5. Патент РФ 2712845. *Способ изготовления крупногабаритного объемного модуля* / Мещеряков А.С., Амбарцумян С.А. Заявл. 30.11.2018. Опубл. 30.01.2020. Бюл. № 4.
6. Ализаде С.А. Объемно-блочное домостроение: опыт и перспективы развития // *Архитектура и дизайн*. 2017. № 1. С. 38–52.
7. Жигулина А.Ю., Пономаренко А.М. Доступное жилье из объемных блоков. История и современность // *Традиции и инновации в строительстве и*

в различных комбинациях. Водные перевозки широко практиковались в советское время (застройка г. Набережные Челны московскими сериями КПД в 1970-е гг.), так как любой город Волжского бассейна можно назвать «портом пяти морей», в том числе южного Азовского.

References

1. Korshunov A.N., Filatov E.F. Volumetric reinforced concrete block for housing construction with flexible apartment layouts. Flexible form-tooling and a stand for the manufacture of a volumetric block. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2022. No. 10, pp. 11–18. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2022-10-11-18>
2. Patent RU218225U1. *Ob'emnyi zhelezobetonnyi blok dlya domostroeniya s gibkoi kvartirografiei* [Volumetric reinforced concrete block for housing construction with flexible apartment construction]. Korshunov A.N. Declared 27.07.22. Publ. 16.05.2023. Bull. No. 14. (In Russian).
3. Ambartsumyan S.A., Manukyan A.V., Mkrtychev O.V., Andreev M.I. Verification of Calculation Methods Based on Experimental Studies of Fragments of Reinforced Concrete Blocks. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2023. No. 6, pp. 73–77. (In Russian). DOI: [10.33622/0869-7019.2023.06.73-77](https://doi.org/10.33622/0869-7019.2023.06.73-77)
4. Patent RF 2715781. *Sposob proizvodstva ob'emnogo modulya* [The method of production of the volumetric module]. Meshcheryakov A.S., Ambartsumyan S.A. Declared 19.08.2019. Publ. 03.20. Bull. No. 7. (In Russian).
5. Patent RF 2712845. *Sposob izgotovleniya krupnoga-baritnogo ob'emnogo modulya* [Method of manufacturing a large-sized volumetric module]. Meshcheryakov A.S., Ambartsumyan S.A. Declared 30.5. RU 2712845 “Method of manufacturing a large-sized volumetric module”.
6. Alizade S.A. Volumetric-block house-building: experience and prospects for development. *Arkhitektura i dizayn*. 2017. No. 1, pp. 38–52. (In Russian).
7. Zhigulina A.Yu., Ponomarenko A.M. Affordable housing from volume blocks. History and modernity. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture*. *Arkhitektura i dizayn: Dig. of articles; edited by M.I. Balzannikova, K.S. Galitskova, E.A. Akhmedova*. Samara, SGASU Publ., 2015, pp. 76–81. (In Russian).
8. Sinotov V.I., Kolokoltseva N.N. Design and construction of efficient and affordable housing from volumetric blocks. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 3, pp. 20–22. (In Russian).
9. Bazhenov Yu.M., Chernyshov E.M., Korotkikh D.N. Construction of structures of modern concrete: de-

- архитектуре. *Архитектура и дизайн: сб. статей; под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова, Е.А. Ахмедовой.* Самара: СГАСУ, 2015. С. 76–81.
8. Синотов В.И., Колокольцева Н.Н. Проектирование и строительство эффективного и доступного жилья из объемных блоков // *Жилищное строительство.* 2011. № 3. С. 20–22.
 9. Баженов Ю.М., Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы // *Строительные материалы.* 2014. № 3. С. 6–14.
 10. Касторных Л.И., Каклюгин А.В., Гикало М.А., Трищенко И.В. Особенности состава бетонных смесей для бетононасосной технологии // *Строительные материалы.* 2020. № 3. С. 4–11. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>
 11. Тешев И.Д., Коростелева Г.К., Попова М.А. Объемно-блочное домостроение // *Жилищное строительство.* 2016. № 3. С. 26–33.
 12. Тешев И.Д., Коростелева Г.К., Попова М.А., Щедрин Ю.Н. Модернизация заводов объемно-блочного домостроения // *Строительные материалы.* 2016. № 3. С. 10–13.
 13. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem // *Journal of applied engineering science.* 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523. DOI: 10.5937/jaes15-14719
 14. Николаев С.В. Решение жилищной проблемы в РФ на базе реконструкции и технического перевооружения индустриальной базы домостроения // *Жилищное строительство.* 2010. № 2. С. 2–5.
 15. Николаев С.В. Возрождение домостроительных комбинатов на отечественном оборудовании // *Жилищное строительство.* 2015. С. 4–9.
 16. Юмашева Е.И., Сапачева Л.В. Домостроительная индустрия и социальный заказ времени // *Строительные материалы.* 2014. № 10. С. 3–11.
 17. Хубаев А.О., Саакян С.С. Практика применения объемно-блочного домостроения в России // *Вестник Пермского НИПУ.* 2020. № 3 (39). С. 112–118.
 18. Красникова Н.М., Антышев Д.Г., Фатхутдинов А.Р., Калмыков Д.А., Некрасов А.Б. Новый подход к складированию готовой продукции на заводах ЖБИ // *Строительные материалы.* 2023. № 4. С. 7–9. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-7-9>
 19. Касторных Л.И., Каклюгин А.В., Гикало М.А. Влияние суперпластификаторов на основе поликарбоксилатов на эффективность термообработки монолитного бетона // *Строительные материалы.* 2023. № 4. С. 35–41. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-35-41>
 - fining principles and technological platforms. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 3, pp. 6–14. (In Russian).
 10. Kastornykh L.I., Kaklyugin A.V., Gikalo M.A., Trishchenko I.V. Features of the composition of concrete mixes for concrete pumping technology. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2020. No. 3, pp. 4–11. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-779-3-4-11>
 11. Teshev I.D., Korosteleva G.K., Popova M.A. Space block house prefabrication. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2016. No. 3, pp. 26–33. (In Russian).
 12. Teshev I.D., Korosteleva G.K., Popova M.A., Shchedrin Yu.N. Modernization of housing module prefabrication plants. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2016. No. 3, pp. 10–13. (In Russian).
 13. Sokolov N., Ezhov S., Ezhova S. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem. *Journal of applied engineering science.* 2017. Vol. 15. No. 4, pp. 518–523. DOI: 10.5937/jaes15-14719
 14. Nikolaev S.V. The solution of the housing problem in the Russian Federation on the basis of reconstruction and technical re-equipment of the industrial base of housing construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2010. No. 2, pp. 2–5. (In Russian).
 15. Nikolaev S.V. Revival of House Building Factories on the Basis of Domestic Equipment. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 2, pp. 4–9. (In Russian).
 16. Yumasheva E.I., Sapacheva L.V. The house-building industry and the social order of time. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2014. No. 10, pp. 3–11. (In Russian).
 17. Khubaev A.O., Sahakyan S.S. The practice of using volumetric-block housing construction in Russia. *Vestnik Permskogo NIPU.* 2020. No. 3 (39), pp. 112–118. (In Russian).
 18. Krasnikova N.M., Antyshev D.G., Fathutdinov A.R., Kalmykov D.A., Nekrasov A.B. A new approach to warehousing finished products at precast concrete plants. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2023. No. 4, pp. 7–9. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-7-9>
 19. Kastornykh L.I., Kaklyugin A.V., Gikalo M.A. The effect of polycarboxylate-based superplasticizers on the efficiency of heat treatment of monolithic concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2023. No. 4, pp. 35–41. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2023-812-4-35-41>

УДК 72.025.5

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-35-41>

А.Д. СЕРОВ, инженер, старший преподаватель (gigantmisly@mail.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Расширение границ города за счет освоения подземных пространств при реконструкции исторической застройки

Для интеграции исторических зданий в современную городскую среду необходимо их функциональное расширение. Приведены положительные и отрицательные аспекты размещения сооружений под землей. Предлагаются пути решения некоторых проблем подземных помещений, в частности связанных со сложностью обеспечения их естественным освещением. Вводится типология способов расширения подземного пространства при реконструкции исторической застройки. На основе реализованных проектов анализируются наиболее щадящие по отношению к историческим конструкциям технологии расширения подземного пространства под существующими объектами.

Ключевые слова: подземное пространство, границы города, реконструкция исторической застройки, реставрация объектов архитектурного наследия, «стена в грунте», естественное освещение, полые трубчатые световоды.

Статья написана в рамках проекта № 23 «Границы города в разнообразии типологии, архитектурных образах и смыслах. Исторические преобразования и новые предложения» в рамках фундаментальных и прикладных научных исследований (НИР/НИОКР) научными коллективами НИУ МГСУ (приказ от 23.03.2023 г. № 258/130).

Для цитирования: Серов А.Д. Расширение границ города за счет освоения подземных пространств при реконструкции исторической застройки // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 35–41.
DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-35-41>

A.D. SEROV, Engineer, Senior Lecturer (gigantmisly@mail.ru)

National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Expanding the Borders of the City Due to the Development of Underground Spaces During the Reconstruction of Historical Buildings

To integrate historical buildings into a modern urban environment, their functional expansion is necessary. The positive and negative aspects of placing structures underground are given. Ways to solve some problems of underground premises are proposed, in particular those related to the difficulty of providing them with natural light. A typology of ways to expand the underground space during the reconstruction of historical buildings is introduced. On the basis of implemented projects the most sparing technologies for expanding the underground space under existing facilities in relation to historical structures are analyzed.

Keywords: underground space, city boundaries, reconstruction of historical buildings, restoration of architectural heritage objects, wall in the ground, natural lighting, hollow mirrored tubular light guides.

The article was written within the framework of project No. 23 “City boundaries in a variety of typologies, architectural images and meanings. Historical transformations and new proposals” within the framework of fundamental and applied scientific research (R&D) by scientific teams of the National Research University MGSU (Order No. 258/130 dated March 23, 2023).

For citation: Serov A.D. Expanding the borders of the city due to the development of underground spaces during the reconstruction of historical buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 35–41. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-35-41>

Расширяются границы современных городов, вводятся новые районы, растет этажность и уплотняется существующая застройка. Развитие центров крупных городов в ближайшей перспективе также не сможет обойтись без массовой реконструкции исторических зданий и приспособления памятников под новые функции, так как уже сейчас исторические районы страдают от устаревшей инфраструктуры и

нехватки общественных пространств. Например, в историческом центре Санкт-Петербурга проживает около 1 млн человек. При этом он полностью относится к объектам мирового культурного наследия [1, 2]. Решение проблемы развития исторических центров городов за счет надстройки существующих зданий или уплотнения кварталов является недопустимым. Основным при реконструкции исторической застройки

ки становится освоение подземных пространств (далее – ПП) рядом или даже под уже существующими объектами. Цель данного исследования – обоснование необходимости освоения подземного пространства центра современного города в качестве наиболее щадящего подхода к реконструкции исторической застройки.

К положительным моментам освоения ПП при реконструкции исторической застройки относятся: невидимость подземной части здания позволяет расширить объем, не искажая восприятия исторической части города [1, 3]; полное сохранение надземной части существующего здания; максимальное высвобождение площадей в надземной части для размещения помещений, требующих прямого облучения солнечным светом, за счет переноса всех технических помещений преимущественно под землю; возможность обеспечения прямой связи объекта с подземной транспортной инфраструктурой города; повышение рентабельности объектов торговли за счет увеличения концентрации населения и потока посетителей [4]; увеличение общей энергоэффективности здания [4]; дополнительная изоляция от надземных источников транспортного шума [4, 5]; повышенная долговечность подземных сооружений; возможность выявления и раскрытия новых объектов архитектурного наследия, оказавшихся под многометровым культурным слоем.

Из аспектов, отрицательно сказывающихся на активном освоении ПП городов, в первую очередь можно отметить следующие: высокая стоимость работ; трудности с обеспечением естественным освещени-

ем помещений для длительного пребывания людей; сложность обеспечения эвакуации людей из подземной части здания; необходимость преодоления ощущения «подземности» и замкнутости пространства [6]; практически неизбежные повреждения исторических конструкций подземной части здания; высокие требования к квалификации и опыту строителей и проектировщиков; значительное усложнение работ при наличии слабых грунтов и высокого уровня грунтовых вод; влияние подземного сооружения на гидрогеологию местности [7]; необходимость наличия единого плана развития и расширения границ города с заранее зарезервированными участками под освоение ПП [1].

Основные технологические приемы возведения подземной части здания: для укрепления котлована по периметру погружается металлический шпунт, который по мере откапывания грунта раскрепляется временными распорками (рис. 1) [2]. Для уменьшения деформаций нижней части ограждения котлована при выемке земли из котлована, а также для создания искусственного водоупора грунт у основания шпунта может быть предварительно закреплен с помощью струйной цементации или технологии «jet grouting» [8–10]. Другой способ устройства подземных сооружений в условиях плотной городской застройки получил название «стена в грунте». Технология заключается в устройстве траншеи по периметру будущего сооружения (рис. 2). По ходу удаления грунта из выемки она заполняется раствором бентонитовых глин. Далее в траншею опускается арматурный каркас, а бентонит замещается бетоном. По мере откапывания

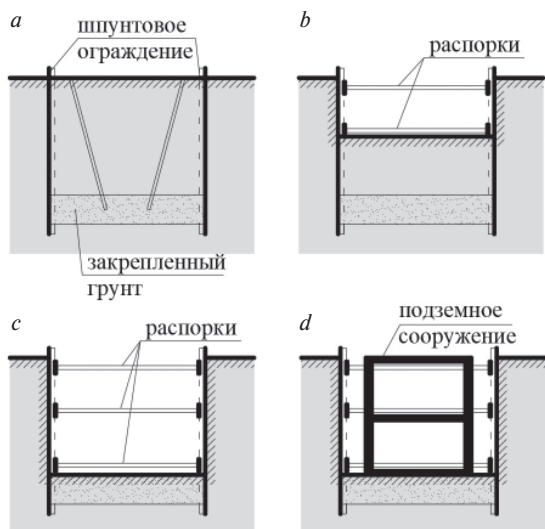


Рис. 1. Возведение подземного сооружения: а – устройство шпунтового ограждения; б, с – устройство котлована, откапывание грунта и установка распорок; д – устройство подземного сооружения в котловане

Fig. 1. Construction of an underground structure: а – installation of a sheet piling; б, с – construction of a foundation pit, excavation of soil and installation of spacers; д – installation of an underground structure in a foundation pit

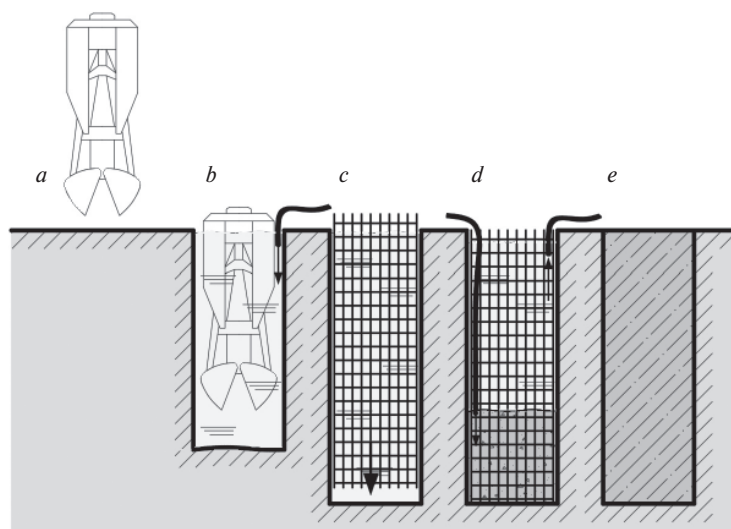


Рис. 2. Технология «стена в грунте»: а – устройство траншеи; б – заполнение выемки бентонитом; с – опускание арматурного каркаса; д – замещение бентонита бетонным раствором; е – создание железобетонной несущей конструкции

Fig. 2. Technology «wall-in-soil»: а – making a trench; б – filling the excavation with bentonite; с – lowering the reinforcing cage; д – replacing bentonite with concrete mortar; е – creating a reinforced concrete supporting structure

устанавливаются временные распорки, а затем устраиваются перекрытия [8]. Но современные технологии позволяют обойтись без временных распорок и дают возможность устраивать сразу жесткие монолитные диски перекрытий, которые раскрепляют внешние стены будущего подземного сооружения. В перекрытиях оставляют технологические отверстия для выемки из-под них грунта, которая осуществляется в стесненных условиях с помощью малой механизации. Такой способ возведения зданий позволяет одновременно возводить и надземную и подземную части объекта, т. е. «вверх-вниз», или «top-down» (рис. 3) [2, 10]. При этом ускоряется процесс строительства и уменьшается общий уровень шума и пыли от земляных работ для жильцов окружающих домов, так как эти работы ведутся под плитой перекрытия.

Известны основные схемы расположения нового подземного объема относительно существующего исторического здания: устройство отдельного подземного сооружения в непосредственной близости от существующего объекта (рис. 4, а); устройство подземного сооружения, имеющего связи с подвальным или цокольным этажом существующего объекта (рис. 4, б); увеличение высоты подземного или цокольного этажа путем его заглубления (рис. 4, в); создание подземного сооружения под историческим зданием (рис. 4, д).

Далее рассмотрим возможности реализации каждой из представленных схем на реальных объектах. Вариант с отдельным подземным сооружением подходит для устройства подземных паркингов во внутреннем дворе многоквартирного пространства [11]. Примером такого объекта может послужить устройство подземной парковки во дворе жилого дома на набережной Мойки, 74 в Санкт-Петербурге, являющегося памятником архитектуры. Но более компактным и, как следствие, более перспективным решением для устройства та-

ких сооружений в стесненных условиях являются паркинги-сейфы [11]. Они представляют собой модульную конструкцию, напоминающую стеллаж, где машины поднимаются и опускаются на специальной платформе и не требуют съездов под землю и проездов между парковочными местами.

Примером устройства подземного сооружения, имеющего связи с подвальным этажом уже существующего объекта, может служить реализованный проект музейного комплекса Лувра в Париже. Основной внутренний двор, который образовал площадь Наполеона, долгое время использовался только в качестве парковки. Проект объединения всех корпусов ПП под площадью позволил грамотно распределить потоки посетителей и расположить все необходимые службы. Под землей разместился вестибюль, кафе, библиотека, кинотеатр, торговая галерея и стоянка для автомобилей и экскурсионных автобусов (рис. 5). Все это привело к многократному увеличению пропускной способности комплекса музея. Помимо этого, археологические исследования привели к раскрытию фундаментов средневекового замка во внутреннем дворе основного корпуса Лувра [1, 12].

Далее рассмотрим пример заглубления подвальных и цокольных этажей, реализованных в памятнике архитектуры на примере Александровского дворца в Санкт-Петербурге. В здании дворца располагается музей, посвященный Николаю II и его семье. Но реставрация объекта не ограничилась только усилением отдельных конструкций и восстановлением утраченных элементов интерьеров и фасадов. Важнейшей задачей проекта приспособления памятника стала необходимость увеличения числа посетителей до 700–800 человек одновременно и установка самого современного инженерного оборудования. Для этих целей на 0,5 м был заглублен подвальный этаж, так как первоначальная высота потолков не позво-

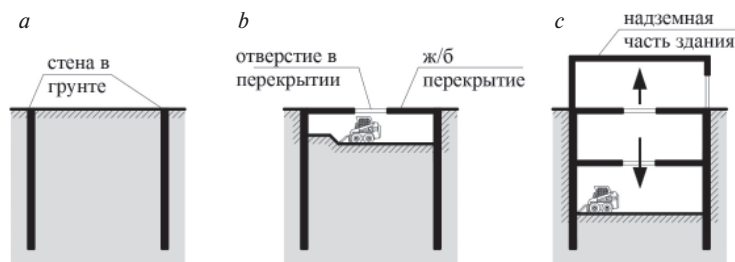


Рис. 3. Возведение здания по технологии «top-down»: а – устройство «стены в грунте»; б – устройство жесткого диска перекрытия и удаление грунта под ним; в – одновременное заглубление подземной и возведение надземной частей здания

Fig. 3. Construction of building using the «top-down» technology: а – “wall in the ground” device; б – installation of a hard disk floor and removal of soil under it; в – simultaneous deepening of the underground and erection of the above-ground parts of the building

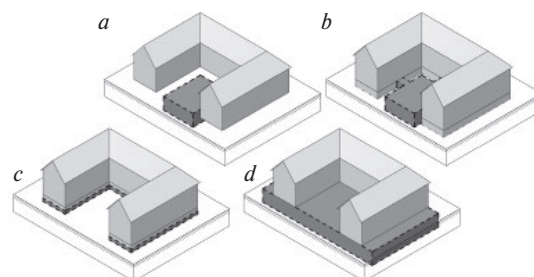


Рис. 4. Схемы расположения нового подземного объема относительно существующего исторического здания: а – отдельное подземное сооружение; б – сооружение, соединенное с подземной частью существующего здания; в – заглубление подземной части здания; д – подземное сооружение под существующим зданием

Fig. 4. Layouts of the new underground volume relative to the existing historical building: а – a separate underground structure; б – a structure connected to the underground part of the existing building; в – deepening the underground part of the building; д – an underground structure under the existing building

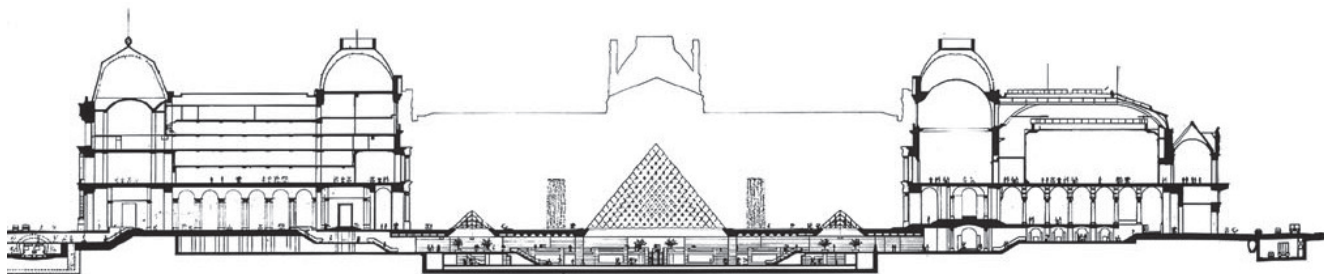


Рис. 5. Музейный комплекс Лувр в разрезе

Fig. 5. Sectional view of the Louvre museum complex (<https://mimarobot.com/tasarim/proje-dosyalar%C3%84%C2%B1/photos/2245/louvre-piramidi-im-pei>)

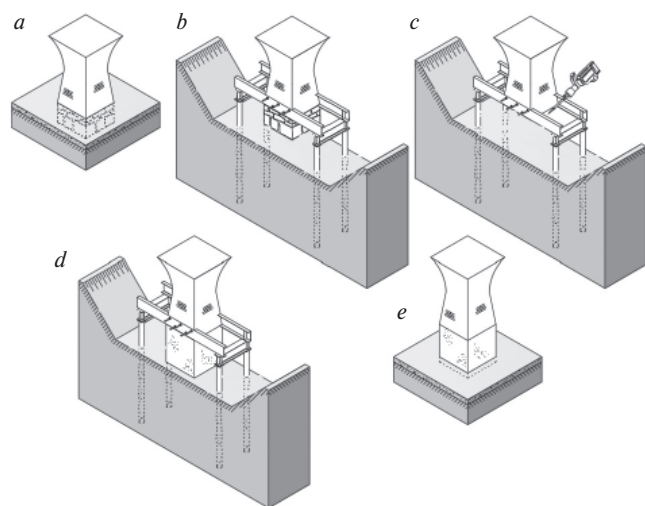


Рис. 6. Процесс заглубления подвала: а – исходный вид кирпичного столба в подвале; б – вывешивание столба на буроинъекционных сваях; с – разборка старого бутового фундамента; д – устройство нового ж/б фундамента под столб; е – демонтаж временных конструкций

Fig. 6. The process of deepening the basement: a – the original appearance of the brick pillar in the basement; b – hanging the pillar on bored piles; c – dismantling the old rubble foundation; d – installing a new reinforced concrete foundation for the pillar; e – dismantling temporary structures

ляла полноценно эксплуатировать его. Для этого на кирпичных столбах устраивались металлические обвязочные пояса, которые опирались на поперечные балки. Под них подводились буроинъекционные сваи, из подвала откапывался грунт до требуемой отметки и демонтировалась бутовая кладка старого фундамента. В данном случае сохранить исторические фундаменты не удалось из-за слабого известкового раствора, скреплявшего кладку. Вместо бутовой кладки под столбы подводились новые железобетонные фундаменты. Сваи, балки и обвязочный пояс удаляли (рис. 6) и приступали к отделке интерьеров заглубленной подземной части. При этом работы проводились без закрытия музея для посетителей.

В ПП были размещены вестибюль, кассы музея, гардероб, санузлы для посетителей, дополнительное выставочное пространство, соединенное с подземным переходом, кафе, магазины, помещения для сотрудников музея и вся система инженерных коммуникаций.

Наиболее интересным примером устройства подземного сооружения под существующим памятником архитектуры является Каменноостровский театр в Санкт-Петербурге. Для экономии средств и времени строительства здание было выполнено полностью из дерева. Парадные помещения, зрительный зал и фойе богато декорированы, а вот гримерки для артистов запроектированы настолько маленькими, что актерам приходилось приезжать на спектакль уже загримированными и одетыми в сценические наряды. Поскольку театр был летним, то в нем не были предусмотрены буфет и гардероб. Эксплуатировать здание планировалось не более десяти сезонов, но проект оказался настолько удачным, что его решили не разбирать, и это позволило первоначально временной постройке сохраниться до настоящего времени [1, 3, 13, 14]. Театр многократно ремонтировался и менял свою функцию. В 2005 г. здание было передано в качестве второй сцены БДТ им. Товстоногова и требовалось перейти от концепции маленького летнего театра к полноценному всесезонному театру, удобному не только для зрителей, но и для артистов и обслуживающего персонала. Но расширение театра в надземной его части не представлялось возможным, поэтому для размещения кафе, гардероба, гримерок, туалетов, технических помещений, складов декораций, механизмов трансформации зала и оркестровой ямы под зданием был устроен подземный этаж. Подземная часть здания выходит за первоначальный периметр объекта, тем самым увеличивая полезную площадь театра более чем в 2,5 раза (рис. 8) [1, 3, 13, 14].

Технологический процесс устройства подземной части состоял из следующих этапов. Сначала несущие стены здания театра вывешивались на буроинъекционных сваях. Для этого под сваи подводились поперечные металлические балки, на которые опирались монолитные обвязочные пояса кирпичного цоколя. Одновременно с этим процессом в грунт погружался металлический шпунт. Далее с помощью домкратов нагрузка от стен перераспределялась со старых фундаментов на сваи. Нижняя часть старых бутовых фундаментов разбирались и вместо них устраивалась

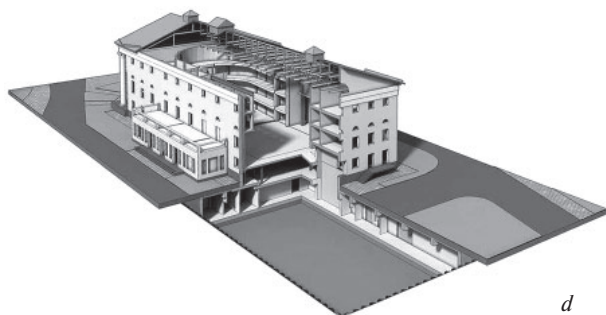


Рис. 7. Устройство ПП под Каменноостровским театром [13]

Fig. 7. Arrangement of the underground space under the Kamennooostrovsky Theatre

монолитная железобетонная плита с подфундаментной лентой. Затем начинался процесс откапывания котлована с устройством распределительных распорок. Также раскапывался грунт под зданием и между сваями. Далее бетонировались наружные стены и плитный фундамент подземного сооружения. Под кирпичный цоколь устраивались колонны и стены, после чего верхняя часть свай демонтировалась (рис. 8). Выполнялась обратная засыпка грунта и удалялись временные конструкции [3, 13, 14].

Параллельно с процессом создания подземного уровня шла реставрация самого театра. Здание было утеплено для возможности его круглогодичного использования, а также устроен дополнительный металлический каркас сценической коробки. Таким образом, технология «top-down» была применена не для нового строительства, а в проекте реставрации и приспособления памятника архитектуры [1, 3, 13–15].

Последней важной проблемой освоения ПП остается естественное освещение помещений. Для освещения объекта, находящегося под открытой территорией, возможно использование световых фонарей. Например, подземный уровень музейного комплекса Лувра освещается с помощью стеклянных пирамид [12]. Проблемы световых фонарей заключаются в том, что они занимают значительную площадь на поверхности, должны размещаться непосредственно над помещениями и обладают низкими теплотехническими характеристиками. Эффективной альтернативой традиционным системам верхнего естественного освещения для ПП могут стать системы полых трубчатых световодов. Труба световода позволяет проводить естественный свет в помещения на большие расстояния, огибая препятствия в виде инженерных коммуникаций и стропильных конструкций: местоположение светопринимающего купола и диф-

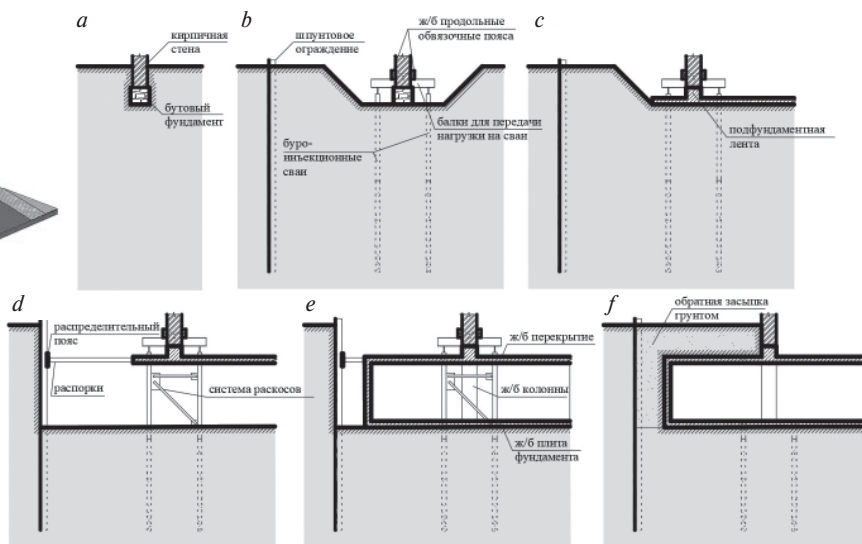


Рис. 8. Процесс устройства подземного уровня под Каменноостровским театром: а – исторические стены и фундамент; б – вывешивание стен на буронабивных сваях и погружение шпунта в грунт; в – создание монолитной плиты и подфундаментной ленты; д – откапывание грунта, раскрепление ограждения котлована распорками; е – устройство стен, колонн и плитного фундамента подземного сооружения; ф – обратная засыпка грунта, демонтаж временных элементов конструкции

Fig. 8. The process of arranging the underground level under the Kamennooostrovsky theater: a – historical walls and foundations; b – hanging walls on bored piles and plunging a sheet pile into the ground; c – creating a monolithic slab and a sub-foundation tape; d – digging the soil, securing the excavation fence with spacers; e – device walls, columns and slab foundation of an underground structure; f – backfilling of soil, dismantling of temporary structural elements

фузора могут значительно отличаться. Это позволяет более гибко подходить к объемно-планировочным решениям подземной части здания. Современные отражающие пленки позволяют многократно отражать свет без значительных потерь, что делает возможным обеспечение естественным светом даже двух и трехуровневых подземных объектов: световоды позволяют значительно расширить перечень помещений, которые можно разместить в подземных этажах. Световод образует герметичный объем, заполненный воздухом, что обеспечивает его высокие показатели сопротивления теплопередаче. Таким образом, технология устройства световодов полностью адаптирована для холодных климатических условий России [16, 17].

Выводы

Важнейшим направлением при расширении границ современного города является активное освоение подземного пространства, и в первую очередь под историческими кварталами. Несмотря на более высокую стоимость, подземные объекты обладают более высокими эксплуатационными качествами по сравнению с надземными. Такие объекты более энергоэффективны, меньше подвержены воздействию окружающей среды и более долговечны.

Современные технологии позволяют многократно расширять объем и функциональность уже суще-

ствующих объектов. Данный подход можно отнести к приоритетным, когда речь заходит об объекте архитектурного наследия, так как он не привносит новых элементов в визуальный образ памятника. При этом расширение функции и интеграция памятника в жизнь современного города являются гарантией сохранения объекта для будущих поколений. Реализованные проекты реставрации и приспособления только подтверждают данный тезис. Устранение недостатков, характерных для помещений, расположенных под землей, является вполне решаемой задачей за счет массового внедрения новых строительных технологий, грамотного проектирования и долгосрочного городского планирования. В дальней-

Список литературы

1. Шашкин А.Г., Зенцов В.Н., Улицкий В.М. Развитие подземного пространства мегаполиса // *Жилищное строительство*. 2018. № 9. С. 30–36.
 2. Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Подземное строительство в Санкт-Петербурге: краткий обзор технических решений // *Жилищное строительство*. 2015. № 9. С. 30–35.
 3. Богов С.Г. Применение технологии струйной цементации для освоения подземного пространства Санкт-Петербурга // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 12. С. 31–43.
 4. Беляев В.Л., Беляев В.Б. Освоение подземного пространства городов в аспекте их устойчивого развития // *Вестник МГСУ*. 2014. № 2. С. 7–12.
 5. Serov A.D., Dmitriev I.K. Influence of transport noise on living environment in New Moscow. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. No. 687, pp. 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012109
 6. Денисова Ю.В., Коренькова Г.В. К вопросу необходимости освоения подземного пространства городов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. № 11. С. 99–103.
 7. Шулятьев О.А., Мозгачева О.А., Поспехов В.С. Освоение подземного пространства городов. М.: АСВ, 2017. 510 с.
 8. Шашкин А.Г., Богов С.Г. Использование технологии jet grouting при устройстве подземного объема в условиях слабых глинистых грунтов // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. 2005. № 5. С. 7–11.
 9. Мангушев Р.А., Осокин А.И., Сотников С.И. Геотехника Санкт-Петербурга. Опыт строительства на слабых грунтах: Монография. М.: АСВ, 2018. 386 с.
 10. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Устройство подземного объема второй сцены Мариинского театра в
- ших исследованиях планируется произвести расчеты систем полых трубчатых световодов для помещений, находящихся под землей, и доказать их высокую эффективность. На основе полученных результатов станет возможным составление таблицы расширения функциональности помещений подземной части при обеспечении их естественным светом.

References

1. Shashkin A.G., Zentsov V.N., Ulitskii V.M. Development of the underground space of the metropolis. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2018. No. 9, pp. 30–36. (In Russian).
2. Shashkin A.G., Shashkin K.G. Underground construction in St. Petersburg: a brief overview of technical solutions. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 9, pp 30–35. (In Russian).
3. Bogov S.G. Application of jet grouting technology for the development of the underground space of St. Petersburg. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 12, pp 31–43. (In Russian).
4. Belyaev V.L., Belyaev V.B. Development of the underground space of cities in the aspect of their sustainable development. *Vestnik MUCI*. 2014. No. 2, pp. 7–12. (In Russian).
5. Serov A.D., Dmitriev I.K. Influence of transport noise on living environment in New Moscow. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. No. 687, pp. 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/867/1/012109
6. Denisova Yu.V., Koren'kova G.V. On the issue of the need to develop the underground space of cities. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2016. No. 11, pp 99–103. (In Russian).
7. Shulyat'ev O.A., Mozgacheva O.A., Pospikhov V.S. Osvoenie podzemnogo prostranstva gorodov [Development of the underground space of cities]. Moscow: ASV. 2017. 510 p.
8. Shashkin A.G., Bogov S.G. The use of jet grouting technology in the construction of an underground volume in conditions of weak clay soils. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov*. 2005. No. 5, pp. 7–11. (In Russian).
9. Mangushev R.A., Osokin A.I., Sotnikov S.I. Geotekhnika Sankt-Peterburga. Opyt stroitel'stva na slabых gruntakh [Geotechnics of St. Petersburg. Experience in construction on weak soils]. Moscow: ASV. 2018. 386 p.
10. Ulitskii V.M., Shashkin A.G. Arrangement of the underground volume of the second stage of the Mariinsky Theater in conditions of weak clay soils. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2011. No. 10, pp. 24–31. (In Russian).

- условиях слабых глинистых грунтов // *Жилищное строительство*. 2011. № 10. С. 24–31.
11. Улицкий В.М., Богов С.Г., Шахназаров А.В. Строительство паркингов-сейфов в застроенной центральной части Санкт-Петербурга // *Гидротехника*. 2012. № 3. С. 105–109.
 12. Сосновских Л.В., Оленёва А.А. Заглубленные общественные пространства атриумного типа // *Современные технологии в строительстве. Теория и практика*. 2017. Т. 2. С. 13–20.
 13. Деметьева В.А., Рахманов В.С., Шашкин А.Г. Возрождение Каменноостровского театра: синтез научных достижений реставрации и геотехники. СПб.: Стройиздат Северо-Запад; ПИ «Геореконструкция», 2012. 166 с.
 14. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Сохранение памятников архитектуры и обеспечение их механической безопасности // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 7. С. 31–39.
 15. Соколов Н.С. Технология увеличения несущей способности основания // *Строительные материалы*. 2019. № 6. С. 67–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
 16. Соловьёв А.К. Естественное освещение подземных пространств // *Светотехника*. 2018. № 2. С. 70–74.
 17. Малышева А.Н., Кононова М.С., Воробьева Ю.А. Анализ применимости различных систем естественного освещения для зданий гражданского назначения // *Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура*. 2018. № 2 (5). С. 9–17.
 11. Ulitskii V.M., Bogov S.G., Shakhnazarov A.V. Construction of safe parking lots in the built-up central part of St. Petersburg. *Gidrotekhnika*. 2012. No. 3, pp. 105–109. (In Russian).
 12. Sosnovskikh L.V., Oleneva A.A. Atrium recessed public spaces. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*. 2017. Vol. 2, pp. 13–20. (In Russian).
 13. Dement'eva V.A., Rakhmanov V.C., Shashkin A.G. Vozrozhdenie Kamennooostrovskogo teatra: sintez nauchnykh dostizhenii restavratsii i geotekhniki [Revival of the Kamennooostrovsky Theatre: synthesis of scientific achievements of restoration and geotechnics]. Saint Petersburg: Stroizdat Severo-Zapad, Georekonstruktsiya. 2012. 166 p.
 14. Ulitskii V.M., Shashkin A.G. Preservation of architectural memorials and ensuring their mechanical safety. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 7, pp. 31–39. (In Russian).
 15. Sokolov N.S. Technology for increasing the bearing capacity of the base. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 6, pp. 67–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
 16. Solov'ev A.K. Daylight in underground spaces. *Svetotekhnika*. 2018. No. 2, pp. 70–74. (In Russian).
 17. Malysheva A.N., Kononova M.S., Vorob'eva Yu.A. Analysis of applicability of various natural lighting systems for civil design buildings. *Zhilishchnoe khozyaistvo i kommunal'naya infrastruktura*. 2018. No. 2 (5), pp. 9–17. (In Russian).

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Информационное моделирование и искусственный интеллект в современном строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве



Авторы: В.Л. Курбатов, В.И. Римшин, И.Л. Шубин, С.В. Волкова.

Под общ. ред. членов-корреспондентов Российской академии архитектуры и строительных наук, заслуженных строителей Российской Федерации И.Л. Шубина, В.И. Римшина

Издательство АСВ. Москва. 2023. 420 с.

Изложены принципы информационного моделирования в строительстве. Освещены современные технологии информационного моделирования, описана уже действующая и дополнительно необходимая нормативная правовая база, определяющая порядок разработки и применения информационной модели на территории Российской Федерации. Рассмотрены основные этапы и состав мероприятий при разработке проектной документации с применением информационного моделирования.

Предназначено для бакалавров, магистров и преподавателей вузов, обучающихся по Федеральному государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования, а также для работников предприятий строительства и жилищно-коммунального комплекса.

Рекомендовано Российской академией архитектуры и строительных наук в качестве учебного пособия для студентов образовательных организаций высшего образования, обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 «Строительство» (уровень бакалавриата) и 08.04.01 «Строительство» (магистратуры).

УДК 624.15

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-42-47>В.А. СМИРНОВ¹, канд. техн. наук (belohvost@list.ru),
Е.О. ГАРБЕР¹, инженер (grenadefleur@gmail.com); Д.Д. МАЛОВ², инженер¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)² Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

Динамический анализ фундамента турбоагрегата при его взаимодействии с существующим основанием

Статья посвящена вопросу определения параметров напряженно-деформированного состояния фундамента турбоагрегата ПР-30/35-90/10/1,2, устанавливаемого в здании реконструируемой ТЭЦ. Основной сложностью при устройстве нового фундамента на существующем является вопрос обеспечения совместной работы двух фундаментов, а также снижения амплитуд динамических колебаний фундамента нового турбоагрегата. Для решения поставленной задачи разработана трехмерная идеализированная модель фундамента нового турбоагрегата, а также модель существующего фундамента. Задача решалась в контактной постановке для возможности моделирования отрыва нового фундамента от существующего. Определены параметры НДС фундамента нового турбоагрегата и даны рекомендации по обеспечению их совместной работы. Сформулированы рекомендации по построению математических моделей системы турбоагрегат–фундамент.

Ключевые слова: динамический анализ, турбоагрегат, вибрация, основание, жесткость.

Для цитирования: Смирнов В.А., Гарбер Е.О., Малов Д.Д. Динамический анализ фундамента турбоагрегата при его взаимодействии с существующим основанием // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 42–47.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-42-47>V.A. SMIRNOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (belohvost@list.ru),E.O. GARBER¹, Engineer (grenadefleur@gmail.com); D.D. MALOV², Engineer¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)² Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

Dynamic Analysis of the Turbine Unit Foundation in its Interaction with the Existing Foundation

The article is devoted to the issue of determining the parameters of the stress-strain state of the foundation of the turbine unit PR-30/35-90/10/1.2, installed in the building of the reconstructed Power Plant. The main difficulty in arranging a new foundation on the existing one is the issue of ensuring the joint operation of the two foundations, as well as reducing the amplitudes of dynamic oscillations of the foundation of the new turbine unit. To solve the problem, a three-dimensional idealized model of the foundation of a new turbine unit was developed, as well as a model of the existing foundation. The problem was solved in a contact formulation in order to be able to model the detachment of a new foundation from the existing one. The parameters of the SSS of the foundation of a new turbine unit are determined and recommendations are given to ensure their joint operation. Recommendations for the construction of mathematical models of the turbine unit - foundation system are formulated.

Keywords: dynamic analysis, turbine unit, vibration, foundation, rigidity.

For citation: Smirnov V.A., Garber E.O., Malov D.D. Dynamic analysis of the turbine unit foundation in its interaction with the existing foundation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 42–47. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-42-47>

В современных условиях энергетическое машиностроение характеризуется созданием турбоагрегатов большой единичной мощности. Это связано с улучшением экономических показателей, снижением эксплуатационных расходов [1]. При этом существенно осложняется расчет динамических характеристик системы турбоагрегат–фундамент–основание (ТФО), так что появляется насущная необходимость в развитии новых методов прогнозирования вибрационного состояния применяемых конструкций фундаментов стеночатого и рамного типов.

По материалам исследований и расчетов динамических характеристик системы ТФО накоплен достаточно большой теоретический и практический опыт [2], тем не менее знаний о взаимодействии отдельных элементов этой системы явно недостаточно, и существуют определенные трудности с выбором расчетных схем.

Стремление к наиболее адекватной расчетной схеме неизбежно усложняет задачу, особенно в случаях, когда фундаменты имеют сложную форму и структуру. Применение численных методов, особен-

но расчетов в программных комплексах, основанных на методе конечных элементов (МКЭ), несомненно, является существенным шагом в более детальном анализе напряженно-деформированного состояния (НДС) таких конструкций. Однако встречаются задачи, которые в силу определенных условий, таких как уровень детализации, объем исследований площадки строительства и уровень знаний по специфическому поведению тех или иных элементов конструкций, не имеют четкого ответа на правильный метод моделирования статического и динамического поведения фундамента.

Фундаменты под технологическое оборудование с динамическими нагрузками имеют, как правило, довольно сложную конструкцию и форму, что приводит к усложнению динамических расчетов. В статье исследуются фундаменты турбоагрегата, выполненные по рамной схеме, получившие широкое распространение, вследствие экономичности и удобных условий для размещения и эксплуатации машин.

Для облегчения расчетов НДС применяют упрощенные расчетные схемы, отражающие с достаточной точностью работу фундамента в реальных инженерно-геологических условиях, учитывающие особенности конструкции, условия эксплуатации, характер нагрузок и т. д. [3–5]. В рамках данной работы определению подлежат параметры напряженно-деформированного состояния фундамента турбоагрегата ПР-30/35-90/10/1,2, устанавливаемого в здании реконструируемой ТЭЦ при условии, что фундамент монтируется на частично демонтированном существующем фундаменте, без устройства специальных мероприятий по обеспечению их совместной работы (выпусков арматуры, анкеровки арматурных каркасов нового фундамента к существующему и т. д.).

Анализ предыдущих исследований

Исследование напряженно-деформируемого основания приведено в работах Н.Г. Шульженко, Ю.С. Воробьева [6, 7] и др. Общий порядок расчета фундаментов под машины с динамическими нагрузками, в том числе необходимые сочетания нагрузок, подробно описан в [2]. Податливость и инерционные свойства грунта рассматривались в работах [2, 7]. В [8] выполнен анализ поведения системы «фундамент–массив грунта» в трехмерной постановке с учетом слоистых характеристик грунтов основания. При этом упор сделан на анализ поведения нижней фундаментной плиты в грунте, НДС верхней части ФТА не исследовалось. В работе [9] представлен детальный КЭ-анализ поведения валопровода 1150 МВт турбогенератора, построены годографы ЦВД, ЦНД и генератора. Однако НДС конструкций фундамента не

исследовано. Примеры моделирования фундаментов под турбоагрегаты разной мощности представлены в [10, 11]. В частности, в работе [12] проведен детальный связанный статический и динамический анализ НДС ФТА, использованы стержневые расчетные схемы для расчета в ПК CosmosM. Вопросы потери контакта валопровода и фундамента, вызванные длительной вибрацией корпуса турбины мощностью 300 МВт, свободно лежащей на фундаменте, исследованы в «Рекомендациях по проектированию фундаментов турбоагрегатов с числом оборотов 300 в минуту» (Министерство энергетики и электрификации СССР. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Министерство атомной энергетики и промышленности СССР. ВГПКИИ Атомэнергопроект. Л.: 1989). По результатам проведенного исследования собственных частот и форм системы ТФО при полном равномерном контакте корпуса турбины с фундаментом и нескольких вариантах потери контакта этих элементов системы показано, что система ТФО достаточно устойчива к значительным потерям контакта. Наибольшие изменения характеристик собственных колебаний системы ТФО происходят при потере контакта по двум смежным сторонам корпуса турбины. При этом в статье вопрос потери контакта между нижней подошвой фундамента и грунтовым основанием не рассматривался.

Таким образом, в перечисленных работах не учитывается податливость расположенной на грунтовом основании нижней плиты. Для современных конструкций фундаментов под турбоагрегаты это приводит к искажению амплитудно-частотных характеристик колебаний в зоне относительно низких частот – до 30–40 Гц. При более высоких частотах нагружения результаты расчета фундамента без турбоагрегата удовлетворительно согласуются с результатами натурных исследований «голового» фундамента [13–15].

Описание расчетной схемы

В работе приведены результаты исследования НДС рамного фундамента турбоагрегата ПР-30/35-90/10/1,2, статора генератора и существующего фундамента (остатки нижней фундаментной плиты реконструируемого турбоагрегата). Фундамент построен по типовому проекту и представляет собой пространственную монолитную железобетонную рамную конструкцию, выполненную из бетона класса прочности В25. Верхний балочный ростверк, к которому непосредственно крепятся элементы турбоагрегата, состоит из относительно жестких продольных балок и поперечных ригелей. Нагрузка от верхней плиты передается на нижнюю плиту размерами 4,3×15,1 м посредством шести колонн квадратного поперечно-

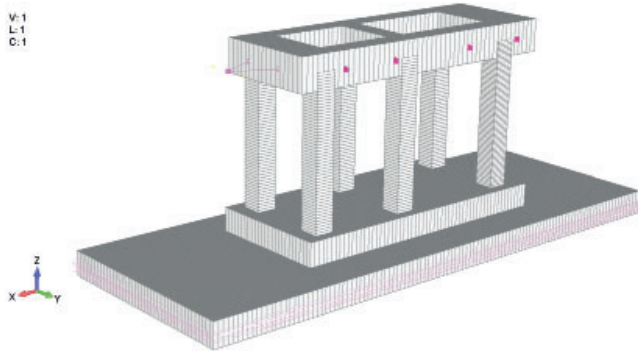


Рис. 1. Модель фундамента, выполненная в MSC Patran/Nastran
Fig. 1. Foundation FEM model in MSC Patran/Nastran

го сечения. Нижняя фундаментная плита толщиной 1200 мм опирается на существующую фундаментную плиту толщиной 900 мм и габаритами 10,5×28 м. На рис. 1 представлена КЭ модель фундамента, выполненная в ПК MSC Patran / Nastran.

Колонны фундамента турбоагрегата моделировались одномерными двухузловыми стержневыми балочными элементами, фундаментные плиты моделировались плоскими четырехузловыми пластинчатыми КЭ. Для учета взаимодействия между существующей фундаментной плитой турбоагрегата и нижней плитой проектируемого фундамента использовались также контактные КЭ, моделирующие сцепление несогласованных сеток плит фундаментов.

Для моделирования инерционных характеристик турбины, генератора и возбудителя использовались сосредоточенные и распределенные массы, установленные на проектных отметках. Так как выполняется расчет на высокочастотное динамическое воздействие, в соответствии с [15] используется динамический модуль упругости бетона фундамента $E_d=0,39 \cdot 10^{11}$ Па, на 30% превышающий нормативное значение статического модуля. Величина динамического модуля сдвига $G_d=0,4E_d=0,156 \cdot 10^{11}$ Па, плотность $\rho=2500$ кг/м³, декремент колебаний $\delta=0,3$.

Для изучения динамического взаимодействия нового фундамента с существующим были выполнены сопоставительные расчеты с использованием следующих вариантов расчетных моделей.

Вариант 1. Сопряжение «старого» и «нового» фундаментов с применением опции склейки несогласованных сеток с возможностью определения контактных усилий на границе раздела сред.

Вариант 2. Сопряжение «старого» и «нового» фундаментов с применением опции задания контакта между несогласованными сетками фундаментов.

Вариант 3. Отсутствие «старого» фундамента, расчет в предположении опирания «нового» на грунтовое основание.

Внутренние усилия в элементах ФТА
Internal forces inside turbine's foundation

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Колонны			
N_{max}^1	-329 кН	-370 кН	-290 кН
N_{min}^1	-828 кН	-894 кН	-822 кН
M_{max}^1	260 кНм	284 кНм	226 кНм
M_{min}^1	-254 кНм	-264 кНм	-244 кНм
Q_{max}^1	77 кН	82 кН	105 кН
Q_{min}^1	-57 кН	-53 кН	-100 кН
N_{max}^2	280 кН	329 кН	-338 кН
N_{min}^2	-1574 кН	-1463 кН	-2068 кН
M_{max}^2	348 кНм	373 кНм	356 кНм
M_{min}^2	-356 кНм	-371 кНм	-429 кНм
Q_{max}^2	104 кН	110 кН	115 кН
Q_{min}^2	-78 кН	-72 кН	-74 кН
N_{max}^3	173 кН	145 кН	61 кН
N_{min}^3	-1675 кН	-1715 кН	-1518 кН
M_{max}^3	386 кНм	404 кНм	373 кНм
M_{min}^3	-370 кНм	-377 кНм	-387 кНм
Q_{max}^3	107 кН	111 кН	105 кН
Q_{min}^3	-96 кН	-93 кН	-100 кН
Ригели			
N_{max}^1	161 кН	158 кН	163 кН
N_{min}^1	-173 кН	-176 кН	-169 кН
M_{max}^1	330 кНм	328 кНм	289 кНм
M_{min}^1	-523 кНм	-524 кНм	-686 кНм
Q_{max}^1	396 кН	395 кН	562 кН
Q_{min}^1	-205 кН	-205 кН	-411 кН
N_{max}^2	332 кН	328 кН	359 кН
N_{min}^2	-355 кН	-363 кН	-402 кН
M_{max}^2	121 кНм	121 кНм	861 кНм
M_{min}^2	-84 кНм	-86 кНм	-576 кНм
Q_{max}^2	305 кН	305 кН	392 кН
Q_{min}^2	-266 кН	-266 кН	-319 кН
N_{max}^3	101 кН	107 кН	107 кН
N_{min}^3	-126 кН	-141 кН	-121 кН
M_{max}^3	54 кНм	54 кНм	177 кНм
M_{min}^3	-200 кНм	-211 кНм	-305 кНм
Q_{max}^3	148 кН	147 кН	154 кН
Q_{min}^3	-168 кН	-174 кН	-355 кН
Верхняя плита			
N_{xmax}	2E-9 кН	223 кН	677 кН
N_{xmin}	-623 кН	-270 кН	-670 кН
M_{xmax}	203 кНм	293 кНм	304 кНм
M_{xmin}	-58 кНм	-2 кНм	-215 кНм
Q_{xmax}	283 кН	327 кН	523 кН
Q_{xmin}	-367 кН	-422 кН	-483 кН
Нижняя плита (существующая)			
N_{xmax}	343 кН	191 кН	—
N_{xmin}	-59 кН	-157 кН	—
M_{xmax}	279 кНм	248 кНм	—
M_{xmin}	-54 кНм	-626 кНм	—
Q_{xmax}	250 кН	205 кН	—
Q_{xmin}	-293 кН	-245 кН	—

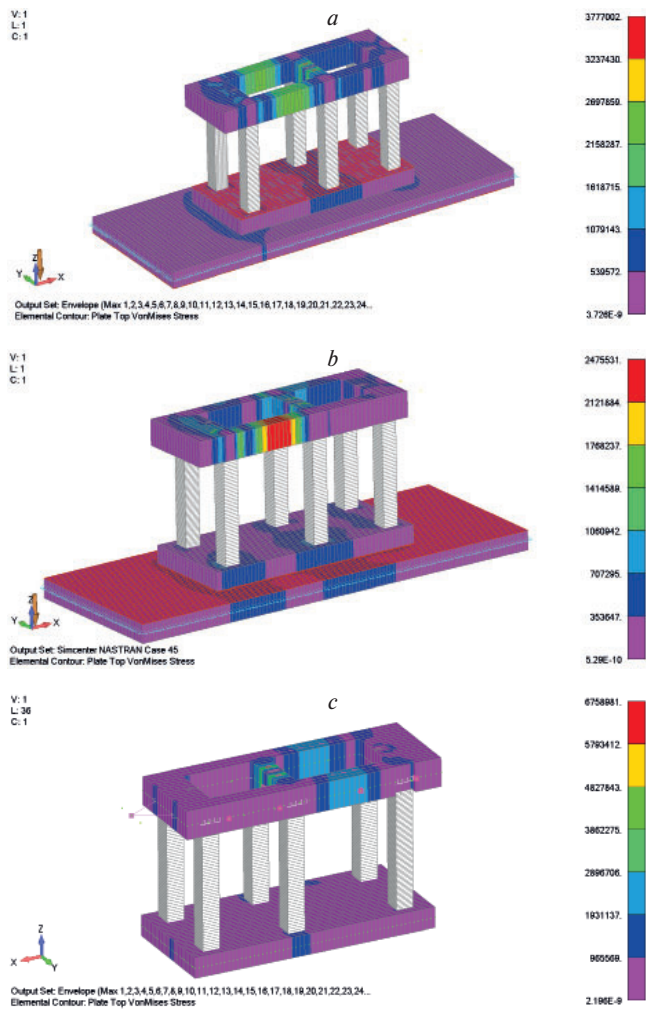


Рис. 2. Результаты статического расчета (оглабляющая максимальных напряжений) для вариантов схемы: *a* – вариант 1; *b* – вариант 2; *c* – вариант 3
Fig. 2. Static analysis results (envelope of maximum stresses) for: *a* – option 1; *b* – option 2; *c* – option 3

Для моделирования опирания существующей фундаментной плиты турбоагрегата на упругое основание принята наиболее простая модель грунтового основания – модель Винклера и использовались нуль-мерные пружинные КЭ, которым были назначены упругие характеристики по шести степеням свободы (три перемещения и три поворота). Упругие и диссипативные характеристики основания назначались согласно расчету по п. 6.1 СП 26.13330.2012 [16].

Нагрузки

При статическом расчете учитывались следующие нагрузки и расчетные сочетания нагрузок (по СП 20.13330.2016) для различных режимов работы турбоагрегата – эксплуатация, монтаж турбоагрегата и аварийная работа при коротком замыкании:

1. Постоянная нагрузка P_d :
– нагрузка от собственного веса фундамента.

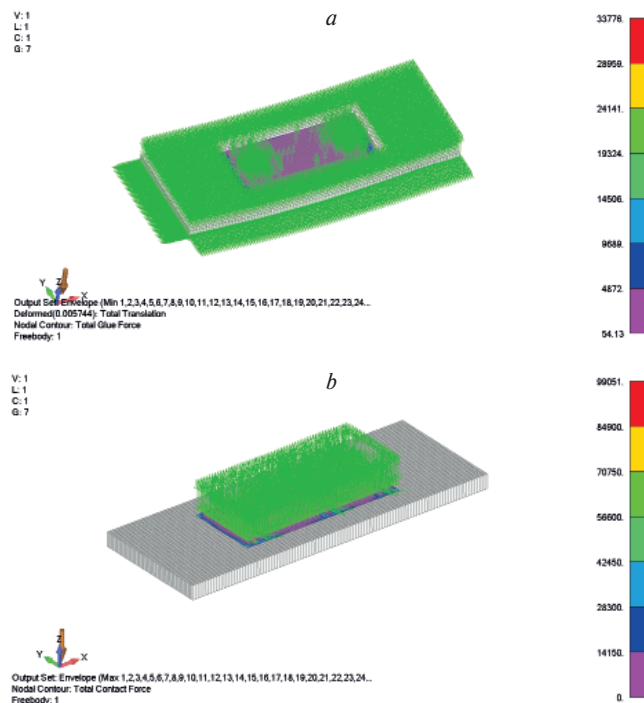


Рис. 3. Результаты контактного взаимодействия для схем: *a* – по варианту 1; *b* – по варианту 2
Fig. 3. Contact analysis results for calculation scheme: *a* – option 1; *b* – option 2

2. Длительные нагрузки P_i :
– нагрузка от собственного веса турбоагрегата;
– нагрузка от собственного веса турбоагрегата без вращающихся частей;
– нагрузка от веса грунта на обрезах фундамента;
– нагрузка от креплений трубопроводов на стойки и фундамента;
– горизонтальная нагрузка от тепловых перемещений.

3. Кратковременные нагрузки P_j :
– монтажная нагрузка;
– нагрузки от вращающихся частей.
4. Особые нагрузки P_s :
– короткое замыкание генератора.

Динамический расчет выполнялся прямым интегрированием уравнений колебаний при гармоническом возмущении, соответствующем определенным заданием на проектирование рабочим частотам турбины.

Результаты расчета

Результаты статического расчета – усилия в колоннах и изополя напряжений в конструкции фундаментной плиты представлены на рис. 2.

В таблице представлено сравнение внутренних усилий в характерных точках модели для систем по трем вариантам.

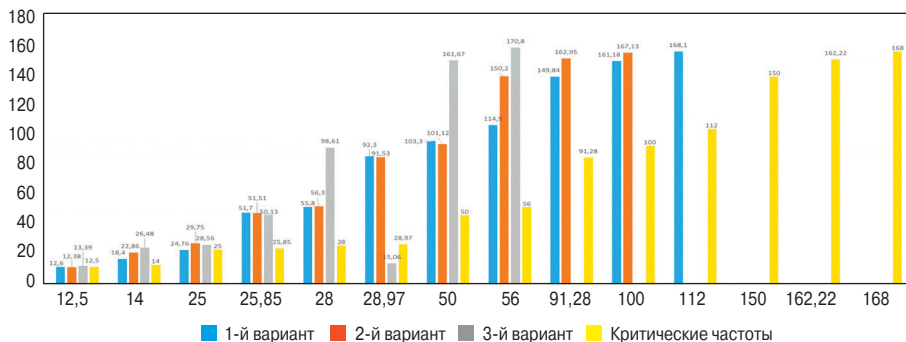


Рис. 4. Характерные частоты колебаний

Fig. 4. Foundation's eigenmodes

Расчетная осадка верхней плиты фундамента составила 4,5, 29,6 и 7,6 мм для варианта 1, 2 и 3 соответственно.

При расчете по модели варианта 1 получены следующие значения контактных усилий на границе нижней плиты и существующего фундамента – 34 кН, рис. 3, а.

При расчете по модели варианта 2 получены следующие значения контактных усилий на границе нижней плиты и существующего фундамента – 99 кН, рис. 3, б.

Данные значения контактных усилий говорят о более точной передаче усилий с верхней плиты на нижнюю (существующую) плиту с помощью инструмента Contact.

Результаты модального анализа каждой модели представлены на рис. 4 для характерных частот колебаний из спектра динамического воздействия.

Выводы

При использовании инструмента Glued решатель соединяет узлы на контактных поверхностях пружинками. Glued работает в обе стороны – и на сжатие, и на

Список литературы

1. Седин В.Л. Развитие аналитических методов расчета фундаментов сложной формы для энергооборудования. Днепропетровск: ПГАСА, 1996. 38 с.
2. Барштейн М.Ф., Ильичев В.А., Коренев Б.Г. Динамический расчет зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1984. 303 с.
3. Андрианов И.В., Кононенко С.И., Седина В.Л. Расчет пластин с широкими ребрами // *Прикладная механика*. 1995. Т. 31. С. 75–83.
4. Демьяненко В.В., Седина В.Л. Определение амплитудно-частотных характеристик стенчатых фундаментов. *Интенсификация рабочих процессов строительного производства: Тем. сб. науч. тр. ДИСИ*. Киев: ИСИО, 1993. С. 94–95.

растяжение. С помощью Glued можно соединять, например, не совпадающие сетки (тетраэдры и кубики), упрощенно моделировать сварку, болтовое соединение, клеевое соединение и прочие варианты, когда не нужно подробное моделирование работы соединения, например для определения собственных частот. Contact предназначен для моделирования контактного взаимодействия тел, контакт работает только на сжатие; решатель не позволяет контактным поверхностям проникать друг в друга.

Разница вариантов 1 и 2 особенно заметна при сравнении усилий в плитах (около 60%) в отличие от сравнения усилий в ригелях и колоннах (максимально 30%). При учете существующей фундаментной плиты усилия во всех конструктивных элементах снижаются (максимально – более чем в десять раз), что приводит к неэффективному конструктивному решению и перерасходу материала.

References

1. Sedin V.L. Razvitie analiticheskikh metodov rascheta fundamentov slozhnoi formy dlya energooborudovaniya [Development of analytical methods for calculating foundations of complex shape for power equipment]. Dnepropetrovsk: PGASA. 1996. 38 p.
2. Barstein M.F., Ilyichev V.A., Korenev B.G. Dinamicheskii raschet zdaniy i sooruzhenii [Dynamic calculation of buildings and structures]. Moscow: Stroyizdat. 1984. 303 p.
3. Andrianov I.V., Kononenko S.I., Sedina V.L. Calculation of plates with wide ribs. *Prikladnaya mekhanika*. 1995. Vol. 31, pp. 75–83. (In Russian).
4. Demyanenko V.V., Sedina V.L. Determination of amplitude-frequency characteristics of steel foundations. *Intensification of work processes of construction production*. Kiev: ISIO. 1993, pp. 94–95. (In Russian).
5. Savinov O.A. Sovremennye konstruksii fundamentov pod mashiny i ikh raschet [Modern constructions of foundations for machines and their calculation]. Leningrad: Stroyizdat. 1979. 200 p.
6. Shulzhenko N.G., Vorobyev Yu.S. Chislennyi analiz kolebaniy sistemy turboagregat – fundament [Numerical analysis of vibrations of the turbine unit – foundation system]. Kiev: Naukova dumka. 1991. 232 p.
7. Sargsyan A.E., Gukova E.G. The effectiveness of the implementation of pile foundations on the exam-

5. Савинов О.А. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. Л.: Стройиздат, 1979. 200 с.
6. Шульженко Н.Г., Воробьев Ю.С. Численный анализ колебаний системы турбоагрегат–фундамент. Киев: Наукова думка, 1991. 232 с.
7. Саргсян А.Е., Гукова Е.Г. Эффективность реализации свайных фундаментов на примере сооружения реакторного отделения атомной станции с ВВЭР-1000 // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2020. Т. 16. № 1. С. 14–21. <http://dx.doi.org/10.22363/1815-5235-2020-16-1-14-21>
8. Цейтлин Б.В. Исследования колебаний в системе фундамент – генератор энергоблока мощностью 100 МВт // *Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. 2016. Т. 279. С. 75–84.
9. Красников С.В. Исследование собственных колебаний системы турбоагрегат–фундамент–основание при различных схемах потери контакта // *Вісник НТУ «ХПІ»: Серія «Динаміка та міцність машин»*. 2007. № 22. С. 85–90.
10. Жуковский А.М., Цейтлин Б.В. Анализ колебаний новых конструкций фундаментов под турбоагрегаты // *Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. 1985. Т. 184. С. 30–37.
11. Киндер В.А., Цейтлин Б.В. Расчет колебаний рамного фундамента с учетом взаимодействия с турбоагрегатом. Л.: Стройиздат, 1989. С. 233–237.
12. Киндер В.А., Цейтлин Б.В. Расчет колебаний в системе турбоагрегат–фундамент–основание с использованием метода модального синтеза // *Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. 1990. Т. 218. С. 46–54.
13. Ильичев В.А. Работы НИИОСП по повышению надежности системы турбоагрегат–фундамент–основание. Труды координационных совещаний по гидротехнике. М.: Энергия, 1976. С. 32–34.
14. Привалова О.В., Фридман В.М. Стационарные и переходные колебания фундамента турбоагрегата. *Материалы конференций и совещаний по гидротехнике*. М.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1982. С. 221–224.
15. Рудник В.Я. Результаты определения динамических характеристик при вертикальных колебаниях жестких фундаментов. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л.: Энергия, 1973. С. 51–55.
16. Цейтлин Б.В., Кронидова Е.Д. Алгоритм и результаты расчета нестационарных колебаний в системе турбоагрегат–фундамент–основание // *Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. 1981. Т. 148. С. 50–59.
17. Цейтлин Б.В. Исследования колебаний в системе фундамент – генератор энергоблока мощностью 100 МВт // *Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. 2016. Т. 279. С. 75–84.
18. Красников С.В. Исследование собственных колебаний системы турбоагрегат–фундамент–основание при различных схемах потери контакта // *Вісник НТУ «ХПІ»: Серія «Динаміка та міцність машин»*. 2007. № 22. С. 85–90.
19. Zhukovsky A.M., Zeitlin B.V. Analysis of vibrations of new constructionfundaments for turbine units. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 1985. Vol. 184, pp. 30–37. (In Russian).
20. Kinder V.A., Zeitlin B.V. Raschet kolebanii pamnogo fundamenta suchetom vzaimodeistviya s tupboagregatom [Calculation of vibrations of the frame foundation by means of interaction with the turbine unit]. Leningrad: Stroyizdat. 1989, pp. 233–237.
21. Kinder V.A., Zeitlin B.V. Calculation of oscillations in the turbine unit-foundation-base system using the modal synthesis method. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 1990. Vol. 218, pp. 46–54. (In Russian).
22. Ilyichev V.A. Raboty NIIOSPa po povysheniyu nadezhnosti sistemy turboagregat-fundament-osnovanie. Trudy koordinatsionnykh soveshchanii po gidrotekhnike [The work of NIIOSPa to improve the reliability of the turbine unit-foundation-foundation system. Proceedings of coordination meetings on hydraulic engineering]. Moscow: Energiya. 1976, pp. 32–34.
23. Privalova O.V., Fridman V.M. Statsionarnye i perekhodnye kolebaniya fundamenta turboagregata. *Materialy konferentsii i soveshchanii po gidrotekhnike* [Stationary and transient vibrations of the foundation of a turbine unit. Materials of conferences and meetings on hydraulic engineering]. Moscow: VNIIG im. B.E. Vedeneeva. 1982, pp. 221–224.
24. Rudnik V.Ya. Rezul'taty opredeleniya dinamicheskikh kharakteristik pri vertikal'nykh kolebaniyakh zhestkikh fundamentov. Trudy koordinatsionnykh soveshchanii po gidrotekhnike [Results of determination of dynamic characteristics under vertical vibrations of rigid foundations. Proceedings of coordination meetings on hydraulic engineering]. Leningrad: Energiya. 1973. pp. 51–55.
25. Tseitlin B.V., Kronidova E.D. Algorithm and results of calculation of non-stationary oscillations in the turbine unit-foundation-foundation system. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 1981. Vol. 148, pp. 50–59. (In Russian).
26. Tseitlin B.V. Studies of oscillations in the foundation – generator system of a power unit with a capacity of 100 MWt. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 2016. Vol. 279, pp. 75–84. (In Russian).
27. Krasnikov S.V. Investigation of natural oscillations of the turbine unit-foundation-base system with various contact loss schemes. *Visnik NTU "KhPI": Seriya "Dinamika ta mitsnist' mashin"*. 2007. No. 22, pp. 85–90.
28. Zhukovsky A.M., Zeitlin B.V. Analysis of vibrations of new constructionfundaments for turbine units. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 1985. Vol. 184, pp. 30–37. (In Russian).
29. Kinder V.A., Zeitlin B.V. Raschet kolebanii pamnogo fundamenta suchetom vzaimodeistviya s tupboagregatom [Calculation of vibrations of the frame foundation by means of interaction with the turbine unit]. Leningrad: Stroyizdat. 1989, pp. 233–237.
30. Kinder V.A., Zeitlin B.V. Calculation of oscillations in the turbine unit-foundation-base system using the modal synthesis method. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 1990. Vol. 218, pp. 46–54. (In Russian).
31. Ilyichev V.A. Raboty NIIOSPa po povysheniyu nadezhnosti sistemy turboagregat-fundament-osnovanie. Trudy koordinatsionnykh soveshchanii po gidrotekhnike [The work of NIIOSPa to improve the reliability of the turbine unit-foundation-foundation system. Proceedings of coordination meetings on hydraulic engineering]. Moscow: Energiya. 1976, pp. 32–34.
32. Privalova O.V., Fridman V.M. Statsionarnye i perekhodnye kolebaniya fundamenta turboagregata. *Materialy konferentsii i soveshchanii po gidrotekhnike* [Stationary and transient vibrations of the foundation of a turbine unit. Materials of conferences and meetings on hydraulic engineering]. Moscow: VNIIG im. B.E. Vedeneeva. 1982, pp. 221–224.
33. Rudnik V.Ya. Rezul'taty opredeleniya dinamicheskikh kharakteristik pri vertikal'nykh kolebaniyakh zhestkikh fundamentov. Trudy koordinatsionnykh soveshchanii po gidrotekhnike [Results of determination of dynamic characteristics under vertical vibrations of rigid foundations. Proceedings of coordination meetings on hydraulic engineering]. Leningrad: Energiya. 1973. pp. 51–55.
34. Tseitlin B.V., Kronidova E.D. Algorithm and results of calculation of non-stationary oscillations in the turbine unit-foundation-foundation system. *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva*. 1981. Vol. 148, pp. 50–59. (In Russian).

УДК 624.159.2

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-48-55>Д.Ю. ЧУНЮК, канд. техн. наук (chunyuk@mail.ru),
В.С. ГРИШИН, инженер (vladislav.grishin.1995@mail.ru)

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Влияние устройства глубоких котлованов на несущую способность и деформации свайных фундаментов зданий окружающей застройки

Рассматривается вопрос влияния устройства котлована открытым способом на близкорасположенный свайный фундамент сооружений окружающей застройки (существующий или запроектированный в качестве защитных мероприятий). В рамках данной работы были рассмотрены расчетные схемы с одиночной сваей, находящейся в пределах (схема 1) и ниже (схема 2) границы призмы обрушения, а также проанализированы доступные инструменты моделирования свай. По результатам численных экспериментов сделаны выводы о дополнительных вертикальных и горизонтальных перемещениях, силах трения и внутренних усилиях. Отмечается существенная трансформация схемы работы фундамента и возникновение негативных факторов, снижающих запас надежности рассматриваемых конструкций. Ставится вопрос о необходимости разработки методики учета рассмотренных явлений и закреплении в нормах специальных требований по проектированию и расчету.

Ключевые слова: буринъекционные сваи, грунтоцементные сваи, пересадка на сваи, глубокий котлован, открытый способ, геотехнический прогноз, оценка влияния, окружающая застройка, зона интенсивных деформаций, защитные мероприятия.

Для цитирования: Чунюк Д.Ю., Гришин В.С. Влияние устройства глубоких котлованов на несущую способность и деформации свайных фундаментов зданий окружающей застройки // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-48-55>

D.Y. CHUNYUK, Candidate of Sciences (Engineering) (chunyuk@mail.ru),
V.S. GRISHIN, Engineer (vladislav.grishin.1995@mail.ru)

National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

The Influence of the Device of Deep Pits on the Bearing Capacity and Deformation of Pile Foundations of Surrounding Buildings

The article deals with the issue of the influence of the open pit construction on the nearby pile foundation of the surrounding buildings (existing or designed as protective measures). Within the framework of this work, computational schemes with a single pile located within (scheme 1) and below (scheme 2) the boundaries of the collapse prism were considered, as well as available pile modeling tools were analyzed. Based on the results of numerical experiments, conclusions are drawn about additional vertical and horizontal displacements, friction forces and internal forces. There is a significant transformation of the scheme of the foundation and the emergence of negative factors that reduce the margin of reliability of the structures under consideration. The question is raised about the need to develop a methodology for taking into account the phenomena considered and fixing special requirements for design and calculation in the norms.

Keywords: drilling-injection piles, ground-cement piles, transfer to piles, deep excavation, open method, geotechnical forecast, impact assessment, surrounding buildings, zone of intense deformations, protective measures.

For citation: Chunyuk D.Y., Grishin V.S. The influence of the device of deep pits on the bearing capacity and deformation of pile foundations of surrounding buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 48–55. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-48-55>

Строительная отрасль как один из основных драйверов экономики РФ продолжает стремительно развиваться. Тенденция устойчивого роста, несмотря на турбулентные события в мире, сохраняется, а объемы строительства увеличиваются из года в год. Большое количество объектов реализуются в городских условиях сложившейся окружающей застройки, зачастую являющейся исторической и представляющей собой

культурную ценность. Коммерческая и практическая составляющие вынуждают увеличивать глубину заложения объектов и приближаться к существующим сооружениям, что, в свою очередь, вызывает необходимость в дополнительных защитных мероприятиях [1] и усложняет процесс проектирования.

Как правило, в рамках выполнения геотехнического прогноза первоначально оцениваются допол-

нительные деформации сооружений в зоне влияния только от проектных решений, удовлетворяющих требованиям предельных состояний для ограждающей конструкции котлована и ее системы крепления. По результатам первичного расчета делается вывод о необходимости применения дополнительных мероприятий, а в рамках их проектирования изначально предпочтение отдается мерам, не затрагивающим защищаемое сооружение. Обычно это конструктивные мероприятия, устройство отсечных экранов, геотехнических барьеров, цементация основания и т. д. Однако при определенных условиях ранее перечисленные мероприятия могут быть неосуществимы или малоэффективны [2], и одним из путей решения может стать пересадка на сваи.

На сегодняшний день накоплен значительный опыт по пересадке сооружений на сваи. Существует большое количество типов свай и технологий их устройства. Наиболее распространенными в практике проектирования в качестве защитных мероприятий являются буроинъекционные сваи [3–5], которые также могут устраиваться с применением разрядно-импульсной технологии [6–8]; вдавливаемые многосекционные сваи [9, 10]; грунтоцементные сваи, изготавливаемые по классической струйной технологии с последующим армированием [11, 12] или с использованием трубчатых винтовых штанг с теряемым долотом, оснащенных форсунками (mini-Jet) [13, 14].

Применение перечисленных свайных фундаментов довольно полно изучено, имеет методики расчета прочности и деформаций, нормируется сводами правил, однако устройство вблизи них котлованов способно значительно повлиять на напряженно-деформированное состояние системы «свая – грунт основания» и изменить схему работы фундаментов. Стоит отметить, что данный вопрос никак не отражен в нормах и недостаточно изучен в отечественной науке, из-за чего на практике возникают вопросы и сложности в принятии проектных решений. Поэтому целью данной статьи является качественная оценка влияния открытой выработки на близкорасположенный свайный фундамент и постановка связанных с этим вопросов и задач для дальнейшего изучения.

Для оценки влияния устройства открытой выработки на свайный фундамент, расположенный в зоне влияния и призме обрушения, выполнена серия численных расчетов в программном комплексе Plaxis 3D (рис. 2). Рассматривалась вертикальная одиночная свая $d=300$ мм с нагрузкой 200 кН, расположенная на расстоянии 2 м от ограждения котлована. Глубина котлована принята 12 м, при этом ограждение принято в виде «стены в грунте» длиной 18 м, толщиной 600 мм, крепление двумя ярусами подкосов из труб

720×8 с устройством упорных грунтовых призм. Длина свай принята 12 м (схема 1) и 18 м (схема 2) таким образом, чтобы в одном случае свая всей своей длиной находилась в пределах теоретической призмы обрушения, а в другом заглублялась ниже ее поверхности скольжения (рис. 1).

При этом свая моделировалась двумя доступными в программе инструментами:

1. *Soil volume* – объемный элемент с фактически размерами сваи и устройством по границе контактных интерфейсных элементов.

2. *Embedded beam* – стержневой элемент с встроенными интерфейсными элементами.

К преимуществам первого инструмента стоит отнести фактическое соответствие моделируемого элемента натурному; свая имеет истинный размер и жесткость, при этом несущая способность по грунту определяется автоматически на основе данных для окружающего грунтового слоя. Однако при моделировании данным способом многократно увеличивается количество конечных элементов за счет необходимости их сгущения в области свай, а также отсутствует возможность прямого отображения внутренних усилий. Для возможности сравнения усилий со вторым инструментом вдоль продольной оси объема сваи моделировался фиктивный стержень с низкой жесткостью, не превышающей фактическую, по усилиям которого через коэффициент пропорциональности получали продольные силы и изгибающие моменты в свае. Все эти факторы значительно увеличивают время расчета и снижают производительность.

Используя инструмент *embedded beam*, сваю моделируют стержнем нулевой толщины, под пятой и по длине которого в грунте образуется упругая зона эквивалентного диаметра, зависящего от геометрических характеристик стержня. При этом в набор данных для каждой сваи вводятся конкретные жесткостные и геометрические параметры. Прочность по грунту также относится к исходным данным и задается пользователем для боковой поверхности и под пятой, при этом для боковой поверхности есть возможность автоматического определения предельного трения в зависимости от характеристик окружающего грунта (по аналогии с объемным элементом). При моделировании сваи таким инструментом отсутствует необходимость в радикальном измельчении сетки, так как в данном случае на пересечении стержня с гранями тетраэдральных элементов образуются виртуальные узлы, а не создаются новые, что значительно облегчает расчет. Также преимуществом данного способа моделирования является возможность прямого отображения внутренних усилий в стержнях и интерфейсах.

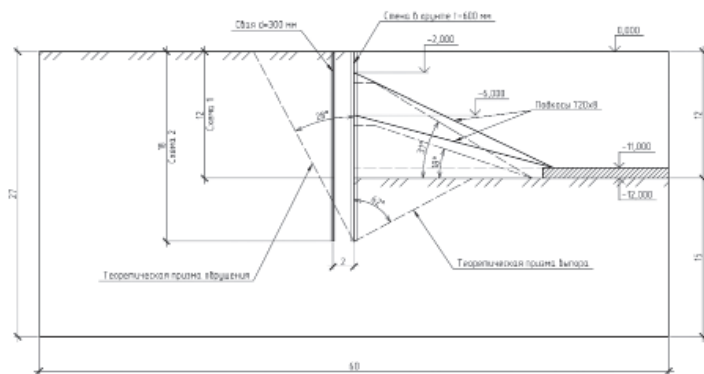


Рис. 1. Рассматриваемые расчетные схемы
Fig. 1. Considered calculation schemes

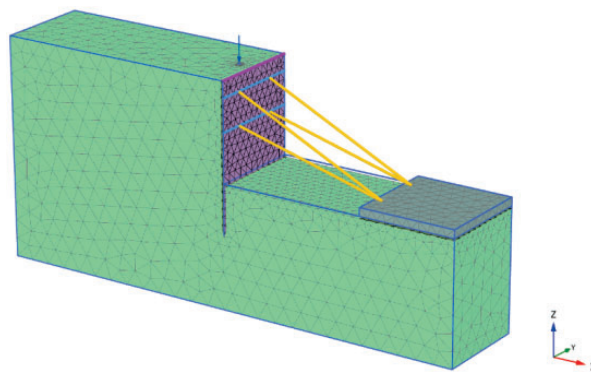


Рис. 2. Конечно-элементная модель
Fig. 2. The finite element model

Таблица 1
Table 1

Физико-механические характеристики грунта основания
Physical and mechanical characteristics of the foundation soil

Наименование инженерно-геологического элемента (ИГЭ) и стратиграфический индекс	Коэффициент пористости, д. е.	Плотность грунта, кН/м ³	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, кПа	Угол дилатансии, град	Степенной показатель зависимости жесткости от уровня напряжений, m	Секундный модуль деформации E ₅₀ ^{rel} , МПа	Одометрический модуль деформации E _{oed} ^{rel} , МПа	Модуль деформации при разгрузке/повторном нагружении E _{ur} ^{rel} , МПа	Референтное давление R _{ref} , кПа	Коэффициент бокового давления грунта K ₀ ^{nc}	Коэффициент переуплотнения OCR	Коэффициент Пуассона разгрузки ν _{ur}	Модуль сдвига при сверхмалых деформациях G ₀ ^{ref} , МПа	Пороговое значение сдвиговой деформации, д. е.
Песок пылеватый, плотный, водонасыщенный, tQII dn-ms	0,48	21,9	34	7	2,1	0,58	33,03	39,7	118,98	113	0,5	-	0,18	88,08	3,1·10 ⁻⁴

Таблица 2
Table 2

Результаты расчетов
Calculation results

Модель грунта	Моделирование сваи	Фаза расчета	Вертикальные перемещения оголовка/пяты сваи, мм	Максимальные горизонтальные перемещения сваи, мм (на глубине, м)	Продольное усилие N, кН (на глубине, м)	Изгибающий момент M, кНм (на отметке, м)	Отметка поверхности области больших сдвиговых деформаций (>1*10 ⁻³) в оси сваи / отметка низа области отрицательного трения, м
Длина сваи – 12 м (до уровня дна котлована)							
HSS	Soil (solid)	Нагрузка сваи 200 кН	-1,66/-0,96	~0	-200 (0,0) Прочность грунта под пятой исчерпана	~0	-
		Устройство ФП и демонтаж второго яруса	-6,56/-5,61	12,9 (-6,3)	-266,1 (-6,0)	7,44 (-6,5)	-13,8/-6
	Embedded beam	Нагрузка сваи 200 кН	-0,68/-0,15	~0	-198 (0,0)	~0	-
		Устройство ФП и демонтаж второго яруса	-6,06/-5,27	12,9 (-6,3)	-310,9 (-7,4) Заданная несущая способность под пятой исчерпана	7,92 (-6,0)	-13,8/-7,3
Длина сваи – 18 м (до уровня низа ограждения котлована)							
HSS	Soil (solid)	Нагрузка сваи 200 кН	-1,35/-0,43	~0	-200 (0,0) Прочность грунта под пятой не исчерпана	~0	-
		Устройство ФП и демонтаж второго яруса	-1,47/0,02	12,8 (-6,5)	-375 (-10,2)	7,16 (-6,5)	-13,4/-10,3
	Embedded beam	Нагрузка сваи 200 кН	-0,65/-0,06	~0	-200 (0,0)	~0	-
		Устройство ФП и демонтаж второго яруса	-0,75/1,02	12,6 (-6,4)	-445,5(-11,4) Заданная несущая способность под пятой не исчерпана	7,58 (-6,6)	-13,4/-11,4

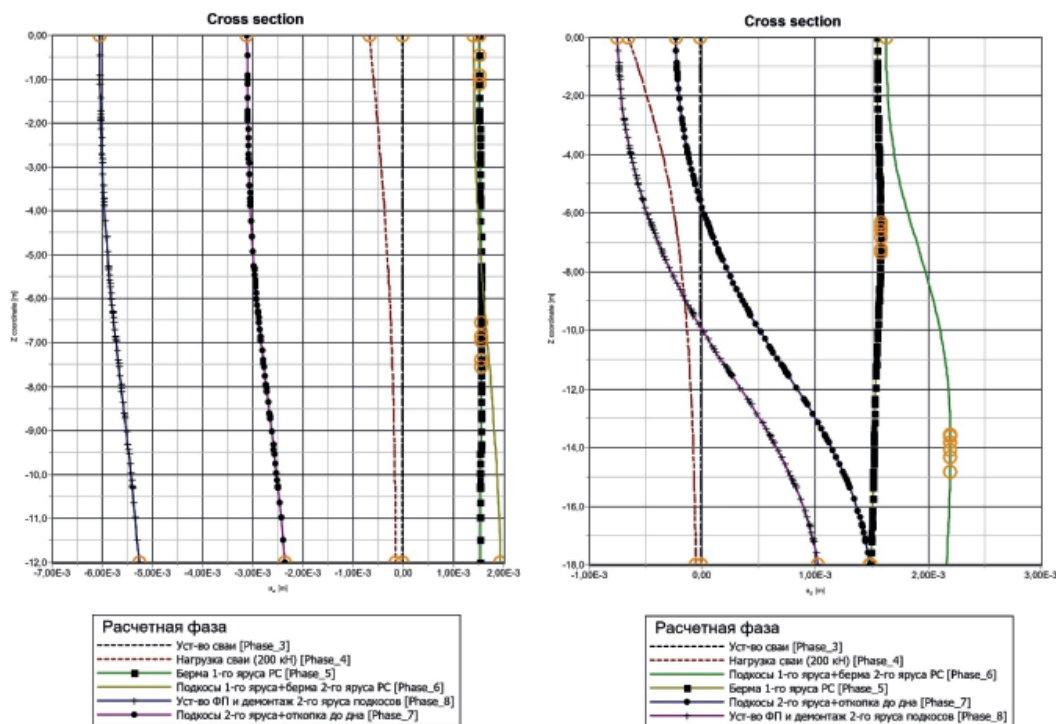


Рис. 3. Диаграмма фазовых вертикальных перемещений рассматриваемых свай (слева – свая 12 м, справа – свая 18 м)
Fig. 3. Diagram of phase vertical displacements of the piles under consideration (on the left the pile is 12 m, on the right the pile is 18 m)

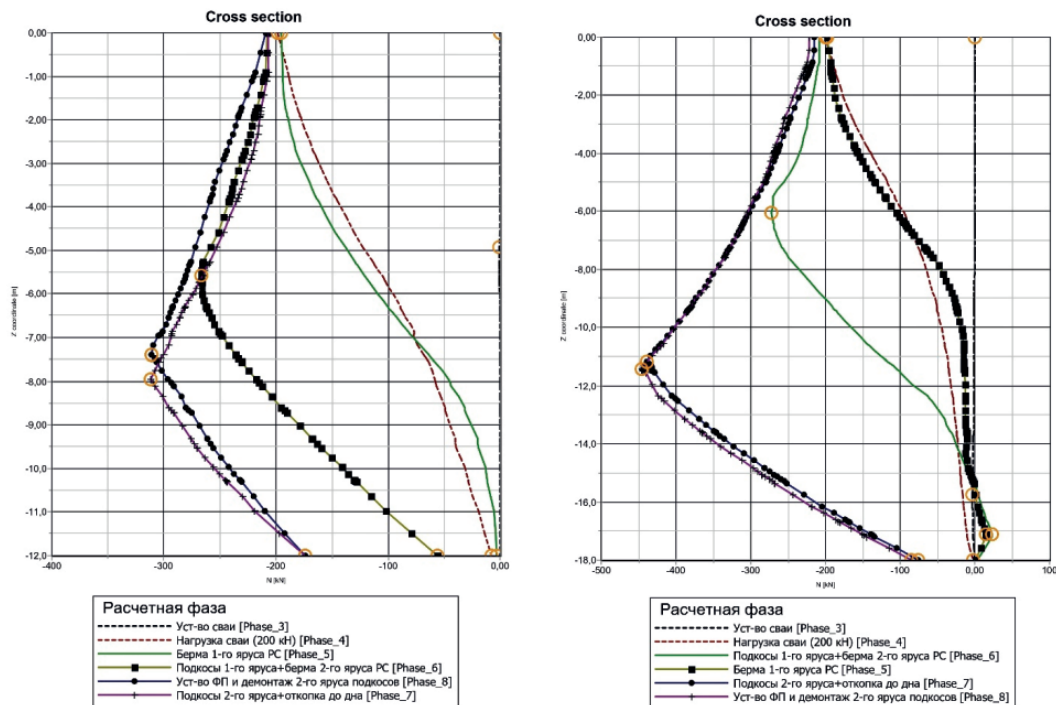


Рис. 4. Диаграмма фазовых продольных усилий N в сваях (слева – свая 12 м, справа – свая 18 м)
Fig. 4. Diagram of phase longitudinal forces N in piles (on the left the pile is 12 m, on the right the pile is 18 m)

В качестве грунта основания принят песчаный грунт по изысканиям (табл. 1) реального объекта Москвы. Расчеты проводились по модели *Hardening soil small*, как наиболее совершенной и корректной для нашей задачи. При использовании данной модели есть возможность учитывать такие механизмы, как зависимость жесткости от уровня напряжений, разгруз-

ка и переуплотнение грунтов, упрочнение при сдвиге и изотропном сжатии, а также увеличение жесткости при малых уровнях относительных сдвиговых деформаций (что характерно для ограждений котлованов). Таким образом, применяя модель *HSS* [16], мы получаем релевантные и близкие к реальности результаты, при этом допускается в рамках нашей задачи не

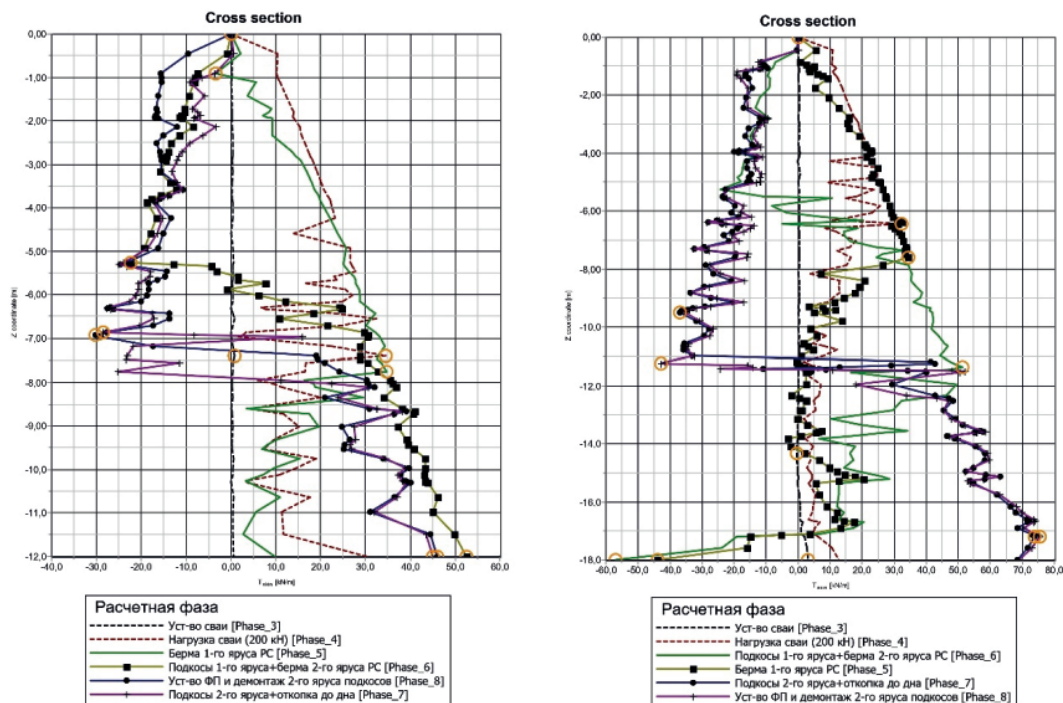


Рис. 5. Диаграмма фазовых сил трения по боковой поверхности (слева – свая 12 м, справа – свая 18 м)
Fig. 5. Diagram of the phase forces of friction on the side surface (left pile – 12 m, right pile – 18 m)

учитывать размеры сжимаемой толщи и использовать однослойную мощность грунта, не искажая результат. Физико-механические характеристики грунта, принятые в расчетах, представлены в табл. 1.

Расчетные схемы имели следующую последовательность основных этапов расчета: устройство сваи; активация вертикальной нагрузки 200 кН; обнуление перемещений; откопка котлована до первого яруса распорной системы с формированием упорной призмы; устройство пионерного участка фундаментной плиты; активация подкосов первого яруса и разработка призмы до уровня второго яруса подкосов; активация подкосов второго яруса и разработка грунта до отметки дна котлована; устройство фундаментной плиты враспор и деактивация подкосов второго яруса.

Выводы

Таким образом, по результатам выполнения серии расчетов (табл. 2) можно сделать следующие основные выводы.

1. Рассматриваемые сваи (12 и 18 м) на фазе нагружения получили близкие по значению осадки 0,1–1,6 мм, однако на дальнейших этапах устройства котлована осадки свай длиной 12 м, расположенных в объеме призмы обрушения, увеличились до 5,3–6,5 мм, в то время как для свай длиной 18 м в области пяты произошел небольшой подъем, а осадка оголовка лишь немного увеличилась. На рис. 3 представлены диаграммы вертикальных перемещений свай по глубине в зависимости от расчетных фаз, где видно, что на первых фазах откопки сваи получают

подъем, а дополнительные осадки возникают лишь на последних двух фазах. Данная тенденция объясняется тем, что на первых этапах откопки оказывает влияние разгрузка дна котлована и призма активного давления еще полностью не сформирована, на последних же двух фазах глубина выработки принимает свое максимальное значение 12 м, а горизонтальные перемещения ограждения превышают критерий реализации активного давления $u_a = 0,001h = 12$ мм. Таким образом, 12-метровая свая полностью попадает в сформировавшуюся призму обрушения и перемещается вместе с ней, 18-метровая свая при этом

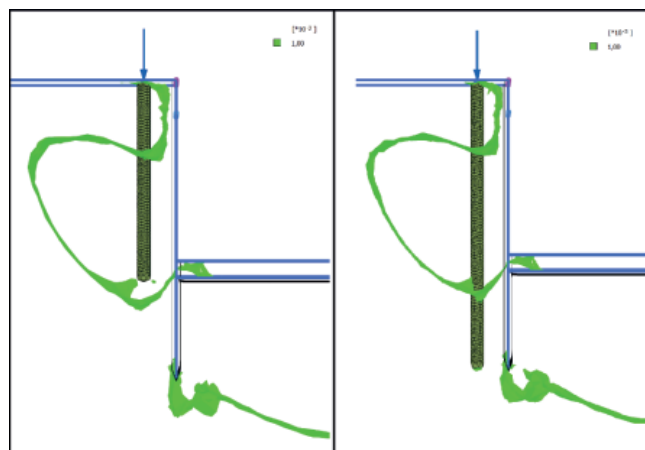


Рис. 6. Поверхность, ограничивающая область больших относительных сдвиговых деформаций γ_s , – расчетная призма активного давления (слева – свая 12 м, справа – свая 18 м)
Fig. 6. The surface bounding the area of large relative shear deformations γ_s is the calculated active pressure prism (the pile on the left is 12 m, the pile on the right is 18 m)

опирается на недеформируемый грунт и практически не получает дополнительных осадков. Отметим, что в отдельном расчете при использовании модели *Mohr-Coulomb* 12-метровая свая на последней фазе расчета вовсе получила подъем около 10 мм.

2. Анализируя продольные усилия (рис. 4), отмечают их поэтапное увеличение. Так, для 12-метровой сваи продольная сила N возросла в 1,55 раза, а для 18-метровой – в 2,23 раза. При этом значения усилий при моделировании свай инструментом *embedded beam* получаются на 15–20% больше, чем в объемных элементах, в то же время характер их распределения и тенденции изменения НДС сопоставимы. Также стоит отметить, что в зависимости от расчетной фазы экстремум продольной силы меняет свое положение, перемещаясь в глубь грунтовой толщи, а несущая способность грунта под пятой 12-метровой сваи на последних фазах исчерпана (заданное значение несущей способности в элементе *embedded beam* достигнуто, а при моделировании сваи объемом под всей пятой прочность грунта исчерпана).

3. Для понимания природы изменения осадков и усилий были проанализированы силы трения, возникающие вдоль ствола, сваи и области развития больших ($>1 \times 10^{-3}$) сдвиговых относительных деформаций γ_s . Так, на диаграмме сил трения (рис. 5) прослеживается их поэтапное изменение и перераспределение. Видно, что, начиная с фазы устройства подкосов первого яруса и разработки бермы под уровень второго яруса, трение в верхней области сваи меняет знак и далее эта область расширяется и величина сил возрастает. Что характерно, точка, в которой силы трения меняют знак, совпадает с точкой максимального продольного усилия N в рассматриваемой свае.

Таким образом, можно предположить, что в процессе откопки котлована и вызванного этим горизонтального перемещения стены ограждения формируется (рис. 6) область больших сдвиговых деформаций (призма активного давления), перемещающаяся в сторону котлована и «зависающая» на свае, что, в свою очередь, вызывает потерю несущей способности на некоторой длине (более 50%) сваи по боковой поверхности и вызывает ее догружение силами негативно-отрицательного трения. Однако в оставшейся части сваи сила трения несколько возрастает, в какой-то степени компенсируя потерю в верхней части. Данный эффект может быть вызван возникновением в нижней части сваи и ограждения области пассивного давления грунта. Также отметим, что полученная в программе (табл. 2) отметка поверхности скольжения призмы активного давления в оси сваи практически совпала с аналитической, равной 14,2 м.

4. Значения горизонтальных перемещений сваи $u_x = 12,6–12,9$ мм составили немногим меньше значе-

ний перемещений ограждения котлована $u_x = 16,3$ мм. Перемещение оголовка сваи составило около $u_x = 6$ мм, что для схемы с 18-метровой сваем по абсолютной величине превышает вертикальные деформации и способно вызвать образование вертикальных трещин в конструкциях защищаемых сооружений. Рассматривая горизонтальные деформации свай, отметим крайне малую разницу в результатах для 12- и 18-метровых фундаментов, а также совпадение отметки их точек экстремумов, что говорит о малой жесткости сваи в работе данной системы на горизонтальные перемещения массива грунта. В целом схема работы данных фундаментов близка к работе свайного геотехнического экрана или противоположных конструкций [16, 17], нагруженных вертикальной силой, а иногда моментной нагрузкой на оголовке.

На основании проведенного анализа и полученных результатов можно однозначно отметить, что устройство открытой выработки вблизи свайного фундамента оказывает на него существенное воздействие и изменяет схему его работы. Так, при откопке котлована формирующаяся призма активного давления дополнительно перемещает свайный фундамент и зависает на нем, вызывая при этом изгибающие моменты, поперечные и дополнительные продольные усилия. Таким образом, стандартная схема работы свайного фундамента изменяется и трансформируется. Стержень, изначально нагруженный только вертикальной силой и находящийся в равновесии преимущественно за счет трения грунта в состоянии покоя по боковой поверхности в верхней части, в процессе откопки начинает работать как сжато-изогнутый элемент, при этом его большая верхняя часть теряет несущую способность и начинает передавать отрицательное трение, нижняя же часть догружается вертикальными усилиями и, по-видимому, защемляется за счет возникновения пассивного давления грунта в данной области. При этом описанное влияние изменяется в зависимости от заглубления и удаления свай от ограждения котлована. Совершенно точно можно утверждать, что глубина заложения свай должна быть ниже призмы активного давления.

Также в данном случае отдельным вопросом является проверка несущей способности сваи по материалу и прочности надземных конструкций. Вследствие возможных значительных горизонтальных перемещений нарастает величина эксцентриситета нагрузки, а также возникает возможность вертикальных трещин в конструкциях за счет неравномерного поля перемещений (преимущественно горизонтальных, при достаточной глубине заложения свай).

Касательно способа моделирования свай отметим положительный опыт и практическую полезность

применения инструмента *embedded beam*. Сваи удобны в моделировании, облегчают расчетную модель, хорошо согласуются с результатами расчета при помощи объемных элементов, отражают с достаточной для инженерных расчетов точностью и удобством необходимые результаты. А несколько большие дополнительные продольные усилия N лишь увеличивают запас надежности.

Таким образом, будь то проектируемые защитные мероприятия или существующие свайные фундаменты вблизи разрабатываемого котлована, к ним должны предъявляться специальные требования (кон-

структивные – к расчетам несущей способности и по деформациям), которые на текущий момент отсутствуют в строительной нормативной документации. Поднятые вопросы также изучаются иностранными коллегами [18, 19], однако достаточно мало изучены в отечественной науке. В связи с этим необходимо продолжить расширенные исследования в данной области с учетом дополнительных факторов (взаимовлияние рядов и кустов свай, влияние закрепления оголовка свай, учет уклона свай и т. п.) и разработать необходимые методики и рекомендации учета описанных явлений.

Список литературы

1. Чунюк Д.Ю., Сельвиан С.М. Определение вероятности возникновения сверхнормативных деформаций зданий в зоне влияния глубоких котлованов // *Экономика строительства*. 2022. № 1 (73). С. 54–61.
2. Ильичев В.А., Никифорова Н.С., Готман Ю.А., Трофимов Е.Ю. Эффективность применения активных и пассивных методов защиты окружающей застройки в зоне влияния подземного строительства // *Жилищное строительство*. 2015. № 6. С. 11–15.
3. Полищук А.И., Семенов И.В. Проектирование усиления фундаментов реконструируемых, восстанавливаемых зданий с использованием свай // *Construction and Geotechnics*. 2020. Т. 11. № 4. С. 33–45. DOI: 10.15593/2224-9826/2020.4.03
4. Полищук А.И., Петухов А.А. Способы усиления фундаментов и строительных конструкций цокольной части реконструируемых, восстанавливаемых зданий // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2018. Т. 9. № 1. С. 42–51. DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.04
5. Готман Н.З., Давлетяров Д.А., Какюмов М.З. Опыт усиления свайных фундаментов с использованием буринъекционных свай (БИС) // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. 2014. № 3. С. 158–166.
6. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Использование буринъекционных свай при усилении оснований зданий // *Жилищное строительство*. 2017. № 1–2. С. 47–51.
7. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Об эффективности устройства буринъекционных свай с многоместными уширениями с использованием электро-разрядной технологии // *Геотехника*. 2016. № 2. С. 28–32.
8. Соколов Н.С. Технология увеличения несущей способности основания // *Строительные мате-*

References

1. Chunyuk D.Yu., Selvian S.M. Determination of the probability of occurrence of excess deformations of buildings in the zone of influence of deep pits. *Ekonomika Stroitel'stva*. 2022. No. 1 (73), pp. 54–61. (In Russian).
2. Ilyichev V.A., Nikiforova N.S., Gotman Yu. A., Trofimov E. Yu. The effectiveness of the use of active and passive methods of environmental protection in the zone of influence of underground construction. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 6, pp. 11–15. (In Russian).
3. Polishchuk A.I., Semenov V.I. Design of reinforcement of foundations of reconstructed, restored buildings using piles. *Construction and Geotechnics*. 2020. Vol. 11. No. 4, pp. 33–45. (In Russian). DOI: 10.15593/2224-9826/2020.4.03
4. Polishchuk A.I., Petukhov A.A. Methods of strengthening foundations and building structures of the basement of reconstructed, restored buildings. *Vestnik of the Perm National Research Polytechnic University. Construction and architecture*. 2018. Vol. 9. No. 1, pp. 42–51. (In Russian). DOI: 10.15593/2224-9826/2018.1.04
5. Gotman N.Z., Davletyarov D.A., Kayumov M.Z. The experience of strengthening pile foundations using drill-injection piles (BIS). *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2014. No. 3, pp. 158–166. (In Russian).
6. Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. The use of boron-injection piles in strengthening the foundations of buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 1–2, pp. 47–51. (In Russian).
7. Sokolov N.S., Ryabinov V.M. About efficiency of the device the buroinjeksionnykh of piles with multi-seater broadenings with use of electro-digit technology. *Geotechnica*. 2016. No. 2, pp. 28–32. (In Russian).

- риалы. 2019. № 6. С. 67–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
9. Савинов А.В. Применение свай, погружаемых вдавливанием, для исправления последствий неэффективных усилений фундаментов при реконструкции объектов историко-архитектурного наследия // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура*. 2005. № 5. С. 100–106.
 10. Нестеров А.С., Гриценко В.А. Вдавливание многосекционных свай из армированного пластика при усилении фундаментов // *Техника и технологии строительства*. 2015. № 3 (3). С. 44–50.
 11. Чунюк М.С. Опыт применения грунтоцементных свай при усилении аварийного здания, расположенного на бровке глубокого котлована // *Перспективы науки*. 2021. № 3 (138). С. 191–194.
 12. Чунюк М.С. Применение грунтоцементных свай при усилении оснований и фундаментов существующих зданий в зоне влияния глубоких котлованов // *Перспективы науки*. 2019. № 3 (114). С. 208–210.
 13. Малинин П.А., Струнин П.В. Развитие и применение струйной цементации грунтов для устройства самозабуриваемых анкерных свай // *Жилищное строительство*. 2015. № 9. С. 50–54.
 14. Малинин А.Г., Малинин Д.А. Анкерные сваи «Атлант» // *Жилищное строительство*. 2010. № 5. С. 60–62.
 15. Готман А.Л. Расчет противооползневых свайных сооружений // *Интернет-вестник ВолгГАСУ*. 2013. № 2 (27). С. 1.
 16. Власов А.Н., Королев М.В., Знаменский В.В., Королев П.В. Применение задавливаемых свай при устройстве фундаментов зданий и сооружений, возводимых вблизи потенциально опасных оползневых склонов // *Наука и бизнес: пути развития*. 2018. № 6 (84). С. 52–59.
 17. Rafał F. Obrzud. On the use of the Hardening Soil Small Strain model in geotechnical practice // *Numerics in geotechnics and structures*. 2010.
 18. Soomro Mukhtiar, Mangi Naeem, Cheng Jason Wen-chieh. The effects of multipropped deep excavation-induced ground movements on adjacent high-rise building founded on piled raft in sand // *Advances in Civil Engineering*. 2020. 10.1155/2020/8897507
 19. Uge Bantayehu, Guo Yuancheng, Liu Yunlong. Numerical analysis on the load sharing performance of long-short cfg pile composite foundation subjected to rotation of adjacent retaining wall // *Advances in Civil Engineering*. 2021. 10.1155/2021/9923534
 8. Sokolov N.S. Technology for increasing the bearing capacity of the base. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 6, pp. 67–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
 9. Savinov A.V. The use of piles immersed by indentation to correct the consequences of ineffective reinforcement of foundations during the reconstruction of objects of historical and architectural heritage. *Vestnik VolgGASU. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2005. No. 5, pp. 100–106. (In Russian).
 10. Nesterov A.S., Gritsenko V.A. Indentation of multi-section piles made of reinforced plastic when strengthening foundations. *Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva*. 2015. No. 3 (3), pp. 44–50. (In Russian).
 11. Chunyuk M.S. The experience of using soil-cement piles when strengthening an emergency building located on the edge of a deep pit. *Perspektivy nauki*. 2021. No. 3 (138), pp. 191–194. (In Russian).
 12. Chunyuk M.S. The use of soil-cement piles in strengthening the foundations and foundations of existing buildings in the zone of influence of deep pits. *Perspektivy nauki*. 2019. No. 3 (114), pp. 208–210. (In Russian).
 13. Malinin P.A., Strunin P.V. Development and application of jet cementation of soils for the device of self-drilling anchor piles. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2015. No. 9, pp. 50–54. (In Russian).
 14. Malinin A.G., Malinin D.A. Anchor piles "Atlant". *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2010. No. 5, pp. 60–62. (In Russian).
 15. Gotman A.L. Calculation of anti-landslide pile structures. *Internet-vestnik VolgGASU*. 2013. No. 2 (27), pp. 1. (In Russian).
 16. Vlasov A.N., Korolev M.V., Znamensky V.V., Korolev P.M. The use of crushed piles in the construction of foundations of buildings and structures erected near potentially dangerous landslide slopes. *Nauka i biznes: puti razvitiya*. 2018. No. 6 (84), pp. 52–59. (In Russian).
 17. Rafał F. Obrzud. On the use of the Hardening Soil Small Strain model in geotechnical practice. *Numerics in geotechnics and structures*. 2010.
 18. Soomro Mukhtiar, Mangi Naeem, Cheng Jason Wen-chieh. The effects of multipropped deep excavation-induced ground movements on adjacent high-rise building founded on piled raft in sand // *Advances in Civil Engineering*. 2020. 10.1155/2020/8897507
 19. Uge Bantayehu, Guo Yuancheng, Liu Yunlong. Numerical analysis on the load sharing performance of long-short cfg pile composite foundation subjected to rotation of adjacent retaining wall // *Advances in Civil Engineering*. 2021. 10.1155/2021/9923534

УДК 378.1:624:004

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-56-62>

Л.А. САКМАРОВА, доцент (lara.sakmarova@mail.ru),
М.А. БАХМИСОВА, аспирант (masha_a94@mail.ru)

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова (428015, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр., 15)

ВІМ-моделирование как основной инструмент цифровизации образовательных технологий при подготовке кадров строительной отрасли

В рамках цифровизации образования и для реализации современных требований в строительстве требуется большой объем новых знаний и умений в области современных тенденций развития архитектуры и строительства, включая владение технологиями информационного моделирования. Приведенные в исследовании образовательные технологии позволяют научить студентов не только пользоваться инструментами программного комплекса, но и на междисциплинарном уровне применять знания технологий ВІМ-моделирования для решения конкретных задач в области архитектурного проектирования. Такой подход позволит повысить качество и сократить сроки выполнения курсовых проектов, выпускных квалификационных работ, а также соответствовать новым требованиям, которые предъявляет молодому специалисту профессиональная практика на рынке труда.

Ключевые слова: цифровизация, информационное моделирование, информационная модель здания, ВІМ-моделирование, 4D-моделирование, междисциплинарные связи, Autodesk Revit, ЛИРА-САПР, САПФИР, Renga, Autodesk Navisworks.

Для цитирования: Сакмарова Л.А., Бахмисова М.А. ВІМ-моделирование как основной инструмент цифровизации образовательных технологий при подготовке кадров строительной отрасли // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 56–62. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-56-62>

L.A. SAKMAROVA, Docent (lara.sakmarova@mail.ru), M.A. BAKHMISOVA, Graduate Student (masha_a94@mail.ru)
Chuvash State University named after I.N. Ulianov (15, Moskovsky Avenue, Cheboksary, 428015, Chuvash Republic, Russian Federation)

BIM Modeling as the Main Tool for Digitalization of Educational Technologies in Training Personnel of the Construction Industry

As part of the digitalization of education and to implement modern requirements in construction, a large amount of new knowledge and skills are required in the field of modern trends in the development of architecture and construction, including knowledge of information modeling technologies. The educational technologies presented in the study make it possible to teach students not only to use the tools of the software package, but also to apply knowledge of BIM modeling technologies at an interdisciplinary level to solve specific problems in the field of architectural design. This approach will improve the quality and reduce the time required for completing course projects and final qualifying works, as well as make it easier to enter the labor market and adapt to any new requirements that professional practice will present to a young specialist.

Keywords: digitalization, information modeling, building information model, BIM modeling, 4D modeling, interdisciplinary communications, Autodesk Revit, LIRA-SAPR, SAPHIRE, Renga, Autodesk Navisworks.

For citation: Sakmarova L.A., Bakhmisova M.A. BIM modeling as the main tool for digitalization of educational technologies in training personnel of the construction industry. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 56–62. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-56-62>

В строительстве как одной из базовых отраслей экономики происходят серьезные структурные изменения. Реализация программ строительства жилья, дорог; создания новых энергетических объектов; реконструкции зданий, сооружений, городских микрорайонов; обеспечения экологической и инженерной безопасности существующих объектов и территорий требует серьезного кадрового обеспечения на основе развития системы подготовки современных и компетентных кадров – специалистов-строителей всех уровней [1–5].

В рамках цифровизации образования и для реализации современных требований в строительстве требуется большой объем новых знаний и умений в области современных тенденций развития архитектуры и строительства, включая владение технологиями информационного моделирования.

ВІМ-технологии (информационное моделирование в строительстве) – новая технология информационного сопровождения объекта. Информационное моделирование зданий уже не первый год активно используется во всем мире. Основным преимуществом

ВМ-технологий является сокращение сроков создания и реализации проекта за счет оптимизации графика, четкого планирования и постоянного мониторинга затрат. В основе технологии лежит трехмерная модель здания, где каждый элемент сооружения связан с информационной базой данных. При изменении какого-либо элемента и т. п. происходит автоматическое изменение остальных связанных параметров и объектов, чертежей, спецификации и визуализаций.

Поэтому в учебном процессе необходимо использование технологий информационного моделирования профессиональной деятельности, рациональное их сочетание с профессиональными дисциплинами для наиболее эффективного обучения [1].

Для перехода строительной отрасли к новым технологиям необходима подготовка квалифицированных кадров. Строительный факультет Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова

Индекс	Наименование	Экзамен	Зачет	Зачет с оценкой	КП	РГР	Акад. час
Блок 1. Дисциплины (модули)							
Обязательная часть							
Б1.О.03	Информационные технологии и основы искусственного интеллекта	1-й сем.				1-й сем.	144
Б1.О.04	Инженерная и компьютерная графика	2-й сем.	1-й сем.			2-й сем.	180
Б1.О.20	Основы архитектуры	3-й сем.				3-й сем.	180
Б1.О.21	Основы архитектуры зданий	4-й сем.			4-й сем.		144
Б1.О.22	Основы строительных конструкций		5-й сем.			5-й сем.	72
Б1.О.19	Водоснабжение и водоотведение		5-й сем.			5-й сем.	108
Б1.О.18	Теплогасоснабжение и вентиляция	6-й сем.				6-й сем.	144
Б1.О.24	Основы организации и управления в строительстве	6-й сем.					144
Б1.О.28	Основы технологии возведения зданий с элементами информационного моделирования	6-й сем.	5-й сем.			6-й сем.	216
Часть, формируемая участниками образовательных отношений							
Б1.В.ДЭ.02.01	Компьютерная графика с применением интеллектуальных систем проектирования		3-й сем. 4-й сем. 5-й сем.			4-й сем.	216
Б1.В.06	Основы архитектурно-конструктивного проектирования	5-й сем.			5-й сем.		144
Б1.В.09	Архитектурно-конструктивное проектирование промышленных зданий	5-й сем.			5-й сем.		144
Б1.В.07	Типология	6-й сем.			6-й сем.		144
Б1.В.15	Презентация проектных решений в архитектурном проектировании		6-й сем. 7-й сем.				144
Б1.В.12	Строительные конструкции	7-й сем.	6-й сем.			7-й сем.	180
Б1.В.01	Компьютерные технологии расчета конструкций зданий		7-й сем.			7-й сем.	144
Б1.В.10	Архитектурно-конструктивное проектирование жилых зданий	7-й сем.			7-й сем.		144
Б1.В.13	Основы градостроительства		8-й сем.			8-й сем.	72
Б1.В.14	Основы реконструкции и реставрации		8-й сем.			8-й сем.	72
Б1.В.11	Архитектурно-конструктивное проектирование общественных зданий	8-й сем.			8-й сем.		180
Блок 2. Практика							
Часть, формируемая участниками образовательных отношений							
Б2.В.02(П)	Производственная практика (исполнительская практика)			6-й сем.			216
Б2.В.03(П)	Производственная практика (проектная практика)			8-й сем.			324
Блок 3. Государственная итоговая аттестация							
Б3.01(Г)	Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена	8-й сем.					108
Б3.02(Д)	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	8-й сем.					216
■ Архитектура ■ Конструкции ■ Технология ■ Компьютерное моделирование ■ Инженерные сети ■ Производственные практики, ВКР							

Рис. 1. Выборка дисциплин учебного плана по программе бакалавриата направления подготовки «Строительство» 08.03.01, направленность (профиль) «Проектирование зданий» ФГБОУ ВО «ЧувГУ им. И.Н. Ульянова» (Чебоксары)

Fig. 1. A selection of disciplines of the curriculum for the bachelor's program of the direction of training "Construction" 03/08/01 focus (profile) "Building Design" FSBEI HE "ChuvSU named after. I.N. Ulyanov" (Cheboksary)

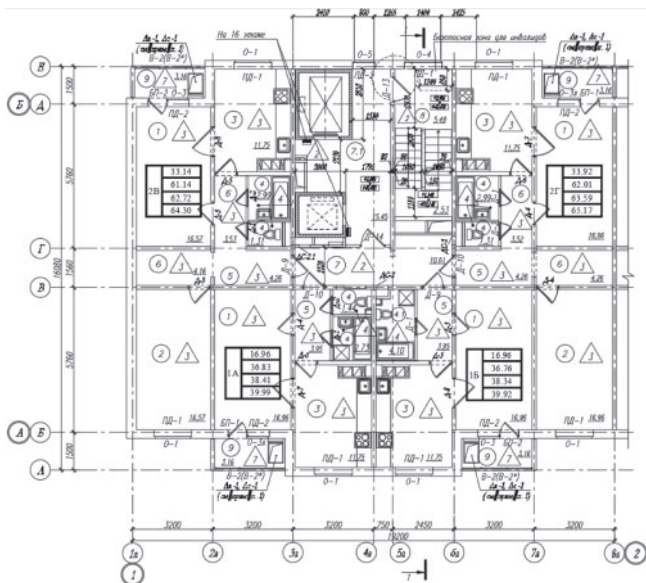


Рис. 2. План секции многоквартирного жилого дома
Fig. 2. Plan of a section of an apartment building

успешно ведет подготовку специалистов в области информационного моделирования зданий.

Учебный план по программе бакалавриата направления подготовки «Строительство» 08.03.01, направленность (профиль) «Проектирование зданий» Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова сформирован с учетом требований ФГОС ВО – бакалавриата по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство». Специалисты кафедры, ориентируясь на профессиональный стандарт 10.008 «Архитектор», определили профессиональные компетенции.

Освоение компетенций, трудовых действий, знаний, умений и навыков производится в результате совместного изучения учебных дисциплин (модулей) и практик (рис. 1).

Учебный план по программе бакалавриата направления подготовки «Строительство» 08.03.01, направленность (профиль) «Проектирование зданий» предусматривает дисциплины (модули), изучение которых предполагает освоение средств информационного моделирования:

– «Информационные технологии и основы искусственного интеллекта», «Инженерная и компьютерная графика». В рамках данных дисциплин студенты осваивают требования национальных стандартов, используя программный комплекс AutoCAD; приобретают начальные навыки выполнения архитектурно-строительных чертежей. Такой подход позволяет студентам в следующих семестрах быстрее осваивать инструменты Autodesk Revit, так как интерфейсы программ очень похожи;

– «Компьютерная графика с применением интеллектуальных систем проектирования», «Презентация

проектных решений в архитектурном проектировании». В рамках данных дисциплин изучаются программные комплексы Autodesk Revit, Renga, Autodesk Navisworks;

– «Компьютерные технологии расчета конструкций зданий». В рамках данной дисциплины изучаются программные комплексы ЛИРА-САПР, САПФИР.

В результате изучения технологий информационного моделирования у студентов будут сформированы следующие умения и навыки:

- создание моделей отдельных элементов зданий;
- информационное моделирование зданий и сооружений;
- редактирование информационных моделей зданий;
- извлечение информации из BIM-моделей зданий;
- редактирование, оформление рабочих чертежей архитектурных и конструктивных решений зданий различного назначения.

В процессе обучения необходимо научить студентов не только пользоваться инструментами программного комплекса, но и на междисциплинарном уровне применять знание технологий BIM-моделирования для решения конкретных задач в области архитектурного проектирования.

Параллельно осваиваются дисциплины профессионального цикла: «Основы архитектуры», «Основы архитектуры зданий», «Архитектура зданий» и т. д., формирующие профессиональные знания в области современных тенденций развития архитектуры гражданских и промышленных зданий в части объемно-планировочных, конструктивных и композиционных решений, основ градостроительства.

Анализ архитектуры жилых зданий различных периодов строительства посредством сравнения типов жилых домов, соотношения квартир по количеству комнат, плотности заселения квартир, в соотношении с демографической структурой населения, проживающего в этих зданиях, выявляет особенности социальных процессов и возникающие проблемы в развитии города, а также определяет общий уровень и состояние развития городской системы [4].

В течение обучения студенты должны выполнить ряд курсовых проектов, расчетно-графических работ по темам «Индустриальные гражданские здания», «Промышленное здание с АБК» и т. д., в которых должны разработать архитектурно-конструктивный проект полносборного крупнопанельного или сборномонолитного здания в соответствии с индивидуальными исходными данными на проектирование.

За счет совместного изучения архитектуры и BIM-технологий параллельно рассматривается проектирование и информационное моделирование элементов здания, что позволяет повысить качество и

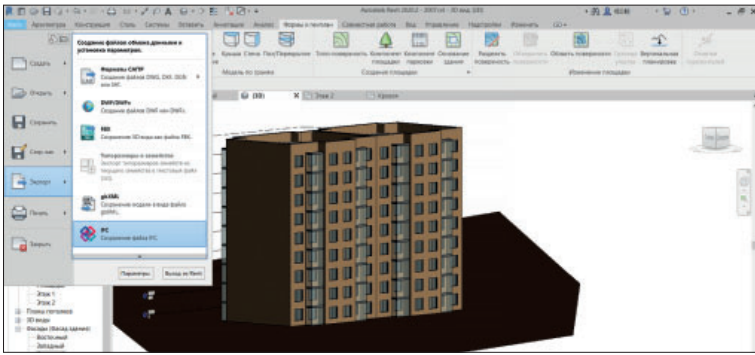


Рис. 3. Модель здания, собранная в Autodesk Revit для дальнейшей работы и расчетов

Fig. 3. Building model assembled in Autodesk Revit for further work and calculations

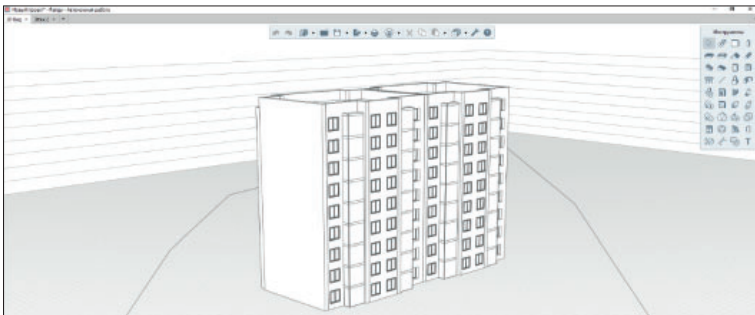


Рис. 4. Модель здания, собранная в Renga для дальнейшей работы и расчетов

Fig. 4. Building model assembled in Renga for further work and calculations

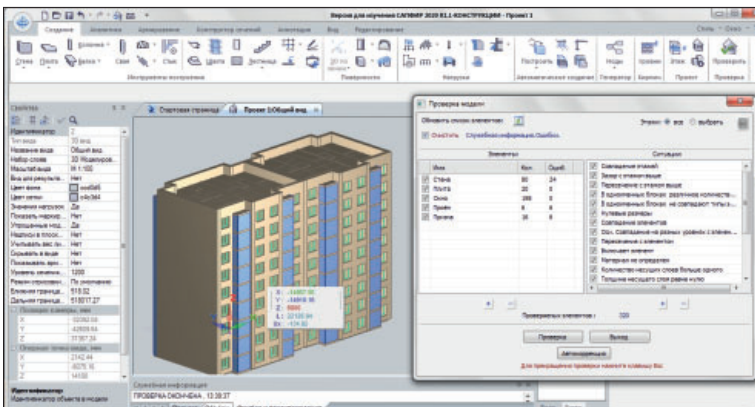


Рис. 5. Модель здания, собранная в САПФИР

Fig. 5. Building model assembled in SAPHIRE

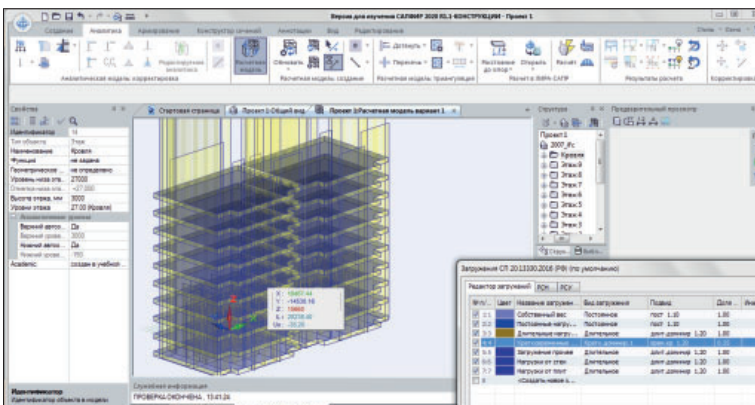


Рис. 6. Модель здания, собранная в САПФИР, и проверка нагрузок

Fig. 6. Building model assembled in SAPHIRE and loading loads checked

сократить сроки выполнения курсовых проектов, реализовать сквозное проектирование при выполнении выпускной квалификационной работы.

На рис. 2 рассмотрен план секции многоквартирного жилого дома со сложной конфигурацией наружных стен, высотой 9 этажей. Форма участков стен из керамического кирпича, керамических и природных камней L-образная и прямая. Расстояние между вертикальными температурно-усадочными швами подобрано по нормам. Данное здание было выбрано в качестве примера, так как тема «Многokвартирные жилые дома» достаточно распространена и предлагается как на курсовое проектирование по дисциплине «Основы архитектурно-конструктивного проектирования жилых зданий», так и на выпускную квалификационную работу бакалавра. Состав ВКР бакалавра подразумевает несколько разделов, таких как: «Архитектура», «Конструкции», «Мероприятия по обеспечению соблюдения требований по энергетической эффективности зданий», «Технология строительного производства», а значит, технология взаимодействия компьютерных программ благодаря возможности BIM-моделирования будет актуальна для студентов и выпускников, а также востребована ими в реальном проектировании и строительстве.

На рис. 3 модель здания, внешний вид здания в процессе моделирования в программном комплексе Autodesk Revit. В здании две секции, соединенные температурным швом, который важно учитывать в процессе проектирования. Также можно отметить, что в данном здании есть опасные участки. К опасным участкам относятся: наружные и внутренние углы здания, участки здания, где идет примыкание перемычки и оконного проема, цоколь.

В рамках обучения идет параллельное изучение программного комплекса Renga. Поэтому для данного исследования и для дальнейших расчетов модель жилого многоквартирного дома также была создана в программе Renga российского ПО, которая поддерживает BIM- и 4D-моделирование, позволяя контролировать все процессы проектирования здания на всех этапах, а также отлично взаимодействует с другими программами (рис. 4). Здесь можно заметить различия интерфейсов обеих программ, но

это не усложняет обучение для студентов в обучении, так как результат и функции программ почти идентичны.

Одним из важных моментов, который нужно учитывать при проектировании ограждающей конструкции, является термическая устойчивость. Термическая устойчивость стены зависит от толщины, типа материала, плотности, а также от теплопроводности и других теплофизических свойств материалов, используемых в конструкции. Был выполнен теплотехнический расчет с учетом неоднородных включений. Стены многослойные. Подобная работа выполняется на втором курсе в рамках учебной дисциплины «Основы архитектуры».

В дисциплинах «Строительные конструкции», «Компьютерные технологии расчета конструкций зданий» изучаются методы расчета и конструирования строительных конструкций. Программами дисциплин предусмотрены расчетно-графические работы, включающие разработку чертежей строительных конструкций.

В процессе моделирования и расчетов необходимо учитывать возможные нагрузки на стену, которые могут возникнуть из-за постоянных и временных нагрузок от людей, оборудования, температурных воздействий и других внешних факторов. Для определения нагрузок выполняется расчет ручным способом и в программных комплексах. После того как модель дома сформирована и все конструктивные элементы размещены, необходимо провести расчеты на прочность, устойчивость и деформацию. Для этого модель удобно экспортировать, переведя в формат .ifc и импортируя ее в САПФИР (рис. 5).

После импорта необходимо обязательно проверить на возможные ошибки данную модель, нажав на «Проверка».

После проверки (рис. 6) необходимо задать загрузки, нагрузки, но так как Revit поддерживает BIM и все конструктивные элементы здания заданы именно в данной программе, то часть загрузений экспортируются в САПФИР автоматически. Также интерфейсы обеих программ похожи между собой и есть возможность добавления недостающих элементов и замены их свойств.

Дальнейшие расчеты выполняются в программе ЛИРА-САПР, соответственно производится экспорт в ЛИРА-САПР всех данных модели (рис. 7).

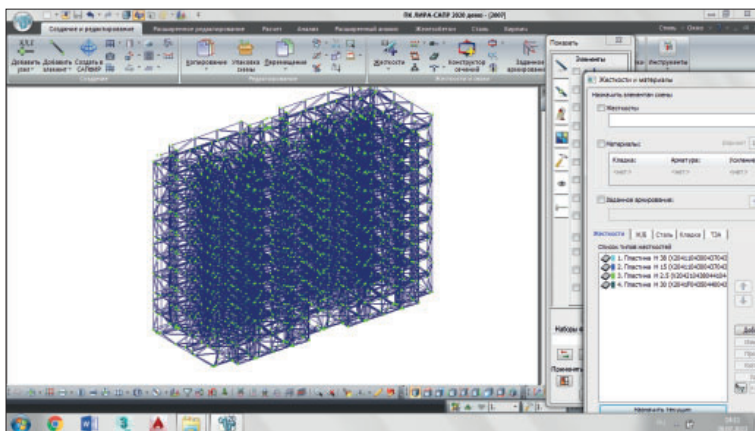


Рис. 7. Импортированная модель здания в ЛИРА-САПР
Fig. 7. Imported building model into LIRA-SAPR

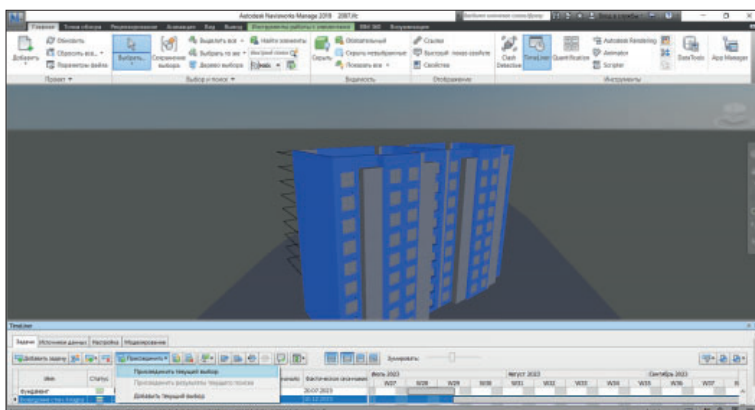


Рис. 8. Процесс присоединения конструктивных элементов здания к задачам в программе для 4D-моделирования
Fig. 8. The process of attaching building components to tasks in 4D modeling software

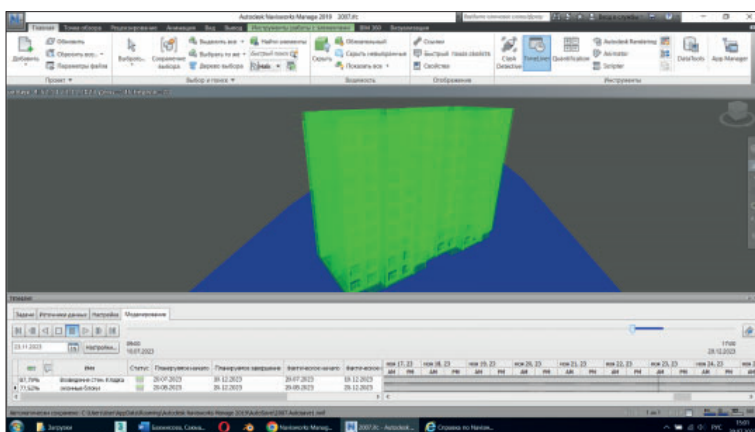


Рис. 9. Процесс возведения здания в программе для 4D-моделирования
Fig. 9. The process of constructing a building in a 4D modeling program

Все жесткости в процессе экспорта переносятся, но загрузки также необходимо корректировать, чтобы не было ошибок в дальнейших расчетах исследуемой модели, так как они экспортируются некорректно.

Особо следует отметить надежность устройства фундаментов. По мнению авторов, предпочтительно использование заглубленных железобетонных



Рис. 10. Команда строительного факультета на финальном этапе студенческой лиги ежегодного Международного строительного чемпионата (World Construction Championship), Казань, 2022
Fig. 10. The team of the Faculty of Construction at the final stage of the Student League of the Annual International Construction Championship (World Construction Championship) Kazan, 2022

конструкций, таких как надежные буроинъекционные сваи ЭРТ [7–12].

После того, как прочность, жесткость, деформация проверены, необходимо переходить в 4D-моделирование. 4D-модели пока встречаются редко, так как только набирают свою силу по сравнению с уже хорошо известными и применяемыми 3D-моделями.

4D-моделирование – это добавление в 3D-моделирование и представление объекта еще одного измерения – времени. Получается наглядная демонстрация строительства объекта с помощью пространственно-временной модели. Обычно разработка 4D-модели проводится во время проектирования. В ней учитывается используемая строительная техника, различные механизмы, места хранения материалов, пути движения техники и рабочих по стройплощадке и т. п.

Основой такой 4D-анимации является 3D-модель, которая возникает по заранее созданному календарному графику проведения работ из последовательно появляющихся элементов.

Дисциплины «Основы организации и управления в строительстве», «Основы технологии возведения зданий с элементами информационного моделирования» предполагают изучение программного комплекса Autodesk Navisworks, где на основе модели из Revit или Renga можно сформировать 4D-модель строительства объекта, разделив все элементы на группы, соответствующие позициям в календарном плане строительства. Затем для групп элементов заполняется время их появления и создается анимация процесса строительства.

На рис. 8 показан процесс назначения задач и присоединения конструктивных элементов. Также предусмотрена возможность подгрузки готовой таблицы в Excel с задачами и сроками. Таким образом, появляется возможность междисциплинарных связей с дисциплинами, связанными с технологией возведения зданий.

На рис. 9 есть возможность увидеть почти завершенный этап возведения здания. В левом верхнем углу обозначено время и дата, а внизу в строке времени можно заметить шкалу (процент) выполнения задачи. Данная технология актуальна в процессе проектирования и качественного строительства.

Команда студентов строительного факультета Чувашского государственного университета впервые и очень успешно приняла участие в финальном этапе студенческой лиги Международного строительного чемпионата (World Construction Championship), проводимого Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации совместно с Государственной корпорацией по атомной энергии «Росатом». Чемпионат проходил 4–9 октября 2022 г. в Казани с целью повышения производительности труда в сфере промышленного строительства. По итогам в ТОП 5 вошли два студента (рис. 10). Все остальные участники команды вошли в ТОП 10. Студенты принимали участие в индивидуальных номинациях: «Информационное моделирование» – Витлейкина Екатерина Андреевна – 5-е место (40,47 балла) (общее количество в данной номинации 18 участников); «Проектирование архитектурно-строительной части» – Григорьев Аркадий Борисович – 5-е место (52,3 балла) (общее количество в данной номинации 16 участников).

Выводы

Развитие BIM-моделирования приведет к повсеместному использованию информационного моделирования как основного инструмента [12].

Овладев технологиями информационного моделирования, выпускник-бакалавр будет соответствовать любым требованиям, которые предъявит ему профессиональная практика на рынке труда [4].

В настоящее время, пока еще ни один из программных продуктов полностью не покрывает потребности всех специальностей при информационном BIM-моделировании, необходимо применять несколько различных САПР для налаживания междисциплинарного взаимодействия: архитектурной, конструкторской, технологической, инженерной, электротехнической и т. д. при проектировании объектов. Все перечисленное возможно только при активном внедрении в учебные программы вузов дисциплин, связанных с BIM-моделированием.

Список литературы

1. Сакмарова Л.А., Бахмисова М.А. Применение BIM-технологий в образовательной среде на примере строительного факультета Чувашского государственного университета // *Жилищное строительство*. 2017. № 10. С. 11–17.
2. Грызлов В.С. Экспертно-индикаторный подход оценки усвоения компетентностей в инженерно-строительном образовании // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 35–39. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-35-39>
3. Познанская С.Г., Кутищев С.А., Резанова И.А. Формирование готовности будущих инженеров-строителей к инновационной деятельности // *Перспективы науки и образования*. 2018. № 2 (32). С. 75–79.
4. Сакмарова Л.А. Ретроспективный анализ развития уровня комфорта жилого фонда г. Чебоксары // *Жилищное строительство*. 2017. № 12. С. 14–19.
5. Сакмарова Л.А. Специфика подготовки выпускников специальности «Проектирование зданий» // *Вестник Чувашского университета*. 2011. № 2. С. 270–275.
6. Соколов Н.С. Технология увеличения несущей способности основания // *Строительные материалы*. 2019. № 6. С. 67–71. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
7. Соколов Н.С., Соколов А.Н., Соколов С.Н., Глушков В.Е., Глушков А.В. Расчет буроинъекционных свай ЭРТ повышенной несущей способности // *Жилищное строительство*. 2017. № 11. С. 20–25.
8. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Опыт восстановления здания Введенского кафедрального собора в городе Чебоксары // *Геотехника*. 2016. № 1. С. 60–65.
9. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н., Федоров П.Ю. Использование буроинъекционных свай ЭРТ в качестве оснований фундаментов повышенной несущей способности // *Промышленное и гражданское строительство*. 2017. № 9. С. 66–70.
10. Соколов Н.С., Никонорова И.В. Строительство и территориальное освоение оползнеопасных склонов Чебоксарского водохранилища // *Жилищное строительство*. 2017. № 9. С. 13–19.
11. Соколов Н.С., Викторова С.С. Исследование и разработка устройства для изготовления буроинъекционных свай ЭРТ // *Строительство: новые технологии – новое оборудование*. 2017. № 12. С. 37–42.
12. Солин С.В., Сакмарова Л.А. Проблемы внедрения информационного моделирования зданий (BIM) в Чувашской Республике и пути их решения. *Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020: Материалы V Международной (XI Всероссийской) конференции. Чебоксары, 25–26 ноября 2020 г.* Чебоксары: ИД «Среда», 2020. С. 47–54.

References

1. Sakmarova L.A., Bakhmisova M.A. Application of BIM-technologies in the educational environment on the example of the building faculty of the Chuvash State University. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 10, pp. 11–17. (In Russian).
2. Gryzlov V.S. Expert-indicator approach to evaluation of learning of competencies in engineering-construction education. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018 No. 9, pp. 35–39. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-35-39>
3. Poznanskaya S.G., Kutischev S.A., Rezanova I.A. Formation of readiness of future ungenerosity to innovative activity. *Perspektivy nauki i obrazovaniya*. 2018. No. 2 (32), pp. 75–79. (In Russian).
4. Sakmarova L.A. Retrospective analysis of the development of the comfort level of the housing stock in Cheboksary. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 12, pp. 14–19. (In Russian).
5. Sakmarova L.A. The specifics of the training of graduates of the specialty "Building Design". *Vestnik of Chuvash University*. 2011. No. 2, pp. 270–275.
6. Sokolov N.S. Technology for increasing the bearing capacity of the base. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 6, pp. 67–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-771-6-67-71>
7. Sokolov N.S., Sokolov A.N., Sokolov S.N., Glushkov V.E., Glushkov A.E. Calculation of flight augering piles of high bearing capacity. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 11, pp. 20–26. (In Russian).
8. Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N. Experience in restoring the building of the Vvedensky Cathedral in the city of Cheboksary. *Geotechnica*. 2016. No. 1, pp. 60–65. (In Russian).
9. Sokolov N.S., Sokolov S.N., Sokolov A.N., Fedorov P.Yu. The use of electric discharge technology bored piles as increased bearing capacity foundations base. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2017. No. 9, pp. 66–70. (In Russian).
10. Sokolov N.S., Nikonorova I.V., Construction and territorial development of landslide slopes of the Cheboksary water reservoir. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2017. No. 9, pp. 13–19. (In Russian).
11. Sokolov N.S., Viktorova S.S. Research and development of a discharge device for the production of a flight augering pile. *Stroitel'stvo: Novye tekhnologii – Novoe oborudovanie*. 2017. No. 12, pp. 37–42. (In Russian).
12. Solin S.V., Sakmarova L.A. Problems of implementing building information modeling (BIM) in the Chuvash Republic and ways to solve them. *Construction and development: life cycle – 2020: Materials of the V International (XI All-Russian) conference, Cheboksary, November, 2020*. Cheboksary: Publishing House "Sreda". 2020, pp. 47–54.



К 70-летию Олега Степановича СУББОТИНА

Олег Степанович Субботин после окончания Новосибирского инженерно-строительного института им. В.В. Куйбышева (ныне – НГАСУ-СИБСТРИН) по специальности «Архитектура» прошел путь от старшего архитектора до главного архитектора проектов. Его архитектурные работы (проекты и постройки) промышленного и гражданского назначения, объекты территориального планирования реализованы как на территории России, так и за рубежом.

С 1992 г. его профессиональная деятельность связана с Краснодарским краем, где Олег Степанович занимал должности главного художника Краснодара, зам. главного архитектора Динского р-на Краснодарского края, главного специалиста Комитета по архитектуре и градостроительству Краснодарского края. В настоящее время д-р архитектуры О.С. Субботин – профессор кафедры архитектуры Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина, председатель государственной экзаменационной комиссии по сдаче государственного экзамена и защите (ВКР) диссертаций аспирантов НГАСУ-СИБСТРИН по направлению подготовки 07.06.01 «Архитектура», член экспертной комиссии научной секции «Современные тенденции архитектурно-градостроительной деятельности» Санкт-Петербургского горного университета. Его практическая и научная деятельность направлена на создание благоприятной среды жизнедеятельности поселений, на устойчивое развитие территорий и сохранение историко-культурного наследия.

Под руководством О.С. Субботина защищены 40 магистерских диссертаций, он автор свыше 400 научных и учебно-методических работ, в том числе 5 монографий, более 100 научных статей в авторитетных научных журналах России, Армении и Белоруссии. Олег Степанович трижды лауреат международного фестиваля «Зодчество» и неоднократно дипломант и лауреат региональных фестивалей.

Олег Степанович много лет является членом редакционного совета журнала «Жилищное строительство». В настоящее время О.С. Субботин – действительный член (академик) Международной академии архитектуры (отделение в Москве) (МААМ); действительный член (академик) Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ), почетный архитектор России, заслуженный архитектор Кубани, член Союза архитекторов России и Союза журналистов России, член краевого научно-методического совета по сохранению объектов культурного наследия.

Редакция журнала «Жилищное строительство», ученики, коллеги сердечно поздравляют Олега Степановича Субботина и желают воплощения творческих замыслов, здоровья, благополучия, дальнейшего плодотворного сотрудничества!

УДК 728.03

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-63-69>

О.С. СУББОТИН, д-р архитектуры (subbos@yandex.ru)

Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина (350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13)

Архитектурно-градостроительные ценности исторической застройки Кубани: на примере г. Краснодара

Раскрыты архитектурные особенности исторической застройки городских и сельских поселений Кубани, а именно г. Краснодара во взаимосвязи с памятниками архитектурного наследия. Выявлены планировочные и композиционные аспекты, характеризующие застройку исследуемого города. Проведен анализ исторически сложившейся градостроительной ситуации Екатеринодара XIX – начала XX в. в контексте архитектурно-градостроительного развития. Рассмотрены основные архитектурные стили и направления, применяемые в архитектуре зданий и сооружений Краснодара. Значительное место уделено екатеринодарским особнякам, принадлежащим купцу В.К. Рубежанскому и инженеру Б.Б. Шарданову, – памятникам архитектуры регионального значения, гармонично вписавшимся в окружающую застройку. Акцентируется внимание на бережном сохранении исторической застройки, архитектурного наследия, ценных градоформирующих зданий и строений.

Практическая значимость исследования определяется возможностью использования материалов статьи при разработке концепции регенерации исторической застройки.

Ключевые слова: историческая застройка, поселение, наследие, стиль, памятник, ценность, структура, потенциал, архитектура.

Для цитирования: Субботин О.С. Архитектурно-градостроительные ценности исторической застройки Кубани: на примере г. Краснодара // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 63–69.
DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-63-69>

O.S. SUBBOTIN, Doctor of Architecture (subbos@yandex.ru)
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (13, Kalinina Street, Krasnodar, 350044, Russian Federation)

Architectural and Town-Planning Values of the Historical Development of Kuban: on the Example of Krasnodar

The architectural features of the historical development of urban and rural settlements of Kuban, namely Krasnodar, in connection with architectural heritage monuments are revealed. The planning and compositional aspects characterizing the development of the studied city are revealed. The analysis of the historically developed town-planning situation of Ekaterinodar in the beginning of the XIX – beginning of the XX century in the context of architectural and town-planning development is carried out. The main architectural styles and trends used in the architecture of buildings and structures of Krasnodar are considered. A significant place is given to the Ekaterinodar mansions belonging to the merchant V.K. Rubezhansky and engineer B.B. Shardanov – architectural monuments of regional significance that harmoniously fit into the surrounding buildings. Attention is focused on the careful preservation of historical buildings, architectural heritage, valuable city-forming buildings and structures. The practical significance of the study is determined by the possibility of using the materials of the article in the development of the concept of regeneration of historical buildings.

Keywords: historical building, settlement, heritage, style, monument, value, structure, potential, architecture.

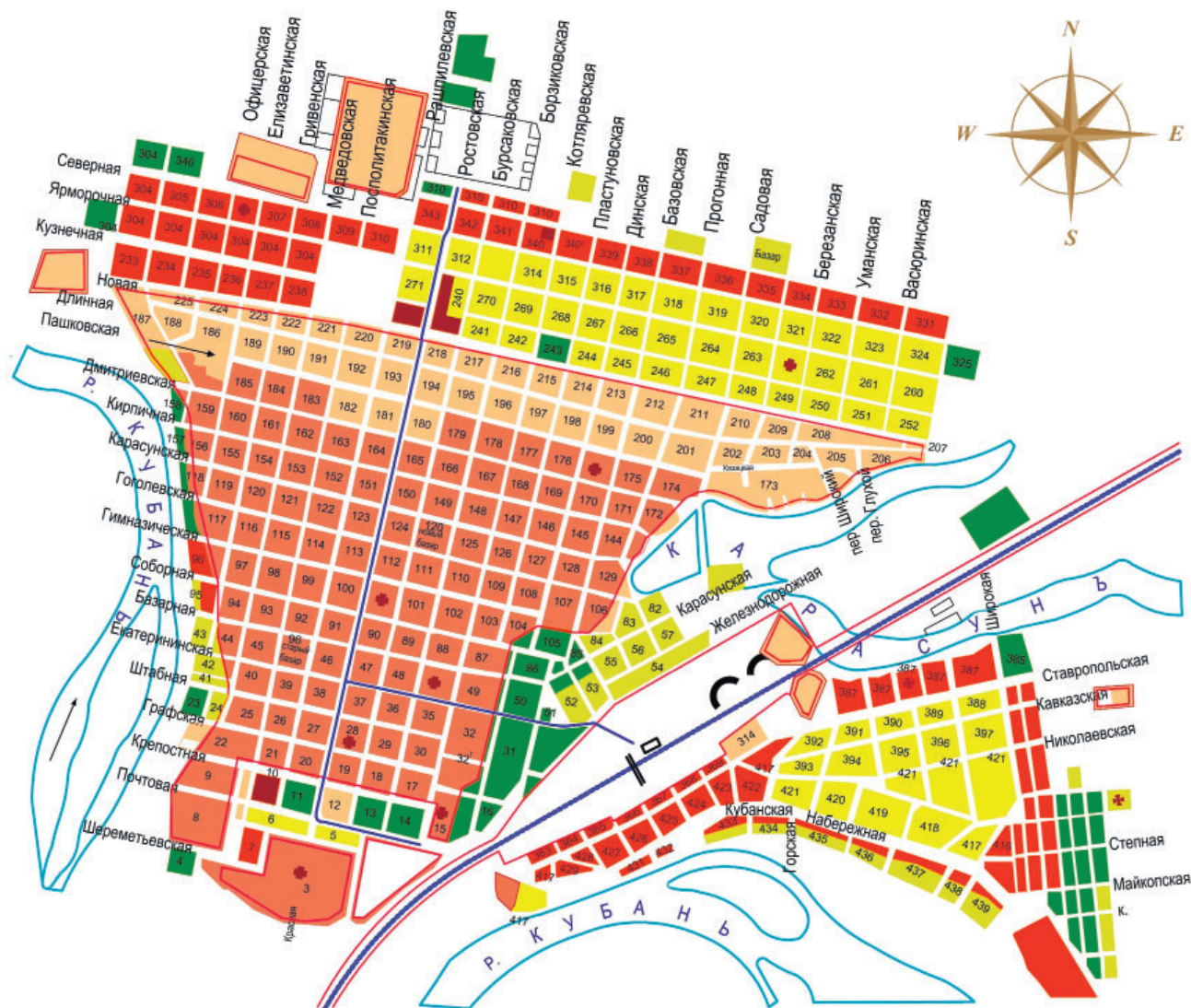
For citation: Subbotin O.S. Architectural and town-planning values of the historical development of Kuban: on the example of Krasnodar. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 63–69. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-63-69>

Историческая застройка города – эволюционная среда в контексте поступательного историко-культурного и социальноэкономического развития территории поселения, включающая градостроительные объекты: здания, сооружения, комплексы, улично-дорожную сеть, а также природный и урбанизированный ландшафты, обладающие при этом пространственной целостностью и формирующие архитектурно-планировочную структуру населенного пункта. В равной мере это фоновая или рядовая застройка, внутриквартальная территория исторической городской ткани, являющаяся источником идентичности и ценности композиционной структуры, объединенной общим архитектурно-художественным решением. Поэтому сохранение целостности и разумного использования исторически ценной застройки – одна из актуальных задач в современной градостроительной практике. *Целью исследования* является выявление ценностных характеристик исторической застройки поселений Кубани. *Задачи исследования:* изучить архивные документы по территориально-пространственной структуре Краснодара в векторе ценностных характеристик; провести ретроспективный анализ исторической застройки г. Екатеринодара до 1910 г.; представить стили и направления, характеризующие архитектуру Краснодара в историческом контексте, на примере памятников архитектурного наследия; обозначить проблемные вопросы в деле сохранения историко-культурного потенциа-

ла. *Методы исследования* включают в себя комплекс общенаучных методов.

Кубань – «уникальная природная и историко-культурная территория» [1]. Историческая застройка городских и сельских поселений Кубани – территория широких возможностей, которая позволяет в достаточной степени познать и оценить богатое архитектурное наследие, расположенное на конкретном, локализованном участке, насладиться благодатной атмосферой культурного потенциала предшествующих поколений. В исторической застройке отмечается преемственность архитектурно-планировочной структуры населенного места, его объемно-пространственная целостность, сбалансированность и гармонизация функционального зонирования. «Историческое и художественное своеобразие городов складывается благодаря особым условиям развития (ландшафтная ситуация), специфике планировки и композиции самого города и его застройки» [2], и в данном отношении Краснодар не является исключением.

Основанный как войсковой град Екатеринодар (с 1920 г. – Краснодар) является одним из шести исторических поселений регионального значения. В настоящее время на территории Краснодара сохранилось свыше трехсот памятников архитектуры, значительная часть которых находится в исторической части города. Особый интерес представляют исторически ценные градоформирующие объекты,



Условные обозначения









- | | | | |
|---|--|---|--|
|  | Композиция исторически сложившихся кварталов – 1819 г. |  | Композиция исторически сложившихся кварталов – 1870 г. |
|  | Композиция исторически сложившихся кварталов – 1848–1867 гг. |  | Композиция исторически сложившихся кварталов – 1880 г. |
|  | |  | Композиция исторически сложившихся кварталов – 1890 г. |
|  | Композиция исторически сложившихся кварталов – 1867–1870 гг. |  | Композиция исторически сложившихся кварталов – 1900 г. |

Рис. 1. Ретроспективный анализ исторических планов г. Екатеринодара с 1819 по 1907 г. Рисунок автора
Fig. 1. Retrospective analysis of the historical plans of Ekaterinodar from 1819 to 1907. The author's drawing

самобытные здания и сооружения народного зодчества, расположенные в живописных кубанских дворах. Главным принципом исторической застройки является четкая прямолинейность улиц, ориентированных в географическом направлении по отношению к странам света с юга на север и с запада на восток; соразмерность кварталов, имеющих квадратную

форму. Улица Красная является «одной из основных пространственных осей» [3], объединяющих кварталы в единое целое.

Примером может служить проведенный ретроспективный анализ пространственно-планировочной структуры Екатеринодара в исторический период с 1819 по 1907 г. На сводном плане (рис. 1) представ-



Рис. 2. Екатеринодар. Общий вид. Вид с балкона Зимнего театра. Ул. Красная – от Гимназической до Гоголя, 1910-е гг. [5]

Fig. 2. Ekaterinodar. General view. View from the balcony of the Winter Theater. Krasnaya Street – from Gymnasium to Gogol, 1910s



Рис. 3. Особняк В.К. Рубежанского. Фасад по ул. Коммунаров, начало XXI в. Фото автора

Fig. 3. The mansion of V.K. Rubezhansky. Facade on Kommunarov Street, the beginning of the XXI century. Photo of the author

лены хронологические периоды формирования композиции исторически сложившихся кварталов в форме прямоугольника, в контексте градостроительного и природного окружения с учетом элементов планировочной структуры города и «подчиненных единому пространственному решению» [4].

Учитывая данные факты, совершенно очевидно, что ценностными характеристиками исторической застройки Екатеринодара (Краснодара) являются объекты архитектурного наследия в композиционной взаимосвязи с окружающим пространством и природным ландшафтом. Гармоничные соотношения целостности различных декоративных элементов, выра-

зительная цветовая палитра фасадов зданий создают благоприятную и комфортную среду жизнедеятельности, позволяют постичь историчность архитектуры с позиции понимания зодчества как уникального памятника культуры. Вместе с тем в четкой и правильной исторической застройке отмечается продуманность и взвешенность стратегии, конструктивная логика архитектурных решений, градостроительных ориентиров, стилистических приемов определенного времени, а также соответствующее озеленение территории. Архитектурно-градостроительная ценность обуславливает большую значимость градоформирующих объектов в исторической городской застройке



Рис. 4. Фрагмент верхней части левого углового ризалита особняка В.К. Рубежанского. Рисунок автора

Fig. 4. Fragment of the upper part of the left corner risalit of the mansion of V.K. Rubezhansky. The author's drawing

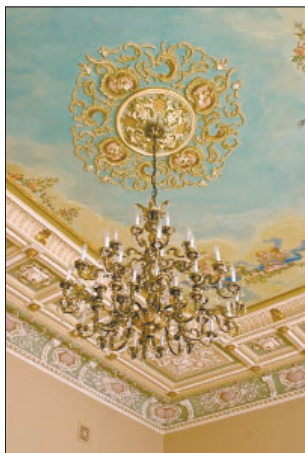


Рис. 5. Фрагмент росписи потолка особняка В.К. Рубежанского. Коллекция ГБУК КК «КГИИМЗ им. Е.Д. Фелицына»

Fig. 5. A fragment of the ceiling painting of the mansion of V.K. Rubezhansky



Рис. 6. Екатеринодар. Картинная галерея. Начало XX в. [7]

Fig. 6. Ekaterinodar. Art gallery. The beginning of the XX century [7]

вследствие визуального восприятия окружающего пространства с различных точек обзора. В композиционном отношении историческими доминантами и ценными градоформирующими объектами в Краснодаре являлись культовые сооружения, гармонично сочетающиеся с городским пространством (рис. 2).

Архитектурный облик исторической застройки, своеобразии которой формирует градостроительную ткань Краснодара, несомненно обладает художественной ценностью, является уникальным генетическим кодом, выраженным в пространственных формах. Богатейший культурный потенциал данной застройки во многом способствует преемственности в контексте дальнейшего целенаправленного развития города, с учетом сохранения культурных образцов, в процессе взаимодействия старого и нового, особенно в условиях реконструкции, воссоздания, а также насыщения исторической пространственной среды. При этом должна быть проведена большая научно-исследовательская работа, определяющая стратегию архитектурно-градостроительного развития.

Примечательно, что если с момента основания г. Краснодара (1793 г.) данное поселение служило местом исключительно для дислокации военного казачьего формирования в целях защиты южных рубежей Российского государства, то после утверждения положения «О заселении и управлении г. Краснодара» в 1867 г. (ПСЗ. Собр. 2. Т. XLII. Отд. 1. 1867. От 44078–44894. № 44504. СПб.: «Изд-во «Типография II Отдѣленія Собственной Его Императорскаго Величества Канцеляріи», 1871. С. 514–516) и в связи с введением гражданского управления предоставляется возможность селиться штатскому населению, представителям разных сословий. На смену турлучным хатам состоятельные граждане начинают строить роскошные каменные здания. В начале XX в. в центральной части города были построены благоустроенные городские дома: братьев К.П. и Х.П. Богарсуковых (1900–1901), Б.Б. Шарданова (1905), В.К. Рубежанского (1908) и другие здания жилого назначения.

В стиливом решении фасадов краснодарских зданий представлены различные стили и направления – барокко и классицизм, модерн и эклектика и др., формировавшиеся в определенные исторические периоды. Ансамблевость сохранившейся до настоящего времени исторической застройки Краснодара во многом определяет художественно-эстетический облик центральных улиц. В основном по периметру кварталов сохранились объекты, построенные в XX в. с разнообразными архитектурными элементами фасада: это ризалиты, эркеры, портики, колонны, балконы с изящными балясинами, карнизы,

сандрики, декоративные элементы и др. Так, например, использование ризалита в конструкции фасада, разбивающего плоскость строения на определенные объемы, не только способствовало устойчивости объекта, но и одновременно придавало ему воздушную изящность. Объективным подтверждением данного факта является построенный в 1908 г. особняк купца В.К. Рубежанского, расположенный по ул. Борзиковской (Коммунаров) в центральной части Краснодара (рис. 3).

Двухэтажный особняк, выполненный в стиле модерн с роскошными башенками и лаконичными шпилями, рельефными каменными зубцами на фасадах и другими декоративными элементами, являлся блистательным украшением четырнадцатого «респектабельного» квартала. Важным экстерьерным акцентом является балкон над входной частью в превосходном сочетании с архитектурной композицией дома. Кровля левого углового ризалита облицована гребенчатыми железными пластинами и завершена высоким флюгером, кованным из металла, который в полной мере придавал зданию респектабельный вид (рис. 4).

Оконные проемы фасада, выходящего на ул. Коммунаров, с полуциркульными и полукруглыми в ризалитах перемычками, оформлены наличниками в виде пилястр композитного ордера и декоративными обрамлениями с лепными гирляндами и замковыми камнями и профилированными карнизами с щипцами между ризалитами. Оконные проемы южного фасада – прямоугольные с рамочными наличниками с ушками и такими же горизонтальными профилированными карнизами.

Наряду с роскошной парадностью архитектурного облика особняка в интерьерах помещений



Рис. 7. Особняк Б.Б. Шарданова (ныне – ГБУККК ККХМ им. Ф.А. Коваленко). Фасад по ул. Красной, начало XXI в. Фото автора

Fig. 7. The mansion of B.B. Shardanov (now – GBUKCKK KKHМ named after F.A. Kovalenko). Facade on Krasnaya Street, the beginning of the XXI century. Photo of the author



Рис. 8. ГБУК ККХМ им. Ф.А. Коваленко. Верхняя часть круглого ризалита с башенкой. Рисунок автора
Fig. 8. GBUK KKHМ named after F.A. Kovalenko. The upper part of a round risalite with a turret. The author's drawing

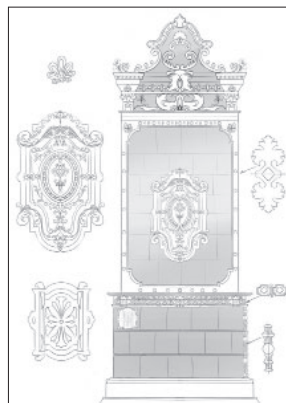


Рис. 9. Декорированная голландская печь в особняке Б.Б. Шарданова. Рисунок автора
Fig. 9. Decorated Dutch oven in the mansion of B.B. Shardanov. The author's drawing

широко использовались художественные приемы в декоративном убранстве, различные живописные природные рисунки, применялась цветовая палитра с гармоничной гаммой для создания комфортной атмосферы, а именно сочетания красоты и спокойствия (рис. 5). «Штукатурные потолки и фризы украшались с большим вкусом и умением лепными орнаментами» (Флетчер Б., Флетчер Б.Ф. История архитектуры, составленная по сравнительному методу: В 3 т. / Пер. с англ. Р. Бекер. 1911–1913. Т. III. Архитектура Возрождения в Западной Европе и архитектурные стили Востока. СПб.: Изд. переводчика, 1914. 716 с.).

До настоящего времени сохранились лепные карнизы с богатым и содержательным декором; аналогичные карнизы присутствуют и на лестничной клетке, ограждения которой выполнены из кованого металла и прекрасно выглядят в интерьере. В архитектуре особняка отчетливо наблюдается гармоничность фасадного облика с интерьером помещений связанных единым художественным решением.

Особняк железнодорожного инженера Б.Б. Шарданова, расположенный на пересечении улиц Красной и Графской (ныне – ул. Советская. – Авт.), построен в 1905 г. по собственным эскизам владельца и за время своего существования зданию не один раз менял свое название – Картинная галерея (1907); Художественный музей им. А.В. Луначарского (1924), Краснодарский краевой художественный музей им. Ф.А. Коваленко (1993). Здание было построено из кирпича краснодарского предпринимателя Л.Н. Трахова. Особняк представляет собой симметричную постройку с двумя равнозначными фасадами с выступающими ризалитами (рис. 6–7). Первоначально в доме «располагались торговые помещения, рабо-

тали высшие женские курсы «для приготовления учительниц изящного рукоделия» для учебных заведений» [6].

В архитектурном решении фасадов особо следует отметить круглый ризалит с башенкой, увенчанной «луковичной главой» [8] с чешуйчатым покрытием (рис. 8).

В декоративной отделке второго этажа преобладают узорчатые архитектурные элементы, роскошный скульптурный рельеф, состоящий из многочисленных цветочных гирлянд и выпуклых барельефных орнаментов в виде человеческого лица. Наряду с этим дверные и оконные полотна данного этажа

фланкированы фигурками крылатых львиц. Балконы опираются на живописные кронштейны, украшенные резным декором.

Архитектурное решение помещений и их внутреннее убранство также осуществлялись по эскизам Б.Б. Шарданова. Несмотря на использованный разнообразный архитектурный стиль, в отделке жилых и общих помещений отмечается единый художественно-эстетический образ благоустроенного дома, украшенного фресковыми росписями и декоративной резьбой. В большом зале потолок выполнен в стиле барокко. Пролеты внутренней лестницы, ведущей на второй этаж, богато украшены различными росписями, ажурной резьбой по гипсу и искусной лепниной. Сохранились идеально орнаментированные голландские печи, выполняющие не только основную бытовую функцию, но и служащие богатым украшением интерьера (рис. 9). Вместе с тем «сохранена принципиальная структура и масштаб внутреннего пространства» [9].

Заключение. Памятники архитектурного наследия, уникальные градоформирующие объекты Краснодара олицетворяют собой культурную ценность исторической застройки, а также окружающей ее среды, гармонично взаимодействуя друг с другом. Наряду с этим они представляют собой главную достопримечательность и украшение города. Примечательной особенностью исторических архитектурных объектов являются городские дома, увенчанные ризалитами с куполами в форме луковок, большей частью с чешуйчатым покрытием; лепные украшения на фасадных стенах; надкрыльчатые кованые декоративные козырьки с замысловатым узором, а также красивые балконы с металлическим ограждением со стилизованным растительным орнаментом.

Таким образом, своеобразие исторической застройки городов Кубани в региональном контексте обусловлено градостроительными объектами в процессе их визуального восприятия в архитектурно-пространственной композиции поселений. Фактически данные объекты, обладающие неоспоримой ценностью исторической планировки, гармонично формируют выразительный силуэт населенных пунктов и их обширных панорам, в том числе ансамбли центральных улиц и градостроительную композицию площадей.

Одновременно архитектурно-градостроительная ценность исторической застройки фиксирует сложившиеся элементы планировочной структуры и служит критерием при принятии выверенных решений по перспективному развитию города. Изучение особенностей застройки способствует выявлению культурно-исторического потенциала городской среды – «совокупности разноплановых объектов» [10]. Обеспечение сохранности аутентичной застройки – важнейший фактор в деле создания комфортной среды жизнедеятельности, увековечение исторической памяти, доверенной предками для передачи будущему поколению. Следовательно, историческую застройку с полным основанием можно признать генетическим кодом архитектурно-планировочной структуры города.

Список литературы

1. Субботин О.С. Народная архитектура традиционного кубанского жилища // *Жилищное строительство*. 2012. № 8. С. 18–22.
2. Вавилонская Т.В. Стратегия обновления архитектурно-исторической среды. Самара: Самарск. гос. арх.-строит. ун-т, 2008. 368 с.
3. Шумилкин С.М., Шумилкин М.С. Сохранение исторического комплекса Нижегородской ярмарки в Нижнем Новгороде // *Приволжский научный журнал*. 2023. № 2 (66). С. 160–166.
4. Subbotin O.S. Architectural and planning principles of organization and reconstruction of coastal areas // *Materials Science Forum*. 2018. Т. 931. С. 750–753.
5. Кубань старозаветная / Авт.-сост. Б.Н. Устинов (фото), П.С. Макаренко (текст). Краснодар: Традиция, 2012. 324 с.
6. Шахова Г.С. Краснодарская улица Красная: книга об истории главной улицы Краснодара. Краснодар: Краснодар. известия, 1997. 132 с.
7. Бардадым В.П. Архитектура Екатеринодара. Краснодар: Изд. Ю.Ю. Лебедев, 2009. 400 с.
8. Субботин О.С. История архитектуры православных храмов Черноморского побережья России // *Жилищное строительство*. 2013. № 8. С. 18–22.
9. Шумилкин А.С. Концепция реставрации архитектурного наследия в России XX–XXI вв. Н. Новгород: ННГАСУ, 2021. 346 с.
10. Subbotin O.S. Cultural and historical potential of the urban environment (regional aspect). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 775 (1). 012036. DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012036

References

1. Subbotin O.S. Folk architecture of the traditional Kuban dwelling. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 8, pp. 18–22. (In Russian).
2. Vavilonskaya T.V. Strategiya obnoveniya arkhitekturno-istoricheskoy sredy: monografiya. [Strategy for updating the architectural and historical environment: monograph]. Samara: Samarsk. state arch.-build. un-t. 2008. 368 p.
3. Shumilkin S.M., Shumilkin M.S. Preservation of the historical complex of the Nizhny Novgorod fair in Nizhny Novgorod. *Privolzhskiy nauchnyy jurnal*. 2023. No. 2 (66), pp. 160–166. (In Russian).
4. Subbotin O.S. Architectural and planning principles of organization and reconstruction of coastal areas. *Materials Science Forum*. 2018. Vol. 931. C. 750–753.
5. Kuban' starozavetnaya. [Kuban Old Testament]. Ed.-comp. B.N. Ustinov (photo). P.S. Makarenko (text). Krasnodar: Tradition. 2012. 324 p.
6. Shakhova G.S. Krasnodarskaya ulitsa Krasnaya: kniga ob istorii glavnoy ulitsy Krasnodara. [Krasnodar street Krasnaya: a book about the history of the main street of Krasnodar]. Krasnodar: Krasnodar. Izvestiya. 1997. 132 p.
7. Bardadym V.P. Arkhitektura Ekaterinodara. [Architecture of Ekaterinodar]. Krasnodar: Ed. Yu.Yu. Lebedev. 2009. 400 p.
8. Subbotin O.S. The history of the architecture of Orthodox churches on the Black Sea coast of Russia. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2013. No. 8, pp. 18–22. (In Russian).
9. Shumilkin A.S. Kontseptsiya restavratsii arkhitekturnogo naslediya v Rossii XX–XXI vv.: monografiya. [The concept of restoration of architectural heritage in Russia in the XX–XXI centuries: monograph]. Nizhny Novgorod: NNGASU. 2021. 346 p.
10. Subbotin O.S. Cultural and historical potential of the urban environment (regional aspect). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. 775 (1). 012036. DOI: 10.1088/1757-899X/775/1/012036

УДК 697.921.45

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-70-76>Н.А. ЛИТВИНОВА¹, канд. техн. наук (litvinovana@tyuiu.ru);
В.Н. АЗАРОВ², д-р техн. наук (azarovpubl@mail.ru)¹ Тюменский индустриальный университет (625005, г. Тюмень, ул. Володарского, 38)² Волгоградский государственный технический университет (400005, г. Волгоград, ул. Академическая, 1)

Эффективность работы стеновых клапанов приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха в многоквартирных жилых зданиях

Представлены результаты исследования эффективности работы стеновых клапанов приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха при внедрении в многоэтажном строительстве жилых зданий. По мере загрязнения сорбционных фильтров коэффициент аэродинамического сопротивления увеличивается с 30 сут на 90–120 сут в 1,3 раза, разница давления более 2 Па на 90–120 сут (3–4 мес). В зависимости от степени загрязнения приточного воздуха необходимо производить замену сорбентов при различной интенсивности расположенных магистралей вблизи зданий: свыше 2000 авт./ч – после 30 сут; до 1000 авт./ч – после 56–60 дней; свыше 500 авт./ч – 90 дней с наветренной стороны, 120 дней с подветренной стороны. Средний срок службы сорбентов для наветренной стороны фасада зданий установлен 90 сут (3 мес), с подветренной стороны – после 120 сут (4 мес). Построены поля температуры поверхностей ограждающих конструкций при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в течение 1 ч и при закрытых клапанах. При регулировании расхода приточного воздуха от 55–120 м³/ч с помощью блока управления клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в разные периоды года происходит снижение потерь тепла на подогрев приточного воздуха радиаторами отопления в 2,5–3 раза.

Ключевые слова: клапаны, газообразные загрязнители, аэродинамическое сопротивление воздуха, толщина слоя, масса, сорбенты, эффективность очистки.

Для цитирования: Литвинова Н.А., Азаров В.Н. Эффективность работы стеновых клапанов приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха в многоквартирных жилых зданиях // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 70–76. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-70-76>

N.A. LITVINOVA¹, Candidate of Sciences (Engineering) (litvinovana@tyuiu.ru);
V.N. AZAROV², Doctor of Sciences (Engineering) (azarovpubl@mail.ru)¹ Tyumen Industrial University (38, Volodarsky Street, Tyumen, 625005, Russian Federation)² Volgograd State Technical University (1, Akademicheskaya Street, Volgograd, 400005, Russian Federation)

Efficiency of Operation of Wall Valves for Supply Forced Ventilation with Air Purification in Multi-Apartment Residential Buildings

The results of studies of the efficiency of the wall valves of supply forced ventilation with air purification when implemented in multi-storey construction of residential buildings are presented. As sorption filters become polluted, the aerodynamic drag coefficient increases from 30 days to 90–120 days, by 1.3 times, the pressure difference is more than 2 Pa for 90–120 days (3–4 months). Depending on the degree of pollution of the supply air, it is necessary to replace sorbents at different intensities of highways located near buildings: over 2000 auth./h – after 30 days, up to 1000 auth./h – after 56–60 days; over 500 auth./h – 90 days upwind, 120 days downwind. The average service life of sorbents for the windward side of the facade of buildings is 90 days (3 months), from the leeward side – after 120 days (4 months). The temperature fields of the surfaces of enclosing structures are constructed during the operation of supply ventilation valves with air purification for 1 hour and with the valves closed. When regulating the supply air flow rate from 55–120 m³/h using the supply ventilation valve control unit with air purification in different periods of the year, the heat loss for heating the supply air with heating radiators is reduced by 2.5–3 times.

Keywords: valves, gaseous pollutants, aerodynamic air resistance, layer thickness, mass, sorbents, purification efficiency.

For citation: Litvinova N.A., Azarov V.N. Efficiency of operation of wall valves for supply forced ventilation with air purification in multi-apartment residential buildings. *Zhilyshchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 70–76. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-70-76>

В настоящее время для улучшения воздухообмена в помещениях на каждом этаже устанавливаются клапаны естественной вентиляции различных производителей. Но работа приточных устройств естественной вентиляции может быть нестабильна, осо-

бенно в холодный период года [1]. Температура точки росы достигается на внутренних поверхностях приточных устройств в связи с тем, что холодный воздух сталкивается с теплым при нарушении работы вытяжной вентиляции и отсутствии обратных клапанов. Для

регулирования воздухообмена, отвечающего нормативным требованиям жилого помещения, необходимо предусмотреть клапаны приточной принудительной вентиляции с дополнительной очисткой воздуха от органических и неорганических газообразных загрязнителей атмосферного воздуха. При этом будет возможно регулировать расход воздуха по сезонам года и предотвратить столкновение холодного воздуха и теплого внутри конструкции приточного устройства с очисткой воздуха от внешних источников выброса, в том числе от вентиляционных выбросов [2–4].

В настоящее время для обеспечения притока воздуха используют клапаны с ручным регулированием [5]. Однако потребитель не знает, когда и сколько необходимо подать приточного воздуха, особенно в случае загрязнения наружного воздуха газообразными загрязнителями от выбросов автотранспорта и точечных источников [6–8]. В связи с этим разработано программное обеспечение к клапану приточной вентиляции с очисткой воздуха, позволяющее исходя из производительности вентилятора, типа сорбента внутри приточного устройства обосновать фактический расход воздуха в помещении и достигнуть требуемой эффективности его очистки, подобрать необходимую толщину сорбентов и их массу в зависимости от метеорологических условий снаружи и степени загрязнения атмосферного воздуха.

Цель проведенных исследований – провести оценку эффективности работы стеновых клапанов приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха при внедрении в многоэтажном строительстве жилых зданий.

Задачи работы:

1. Измерить экспериментально расход воздуха через разработанные стеновые приточные клапаны с очисткой воздуха в зависимости от разницы давлений с учетом толщины и массы сорбентов (цеолит, шунгит) фильтров.
2. Экспериментально измерить давление до и после сорбционных фильтров приточного устройства с очисткой воздуха с наветренной и подветренной сторон зданий.
3. Установить продолжительность действия сорбентов в фильтрах клапанов.
4. Внедрить разработанную конструкцию стеновых клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в многоквартирное жилищное строительство.

Материалы и методы исследования

Измерения концентраций газообразных загрязнителей на входе и выходе из клапанов приточной вентиляции проводились в теплый и холодный периоды года в многоэтажных жилых зданиях до 18 этажей с наветренной и подветренной сторон от внешних источ-

ников выброса. По результатам экспериментальных исследований получены значения эффективности работы стеновых приточных клапанов с очисткой воздуха в зданиях в условиях юга и севера Западной Сибири.

Проведены аэродинамические испытания конструкции приточных клапанов с очисткой воздуха помещений, измерен экспериментально расход воздуха через клапаны в зависимости от разницы давлений с учетом толщины и массы сорбентов (цеолит, шунгит) фильтров.

Произведено измерение расхода приточного воздуха в различные периоды года с помощью измерения скорости движения воздушного потока электронным анемометром testo 425 и площади поперечного сечения воздуховода.

Экспериментально измерено давление ΔP с помощью цифрового манометра testo 511 до и после сорбционных фильтров (шунгит, цеолит) разработанного приточного устройства с очисткой воздуха с наветренной и подветренной сторон зданий, что позволило установить продолжительность действия сорбентов в фильтрах клапанов.

Коэффициент аэродинамического сопротивления ξ в приточных клапанах с очисткой воздуха определялся при различном давлении и скорости воздушного потока по формуле (1):

$$\xi = \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot V^2}, \quad (1)$$

где ΔP – потери давления, кПа; ρ – плотность воздуха, кг/м³; V – скорость движения воздуха в воздуховоде клапанов, м/с.

Результаты и обсуждение

Предложены рекомендации по улучшению работы приточных клапанов с очисткой воздуха многоквартирных зданий.

На рис. 1 изображен разработанный стеновой клапан приточной вентиляции с очисткой воздуха, на который получен патент на изобретение [9]. Стеновой клапан приточной вентиляции с очисткой воздуха состоит из пластиковой трубы 1 с минимальным диаметром 100 мм, длиной до 1000 мм. По длине круглый воздуховод (труба 1) подрезается в зависимости от толщины наружной стены 2. Для тепло- и шумоизоляции труба 1 обернута изолоном фольгированным 12, толщина материала составляет 5 мм. Пластиковая труба 1 устанавливается в наружную стену здания 2. Со стороны В трубы 1 внутри помещения устанавливается пластиковый оголовок 4 прямоугольной формы размером 200×200 мм с щелями 5 (рис. 1). Поступающий наружный воздух в помещение очищается в следующей последовательности со стороны А (рис. 1) в соответствии с последовательно расположенными сорбционными фильтрами внутри оголовка 4 прямоугольной формы с щелями 5: первый сорбционный

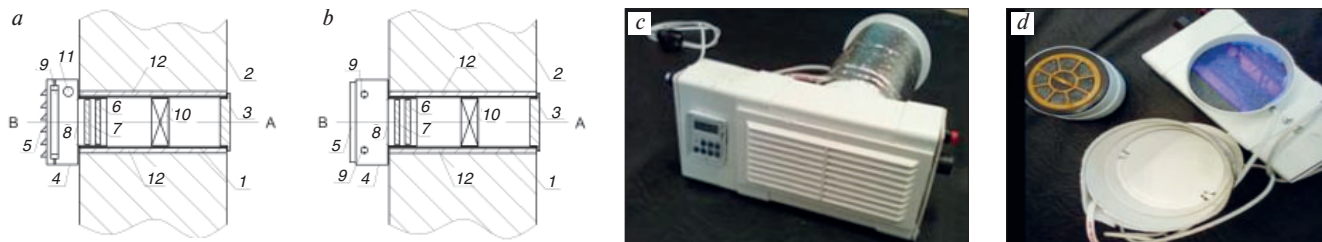


Рис. 1. Стеновой приточный клапан принудительной вентиляции с очисткой поступающего воздуха: *a* – А–А – вертикальный разрез; *b* – вид сверху: 1 – круглая ПВХ труба (воздуховод); 2 – стена наружная; 3 – решетка; сетка до 1 мм; 4 – пластиковый прямоугольный оголовок; 5 – щели; 6 – фильтр сорбционный: шунгит (размер фракций 1 мм); 7 – фильтр сорбционный: цеолит (размер фракций от 1–3 мм); 8 – пластина диоксида титана (TiO_2); 9 – две ультрафиолетовые лампы, длина волны 365 нм, 6 Вт; 10 – электровентилятор; 11 – регулятор оборотов с выключателем + программатор; 12 – тепло- и шумоизоляция (изолон фольгированный); *c*, *d* – общий вид клапана

Fig. 1. Wall supply valve of forced ventilation with cleaning of incoming air: *a* – А–А vertical incision; *b* – top view: 1 – round PVC pipe (duct); 2 – external wall; 3 – grid; mesh up to 1 mm; 4 – plastic rectangular head; 5 – slots; 6 – sorption filter: shungite (fraction size 1 mm); 7 – sorption filter: zeolite (fraction size from 1–3 mm); 8 – titanium dioxide plate (TiO_2); 9 – 2 ultraviolet lamps, wavelength 365 nm, 6 W; 10 – electric fan; 11 – speed controller with switch + programmer; 12 – heat and noise insulation (foil insulated); *c*, *d* – general view of the valve

фильтр с шунгитом 6 (размер фракций 1 мм), высота слоя 20 мм; второй сорбционный фильтр 7 с цеолитом (размер фракций 1–3 мм), высота слоя 20 мм; третий – фотокаталитический фильтр (пористая пластина 8 – диоксида титана (TiO_2), фотокатализатора и две ультрафиолетовые лампы 9, длина волны 365 нм, 6 Вт каждая УФ-лампа (рис. 1, *b*).

Приточные устройства с регулируемым воздухообменом и очисткой воздуха (рис. 1) следует располагать над отопительным прибором с целью образования конвективной неизотермической струи, стремящейся вниз помещения.

Результаты экспериментальных исследований показали, что по мере загрязнения сорбционных фильтров коэффициент аэродинамического сопротивления ξ возрастает с наветренных сторон зданий. К примеру, для зданий рядом с магистралями свыше 2000 авт./ч – с наветренной стороны на 30 сут, с подветренной – через 40 сут; до 1000 авт./ч – с наветренной стороны – 56 дней; с подветренной – 100 сут; 500 авт./ч – 90 дней с наветренной стороны, 120 дней с подветренной стороны.

На рис. 2 представлена разность давлений ΔP до загрязнения фильтров приточных клапанов: через 90; 120 сут при высоких концентрациях загрязнителей в наружном воздухе (свыше 2-ЗПДК_{сс}).

По мере загрязнения сорбентов фильтров (рис. 3) коэффициент аэродинамического сопротивления ξ увеличивается с 30 на 90 сут в 1,3 раза, разница давление более 2 Па на 120-е сутки (3–4 мес).

Представлены результаты экспериментальных измерений разности давлений внутри клапанов приточной вентиляции при различных расходах приточного воздуха устройства (рис. 4) и получен коэффициент аэродинамического сопротивления воздуха стеновых клапанов приточной вентиляции от расхода приточного воздуха (рис. 5).

По уравнению Я.Б. Зельдовича определена избыточная температура и скорость движения воздуха

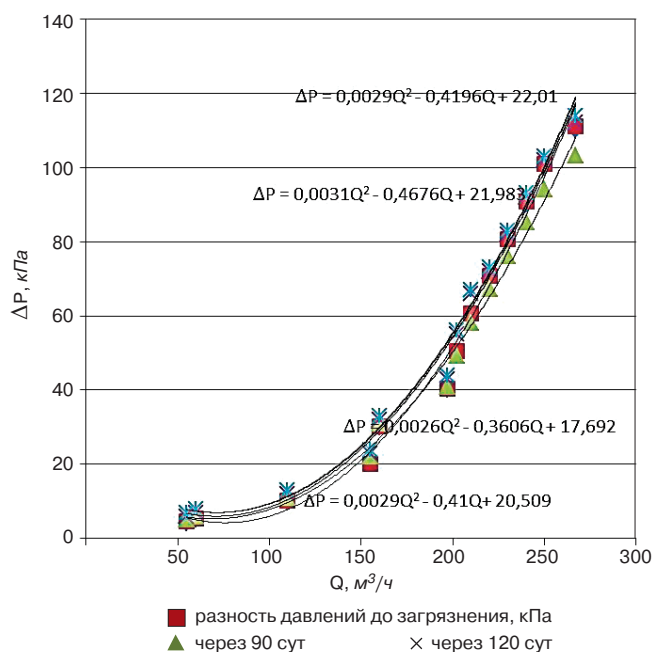


Рис. 2. Разность давлений, расход приточного воздуха по мере загрязнения фильтров с наветренной стороны зданий

Fig. 2. Pressure difference, supply air flow rate as filters are polluted from the windward side of buildings

на оси приточной конвективной неизотермической струи на различных расстояниях от наружной стены помещения (рис. 6). Скорость движения воздуха изменяется от 0,25 м/с (на расстоянии 0,1 м от наружной стены) до 0,08 м/с (0,7 м); избыточная температура воздуха от 22°C (0,1 м) до 26°C (0,7 м) по мере удаления от наружной стены, где расположен приточный клапан с очисткой воздуха.

Параметры приточной неизотермической струи от разработанной конструкции клапанов вентиляции с очисткой воздуха в холодный период года с минимальным диаметром 0,1 м: максимальная толщина пограничного слоя до 0,12 м; разгонного участка 0,2 м; толщина переходного слоя 0,6 м; толщина основного участка до 0,7 м.

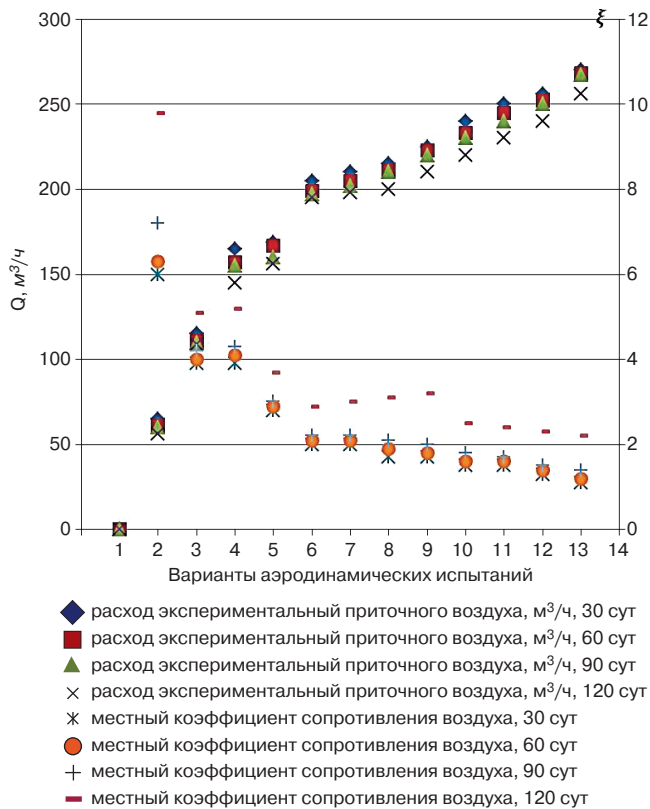


Рис. 3. Коэффициент аэродинамического сопротивления ξ сорбционных фильтров при разных расходах приточного воздуха (Q , м³/ч) по мере загрязнения фильтров с наветренной стороны зданий после 30–120 сут

Fig. 3. Coefficient of aerodynamic drag ξ of sorption filters at different supply air flow rates (Q , м³/h) as filters are polluted from the windward side of buildings after 30–120 days

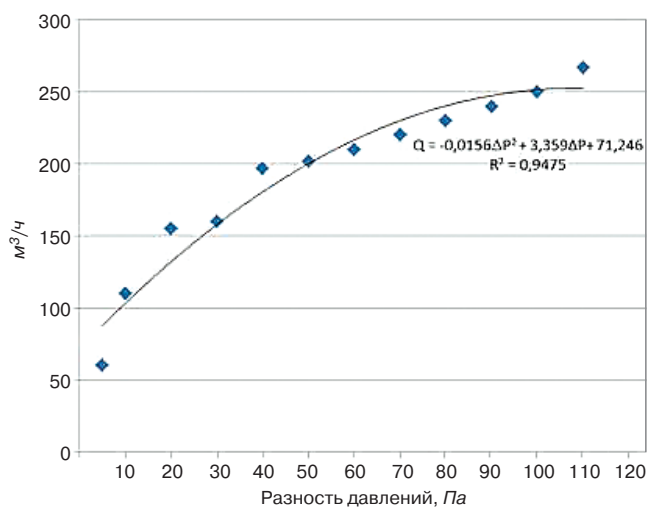


Рис. 4. Зависимость расхода приточного воздуха клапана от разности давлений

Fig. 4. Dependence of the supply air flow of the valve on the pressure difference

По результатам измерения концентраций газообразных загрязнителей (оксида углерода (II), фенола, формальдегида, углеводородов алифатических) на входе и выходе из клапанов получена оптимальная масса и высота (толщина) слоев различных сор-

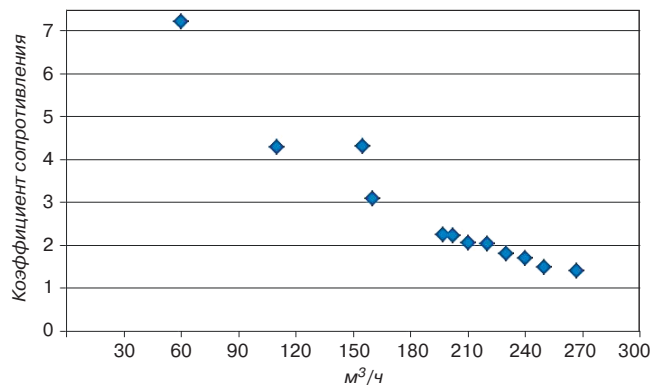


Рис. 5. Зависимость коэффициента сопротивления ξ воздуха внутри клапана от расхода приточного воздуха

Fig. 5. Dependence of the air resistance coefficient ξ inside the valve on the supply air flow rate

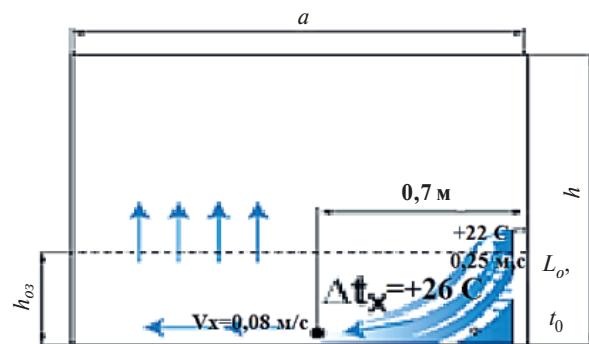


Рис. 6. Результаты расчета избыточной температуры и скорости движения воздуха на оси приточной струи клапанов с очисткой воздуха на разных расстояниях от наружной стены: $t_0 = -27,5^\circ\text{C}$; $L_0 = 65 \text{ м}^3/\text{ч}$; $h_{0z} = 1,1 \text{ м}$; $a = 6 \text{ м}$; $h = 2,75 \text{ м}$

Fig. 6. Calculation results of excess temperature and air velocity on the axis of the supply jet of valves with air purification at different distances from the outer wall: $t_0 = -27.5^\circ\text{C}$, $L_0 = 65 \text{ м}^3/\text{h}$; $h_{0z} = 1.1 \text{ м}$; $a = 6 \text{ м}$; $h = 2.75 \text{ м}$

бентов фильтров в зависимости от расхода поступающего воздуха с эффективностью очистки до 98,9%.

Для примера представлены рекомендуемая высота слоев сорбентов и масса сорбентов в клапанах приточной вентиляции с очисткой воздуха зданий, находящихся вблизи магистрали с интенсивностью движения свыше 2000 авт./ч, для эффективности очистки приточного воздуха от 85–98,9% от исследуемых газообразных загрязнителей (рис. 7).

При регулировании расхода приточного воздуха от 55–120 м³/ч с помощью блока управления оголовка (рис. 8) клапанов приточной вентиляции в холодный и переходный периоды года происходит снижение потерь тепла на подогрев приточного воздуха радиаторами отопления в 2,5–3 раза.

При температуре наружного воздуха -32°C снижение расхода воздуха от 120 до 55 м³/ч и до 75 м³/ч уменьшает потери тепла на подогрев приточного воздуха в 2,5 раза, при температуре $-11,5^\circ\text{C}$ в три раза.

По результатам экспериментальных исследований в теплый и холодный периоды года при работе приточного клапана с очисткой воздуха (рис. 9) темпера-

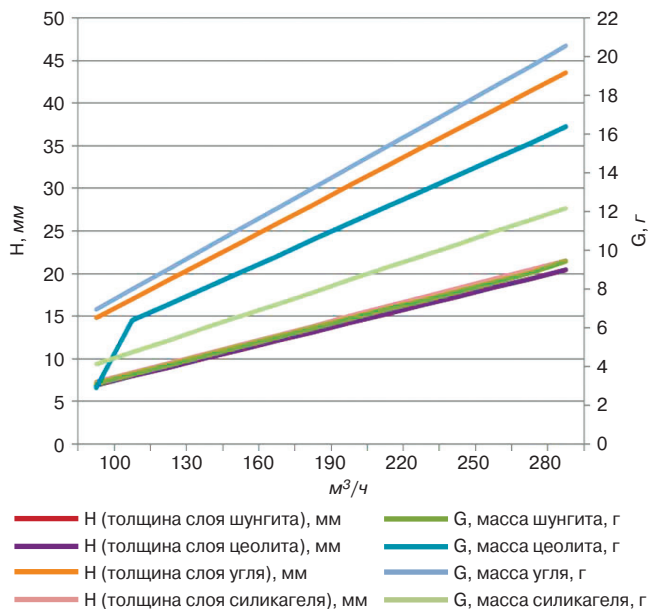


Рис. 7. Необходимая высота слоев (H , мм) и масса сорбентов (G , г) фильтров клапанов при различном расходе воздуха для зданий вблизи магистралей интенсивностью движения свыше 2000 авт./ч
Fig. 7. The required height of layers (H , mm) and the mass of sorbents (G , g) of valve filters at different air flow rates for buildings near highways with traffic intensity over 2000 cars per hour

тура внутри помещения и на поверхностях ограждающих конструкций не ниже температуры точки росы, что исключает образование конденсата. Расчет температуры точки росы произведен по результатам экспериментальных данных измеренной температуры и относительной влажности воздуха помещений в теплый и холодный периоды года при работе устройства с помощью прибора термогигрометра Ива-6.

На рис. 10–11 приведены поля распределения температуры поверхностей ограждающих конструкций вблизи клапана приточной вентиляции с очисткой воздуха диаметром 100 мм через 1 ч после открытия клапанов с расходом от 65–95 м³/ч при температуре атмосферного воздуха -25; -15°C (рис. 10, а, рис. 11, а) и при закрытых приточных устройствах (рис. 10, б; 11, б).

При работе приточного клапана с очисткой воздуха ($\Delta P=20$ Па) изменения температуры поверхности не наблюдалось на внутренней решетке клапана. У воздухораспределительной решетки клапана 14–15°C – на незначительной зоне поверхности под клапаном при температуре наружного воздуха -25°C. Под радиатором отопления у поверхности пола температура поверхности ограждения снизилась менее чем на 1°C.

В отопительный период года выполнялись замеры температуры поверхности стены в различных точках (рис. 10–11). При обследовании поверхности наружной стены около работающего приточного клапана с очисткой воздуха зафиксирована лишь незначительная область пониженной температуры над клапаном вблизи

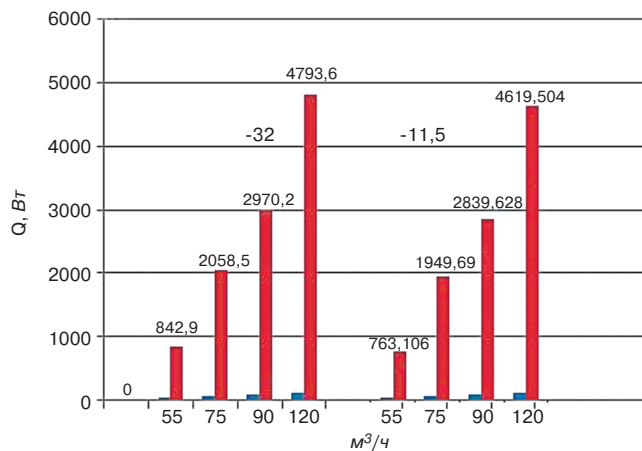


Рис. 8. Расчет трансмиссионных потерь тепла при работе клапанов с очисткой воздуха при различной температуре наружного воздуха в холодный и переходный периоды года
Fig. 8. Calculation of transmission heat losses during operation of valves with air purification at different outdoor temperatures during cold and transitional periods of the year

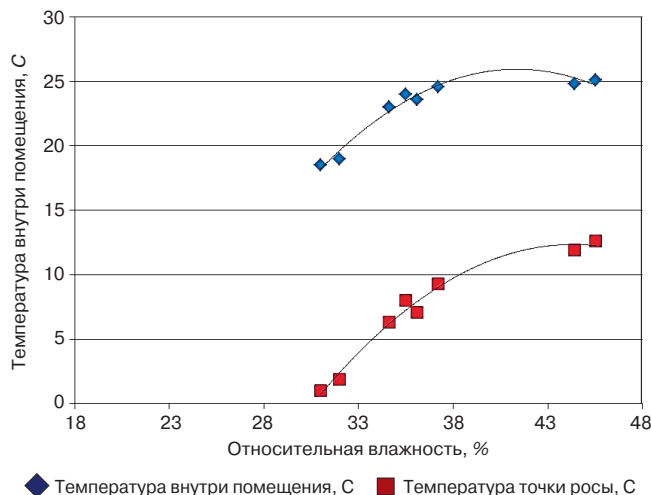


Рис. 9. Расчетные значения температуры точки росы в помещении при открытии приточной струи клапана с очисткой воздуха после 30 мин работы
Fig. 9. Calculated values of the dew point temperature in the room when opening the supply jet of the valve with air purification after 30 minutes of operation

воздухораспределительной решетки до +14–16°C. При работе приточных клапанов с очисткой воздуха над радиатором отопления значительного изменения температуры вблизи клапанов не наблюдалось. Коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций для помещений составляет от 3,2–4,3 м²·°C/Вт, при понижении температуры наружного воздуха до -30°C находится в пределах допустимых значений, что достигается регулированием расхода воздуха в течение суток на основании программного обеспечения автоматически либо ручным переключателем.

Разработанная конструкция клапанов с очисткой воздуха вместе с программным обеспечением [10–11] для обоснования технических характеристик сорбентов фильтров внедрены в строительство жилых многоквартирных зданий (рис. 12).

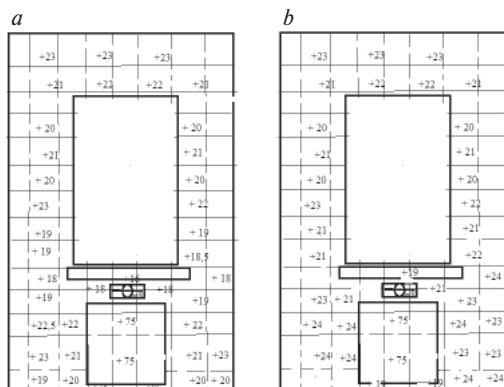


Рис. 10. Поля температуры поверхностей ограждающих конструкций при температуре наружного воздуха -25°C , расход воздуха $65\text{ м}^3/\text{ч}$: а – после 1 ч работы клапанов; б – при закрытом клапане с очисткой воздуха

Fig. 10. Temperature fields of the surfaces of enclosing structures at outdoor air temperature -25°C , air consumption $65\text{ м}^3/\text{h}$: а – after 1 hour of valve operation; б – when the valve is closed with air purification

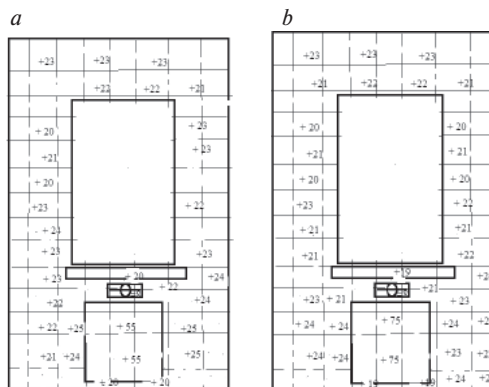


Рис. 11. Поля температуры поверхностей ограждающих конструкций при температуре наружного воздуха -15°C с расходом $95\text{ м}^3/\text{ч}$: а – после 1 ч работы клапанов; б – при закрытом клапане с очисткой воздуха

Fig. 11. Temperature fields of the surfaces of enclosing structures at outdoor air temperature -15°C with a flow rate of $95\text{ м}^3/\text{h}$: а – after 1 hour of valve operation; б – when the valve is closed with air purification



Рис. 12. Монтаж клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в помещениях

Fig. 12. Installation of supply ventilation valves with indoor air purification in rooms

Установка и обслуживание разработанных клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха производится следующим образом:

- устанавливается пластиковая труба с тепло- и шумоизоляцией в наружной стене здания над радиатором отопления, конвектором. Длина трубы выбирается в зависимости от толщины наружной стены, внутри трубы (круглого воздуховода) после решетки с сеткой устанавливается каналный вентилятор необходимой производительности;

- вставляются последовательно фильтры круглого диаметра с наполнителями (сорбентами): цеолитом, шунгитом в зависимости от способа очистки;

- с внутренней стороны помещений вставляется в трубу оголовок с блоком управления, УФ-лампами, титановой сеткой (фотокаталитический фильтр);

- при помощи регулятора на оголовке регулируется воздухообмен программатором или ручным переключателем;

- разборка и очистка элементов оголовка рекомендована раз в три месяца, очистка пластиковой трубы, после того как фильтры извлечены, раз в шесть месяцев;

- замена УФ-ламп и фильтров производится только при отключении устройства и затем при открытии оголовка клапана (в соответствии со сроком службы сорбентов);

- загрузки каждого фильтра (природные сорбенты) можно также заменить при открытии каждого фильтра по отдельности.

Замена (регенерация) фильтрующих загрузок клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха производится через пластиковый оголовок внутри помещения. Оголовок достаточно легко открывается в помещении и фильтры (или загрузки) меняются. Следует отметить, что при необходимости для используе-

мых загрузок характерна десорбция при высушивании сорбентов (шунгит, цеолит), т. е. данные сорбенты могут вновь использоваться для загрузок сорбционных фильтров приточных клапанов с очисткой воздуха.

Выводы

По мере загрязнения сорбентов фильтров коэффициент аэродинамического сопротивления увеличивается с 30-х сут на 90–120-е сут в 1,3 раза, разница давлений более 2 Па на 90–120-е сут (3–4 мес).

В зависимости от степени загрязнения приточного воздуха необходимо производить замену загрузки сорбционных фильтров при различной интенсивности расположенных магистралей вблизи зданий: свыше 2000 авт./ч – после 30 сут, до 1000 авт./ч – после 56–60 дней; свыше 500 авт./ч – 90 дней с наветренной стороны, 120 дней с подветренной стороны.

Установлена рекомендуемая высота слоев сорбентов от 20 мм и масса сорбентов 8–22 г в клапанах с очисткой воздуха зданий, находящихся вблизи магистралей с интенсивностью движения свыше 2000 авт./ч, эффективностью очистки приточного воздуха 85–98,9% от газообразных загрязнителей.

Построены поля температуры поверхностей ограждающих конструкций при работе клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в течение 1 ч и при закрытых клапанах. При обследовании поверхности наружной стены вблизи работающего стенового приточного клапана с очисткой воздуха зафиксирована незначительная область пониженной температуры над клапаном вблизи воздухораспределительной решетки до $14\text{--}16^{\circ}\text{C}$. Коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций для помещений составил $3,2\text{--}4,3\text{ м}^2\cdot^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$; при понижении температуры наружного воздуха до -30°C он находится в пределах допустимых значений, что достигается регулированием

расхода воздуха в течение суток на основании программного обеспечения автоматически либо ручным переключателем.

При регулировании расхода приточного воздуха от 55–120 м³/ч с помощью блока управления клапанов приточной вентиляции с очисткой воздуха в разные периоды года происходит снижение потерь тепла на подогрев приточного воздуха радиаторами отопления в 2,5–3 раза. При температуре наружного воздуха -32°C снижение расхода воздуха от 120 до 55 м³/ч и до 75 м³/ч уменьшает потери тепла на подогрев приточного воздуха в 2,5 раза, при температуре -11,5°C – в 3 раза.

Список литературы / References

1. Герман Е.А., Кузьмин А.Г., Шашев А.В. Анализ эффективности приточных клапанов системы вентиляции в условиях эксплуатации на многоквартирном жилом доме // *СОК*. 2019. № 2. С. 52–55.
1. Herman E.A., Kuzmin A.G., Shashev A.V. Analysis of the efficiency of supply valves of the ventilation system under operating conditions in an apartment building. *SOC*. 2019. No. 2, pp. 52–55. (In Russian).
2. Logachev I.N., Popov E.N., Logachev K.I., Averkova O.A. Refining the method for determining the flow rate of air entrained by freely falling polydisperse loose material. *Powder Technology*. 2020. T. 373, pp. 323–335. DOI: 10.1016/j.powtec.2020.06.055
3. Shaptala V.V., Logachev K.I., Averkova O.A., Krutikova D.N. Modeling of convective vapor-air flows near onboard suction from open-surface reservoirs. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2020. No. 6, pp. 636–641. DOI: 10.1007/s11148-020-00420-4
4. Averkova O.A., Goltsov A.B., Logachev K.I., Minko A.V. Reduction of dust extraction from an aspiration hood via mechanical shielding. *Refractories and Industrial Ceramics*. 2020. Vol. 61. No. 2, pp. 228–233. DOI: 10.1007/s11148-020-00462-8
5. Ветрова Н.М., Вереха Т.В., Меннанов Э.Э., Судьева Д.В. Экологическая безопасность урбанизированных рекреационных территорий в зоне влияния объектов транспортного строительства // *Экономика строительства и природопользования*. 2022. № 1–2 (82–83). С. 145–151.
5. Vetrova N.M., Verekha T.V., Mennanov E.E., Sudyeva D.V. Ecological safety of urbanized recreational territories in the zone of influence of transport construction objects. *Ekonomika stroitelstva i prirodopol'zovaniya*. 2022. No. 1–2 (82–83), pp. 145–151. (In Russian).
6. Francisco P.W., Jacobs D.E., Targos L., Dixon S.L., Breysse J., Rose W. Ventilation, indoor air quality, and health in homes undergoing weatherization. *Indoor Air*. 2017. No. 27 (2), pp. 463–477.
7. Isiugo K., Jandarov R., Cox J., Chillrud S., Grinshpun S.A., Hyttinen M., Yermakov M., Wang J., Ross J., Reponen T. Predicting indoor concentrations of black carbon in residential environments. *Atmos Environ*. 2019. Vol. 201, pp. 223–230.
8. Полуниин Г.А. Применение ультрафиолетовых светодиодов в фотокаталитических воздухоочистителях для очистки воздуха кабин мобильных машин // *Технологии техносферной безопасности*. 2012. № 6 (46). С. 12.
8. Polunin G.A. The use of ultraviolet LEDs in photocatalytic air purifiers for cleaning the air of cabins of mobile machines. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti*. 2012. No. 6 (46), pp. 12. (In Russian).
9. Патент РФ 2744623С1. Клапан приточной принудительной вентиляции с очисткой воздуха / Литвинова Н.А. Заявл. 17.06.2020. Оpubл. 12.03.2021. Бюл. № 8.
9. Patent RF 2744623C1. *Klapan pritochnoj prinuditel'noj ventilyacii s ochistkoj vozduha* [Forced air supply ventilation valve with air purification]. Litvinova N.A. Declared 17.06.2020. Published 12.03.2021. Bull. No. 8. (In Russian).
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2020660657. Расчет и обоснование технических характеристик сорбентов в клапанах приточной принудительной вентиляции зданий в условиях повышенного загрязнения атмосферы / Литвинова Н.А. Заявл. 30.08.2020. Оpubл. 09.09.2020.
10. Certificate of state registration of the computer program 2020660657. *Raschet i obosnovanie tekhnicheskikh harakteristik sorbentov v klapanah pritochnoj prinuditel'noj ventilyacii zdaniy v usloviyah povyshennogo zagryazneniya atmosfery* [Calculation and justification of the technical characteristics of sorbents in the valves of supply forced ventilation of buildings in conditions of increased atmospheric pollution] / Litvinova N.A. Declared 30.08.2020. Published 09.09.2020. (In Russian).
11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022610810. Расчет концентраций загрязнителей внутри помещений многоэтажных зданий по времени суток от автотранспортных магистралей в городской среде / Литвинова Н.А., Азаров В.Н. Заявл. 29.12.2021. Оpubл. 17.01.2022.
11. Certificate of state registration of the computer program 2022610810. *Raschet koncentracij zagryaznitelej vnutri pomeshchenij mnogoetazhnykh zdaniy po vremeni sutok ot avtotransportnykh magistralej v gorodskoj srede* [Calculation of concentrations of pollutants inside the premises of multi-storey buildings by time of day from highways in the urban environment] / Litvinova N.A., Azarov V.N. Declared 29.12.2021. Published 17.01.2022. (In Russian).

УДК 693.97

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-77-82>

И.В. БЕССОНОВ¹, канд. техн. наук (bessonoviv@mail.ru);
В.А. ЗАХАРОВ², канд. техн. наук (zaharov@cstroy.ru),
Е.А. ПАВЛОВА², инженер (lp2807@mail.ru);
Э.А. ГОРБУНОВА^{1,3}, инженер, студентка (eg15082000@mail.ru),
И.С. ГОВРЯКОВ^{1,3}, инженер, студент (govr190@mail.ru)

¹ Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

² Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В.А. Кучеренко (109428, г. Москва, 2-я Институтская ул., 6)

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

Определение морозостойкости строительных материалов методом одностороннего замораживания

В настоящее время действуют несколько методов определения морозостойкости строительных материалов: базовый метод, заключающийся в периодическом замораживании в воздушной среде и с полным погружением образцов в воду при оттаивании; ускоренные методы при оттаивании в солевом растворе и при глубоком замораживании. В стандартах на блоки ячеистые автоклавного твердения и полистиролбетон описана особая методика определения морозостойкости. Циклы по этому методу состоят из периодического замораживания в воздушной среде образцов с массовой влажностью (35±2)% и оттаивания в воздушной среде с относительной влажностью воздуха (95±2)%. ГОСТ 7025–91 «Кирпич и камни керамические и силикатные. Методы определения водопоглощения, плотности и контроля морозостойкости», помимо метода объемного замораживания, предписывает метод одностороннего замораживания для кирпича керамического и силикатного. Использование метода одностороннего замораживания, приближенного к эксплуатационным условиям, может быть полезно при оценке стойкости материалов и изделий, применяемых в наружных слоях стены, в частности лицевого керамического кирпича, фасадных систем и пр. В НИИСФ проведена научно-исследовательская работа по оценке морозостойкости фрагментов стеновых кладок из ячеисто-бетонных и полистиролбетонных блоков методом одностороннего замораживания на установке холодно-дождевальная ХДУ-0.2. Установлено, что в качестве нормируемых параметров морозостойкости стеновых кладок методом одностороннего замораживания следует отнести прочность сцепления блоков со штукатурным раствором и прочность на вырыв химических анкеров. Необходимо проведение работ, направленных на систематизацию методов определения и принятия единого способа обозначения марок по морозостойкости для всех строительных материалов, применяемых в наружных ограждающих конструкциях, с последующим введением в действующие нормативные документы.

Ключевые слова: морозостойкость, метод одностороннего замораживания, циклические температурно-влажностные воздействия, кладка из блоков.

Для цитирования: Бессонов И.В., Захаров В.А., Павлова Е.А., Горбунова Э.А., Говряков И.С. Определение морозостойкости строительных материалов методом одностороннего замораживания // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 77–82. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-77-82>

I.V. BESSONOV¹, Candidate of Sciences (Engineering) (bessonoviv@mail.ru);

V.A. ZAHAROV², Candidate of Sciences (Engineering) (zaharov@cstroy.ru),

E. A. PAVLOVA², Engineer (lp2807@mail.ru);

E.A. GORBUNOVA^{1,3}, Engineer, Student (eg15082000@mail.ru),

I.S. GOVRYAKOV^{1,3}, Engineer, Student (govr190@mail.ru)

¹ Scientific-Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

² Central Research Institute of Building Constructions named after A.V. Kucherenko (TSNIISK named after A.V. Kucherenko)

(6, 2-nd Institutskaya Street, Moscow, 109428, Russian Federation)

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl'skoe Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

Determination of Frost Resistance of Building Materials by the Method of One-Sided Freezing

Currently, there are several methods for determining the frost resistance of building materials: the basic method, which consists in periodic freezing in air and with complete immersion of samples in water during thawing; accelerated methods by thawing in salts and by deep freezing. In the standards for cellular autoclave

hardening units and polystyrene concrete, a special method of determination of frost resistance is described. Cycles according to this method consist of periodic freezing in air samples with mass humidity (35±2)% and thawing in air with relative humidity (95±2)%. GOST 7025–91 "Brick and ceramic and silicate stones. Methods for determining water absorption, density and control of frost resistance, in addition to the volumetric freezing method, prescribes a one-sided freezing method for ceramic and silicate bricks. The use of the one-sided freezing method, which is close to operational conditions, can be useful when assessing the resistance of materials and products used in the outer layers of the wall, particularly in facing ceramic bricks, facade systems and others. Research Institute of Building Physics has carried out research to assess the frost resistance of wall fragments from cellular concrete and polystyrene concrete blocks by the method of unilaterally freezing at the HDU-0.2 refrigeration plant. It has been established that the adhesion strength of blocks with plaster mortar, the strength of tearing of chemical anchors should be attributed as normalized parameters of frost resistance of wall masonry by unilateral freezing. It is necessary to carry out work aimed at systematization of determining and adopting uniform methods designating brands for frost resistance for all building materials used in outdoor enclosing structures, with subsequent introduction into existing regulations.

Keywords: frost resistance, unilateral freezing method, cyclic temperature and humidity effects, block masonry.

For citation: Bessonov I.V., Zaharov V. A., Pavlova E. A., Gorbuнова E. A., Govryakov I.S Determination of frost resistance of building materials by the method of one-sided freezing. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 77–82. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-77-82>

За последние три десятилетия в строительной индустрии Российской Федерации произошли существенные изменения. Появились новые конструкции и принципы возведения зданий. Строительный рынок наполнился новыми современными стеновыми материалами. Появились бетоны с высокими марками по прочности и морозостойкости. Одновременно в практику строительства вошли легкие бетоны, обладающие теплозащитными качествами. При этом совершенствовались и методы оценки морозостойкости строительных материалов. До 1990-х гг. марка по морозостойкости обозначалась буквами «мрз» и цифрами, показывающими количество циклов попеременного замораживания-оттаивания, которые прошли образцы материала до появления видимых повреждений или снижения прочности до требуемого уровня. Позже для обозначения марки по морозостойкости был введен символ «F» – от *англ.* frost resistance [1–4].

В настоящее время действуют несколько стандартных методов определения морозостойкости строительных материалов, которые не всегда согласованы с точки зрения маркировки. Например,

в ГОСТ 530–2012 «Кирпич и камень керамические. Общие технические условия» указано, что кирпич и камень керамические по морозостойкости подразделяют на марки F25, F35, F50, F75, F100, F200, F300. При этом имеется в виду, что испытания проводят по методу объемного замораживания в воздушной среде и с полным погружением образцов в воду при оттаивании. Однако это соответствует первому базовому методу по ГОСТ 10060–2012 «Бетоны. Методы определения» и обозначается «F₁». В 2009 г. введен в действие ГОСТ 31359–2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия» на блоки ячеистые автоклавного твердения, в котором описана особая методика определения морозостойкости.

Циклы состоят из периодического замораживания образцов ячеистого бетона с массовой влажностью (35±2)% и оттаивания в воздушной среде с относительной влажностью воздуха (95±2)%. Марки ячеистого бетона по морозостойкости в зависимости от числа циклов назначают F15, F25, F35, F50, F75, F100. Полистиролбетон (ГОСТ 33929–2016) предписано испытывать на морозостойкость по той же ме-

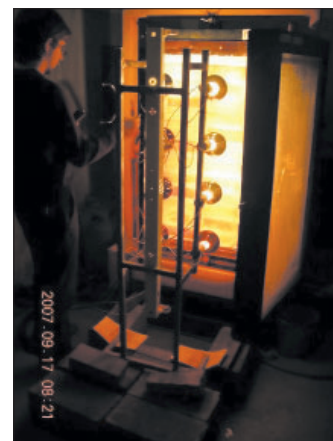
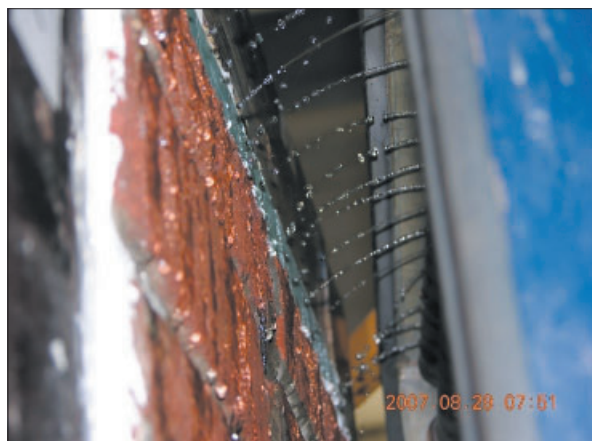


Рис. 1. Холодильно-дождевальная установка ХДУ-0.2 «Термоизоляция» с возможностью охлаждения до -30°C, системой орошения, обогрева, ИК- и УФ-облучения

Fig. 1. Cooling and sprinkler system HDU-0.2 «Thermal insulation» with the possibility of cooling to -30°C, irrigation system, heating, IR and UV irradiation

тодике, что и ячеистый бетон по ГОСТ 31359–2007, Приложение Б. Однако обозначения марок по морозостойкости полистиролбетона установлены как «F₁», от F₁35 до F₁300. Марка по морозостойкости ячеистого бетона и полистиролбетона соответствует требуемой, если относительное снижение прочности бетона при сжатии после прохождения числа циклов переменного замораживания и оттаивания, соответствующих марке ячеистого бетона по морозостойкости, не превышает 15%, а относительное значение потери массы 5% [5–6].

ГОСТ 7025–91, введенный в 1991 г. и действующий в настоящее время, помимо метода объемного замораживания, предписывает метод одностороннего замораживания кирпича керамического и силикатного, однако не приводит описания маркировки.

Очевидно, что назрела необходимость в систематизации методов определения и принятия единого способа обозначения марок по морозостойкости для всех строительных материалов, применяемых в наружных ограждающих конструкциях [6–9].

Материалы и методы

Метод одностороннего замораживания по ГОСТ 7025–91 предусматривает два варианта – в холодильно-дождевальной установке (ХДУ), оснащенной поворотной теплоизолирующей запорной рамой, или с использованием аппарата для одностороннего замораживания образцов (АДОЗО). При использовании АДОЗО поверхность образцов подвергают орошению водой, далее контейнер аппарата периодически помещают внутрь морозильной камеры для замораживания и вынимают для орошения водой.

Процедура трудоемка и сопряжена с контролем за состоянием герметичности кассеты.

Наиболее применяемый способ испытания стеновых изделий методом одностороннего замораживания – в холодильно-дождевальной установке (ХДУ). В НИИСФ испытания проводят на установке холодильно-дождевальной ХДУ-0.2 «Термоизоляция», оснащенной сквозной поворотной теплоизолирующей запорной обоймой с внутренним размером 1000×500 мм, толщиной 300 мм. Установка оснащена холодильным агрегатом с возможностью охлаждения до -30°C, системой орошения и приставной рамой с лампами обогрева, ИК- и УФ-облучения (рис. 1).

Использование метода одностороннего замораживания, приближенного к эксплуатационным условиям, может быть полезно при оценке стойкости материалов и изделий, применяемых в наружных слоях стены, в частности лицевого керамического кирпича, фасадных систем и пр. [9–11].

Блоки из ячеистого бетона и полистиролбетона используют в конструкциях с наружными штукатурными слоями и навесными фасадными системами. В НИИСФ проведены испытания фрагментов кладок в камере одностороннего замораживания. Метод испытания морозостойкости фрагментов кладок из блоков из полистиролбетона и блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения при одностороннем замораживании заключается в устройстве кладок в поворотной запорной раме с последующим проведением циклов температурно-влажностных воздействий на поверхность фрагмента. Цикл состоит из следующих переделов: увлажнение в течение 15 мин; замораживание при -25°C в течение 3 ч; на-



Рис. 2. Фрагменты кладки из полистиролбетона и ячеистого бетона автоклавного твердения, подготовленные для проведения испытаний методом одностороннего замораживания

Fig. 2. Fragments of polystyrene concrete and cellular concrete of autoclave hardening, prepared for testing by unilateral freezing



Рис. 3. По завершении циклических воздействий, через 150 циклов, проведены испытания прочности на вырыв химических анкеров и прочности сцепления (адгезии) полистиролбетонных и ячеисто-бетонных блоков со штукатурным раствором, с кладочным раствором и с клеевой композицией

Fig. 3. At the end of cyclic action, after 150 cycles, strength tests were carried out on tearing of chemical anchors and strength of adhesion of polystyrene concrete and cellular concrete blocks with plaster mortar, with mortar and glue composition

грев до плюс 70°C при ИК- и УФ-облучении в течение 2 ч 45 мин. Количество циклов – 150. Нагревание поверхности фрагмента конструкции посредством лучистого действия нагревательного прибора моделирует солнечное облучение, увлажнение моделирует атмосферные осадки, а замораживание – воздействие отрицательной температуры. Длительность и интенсивность воздействия температуры и влаги подобрана таким образом, чтобы экспериментальное воздействие соответствовало циклическим явлениям заморозок – оттепель, это обуславливает промерзание и оттаивание наружной поверхности фрагмента кладки не менее чем на 80 мм.

Правая половина фрагмента была оштукатурена, левая не оштукатурена. В левой части фрагментов кладок были установлены химические анкеры для оценки изменения прочности на вырыв в процессе циклических температурно-влажностных воздействий. Другая часть фрагмента с оштукатуриванием оценивалась по изменению прочности сцепления (адгезии) штукатурного слоя с основой. Одновременно с основными фрагментами были подготовлены контрольные фрагменты кладок, не подвергаемые циклическим температурно-влажностным воздействиям. Контролируемые параметры: прочность сцепления блоков со штукатурным раствором, с кладоч-

ным раствором и клеевой композицией; прочность на вырыв химического анкера.

Результаты и обсуждение

По результатам анализа данных, полученных в ходе экспериментальных исследований, установлено, что после проведения 150 циклов одностороннего замораживания–оттаивания–нагрева–увлажнения прочность сцепления блоков из полистиролбетона со слоем наружной штукатурки увеличилась на 7%, а блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения понизилась на 27%. Прочность на вырыв химического анкера в кладке из блоков из полистиролбетона увеличилась на 14%, а из блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения понизилась на 14%. Прочность сцепления блоков из полистиролбетона и блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения с кладочным раствором и клеевой композицией повысилась, что говорит о продолжающемся наборе прочности (преимущественно кладочного раствора) при циклических воздействиях. Кроме того, основная площадь зон расположения кладочного раствора и клея не была затронута знакопеременными воздействиями, поскольку находилась в толще кладки из легкобетонных блоков, обладающих высоким термическим сопротивлением.



Рис. 4. Проведение сквозного прозвучивания фрагмента кладки из полистиролбетона ультразвуковым прибором Пульсар 2.2

Fig. 4. Carrying out of through-sounding fragment of masonry from polystyrene concrete with ultrasonic device Pulsar 2.2

Таким образом, в качестве контролируемых параметров, определяемых разрушающим методом, целесообразно принять прочность сцепления (адгезии) блоков со слоем штукатурки, а также прочность на вырыв химических анкеров.

Дополнительно проведены исследования морозостойкости полистиролбетонных блоков методом одностороннего замораживания при контроле изменения скорости прохождения ультразвука по толще конструкции. Использован прибор ПУЛЬСАР 2.2 (по приложению Б, ГОСТ 26134–2016) для сквозного прозвучивания блоков. Скорость звука изменяется в среднем от 1520 м/с (на контрольном фрагменте кладки) до 1180 м/с (после 150 циклов). Данный метод неразрушающего контроля может быть рекомендован в качестве нормируемого параметра морозостойкости легковесных блоков.

Заключение

При испытаниях морозостойкости кладочных стеновых изделий методом одностороннего замо-

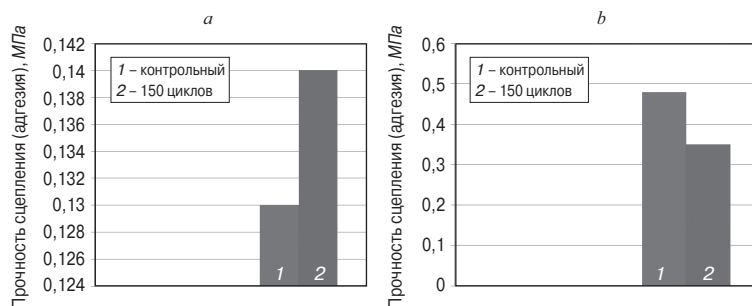


Рис. 5. Результаты экспериментальных определений прочности сцепления (адгезии) блоков из полистиролбетона (а) и блоков из ячеистого бетона (б) автоклавного твердения со слоем наружной штукатурки

Fig. 5. Results of experimental determinations of adhesion strength of polystyrene (а) and cellular concrete (б) autoclave hardening blocks with outer plaster layer

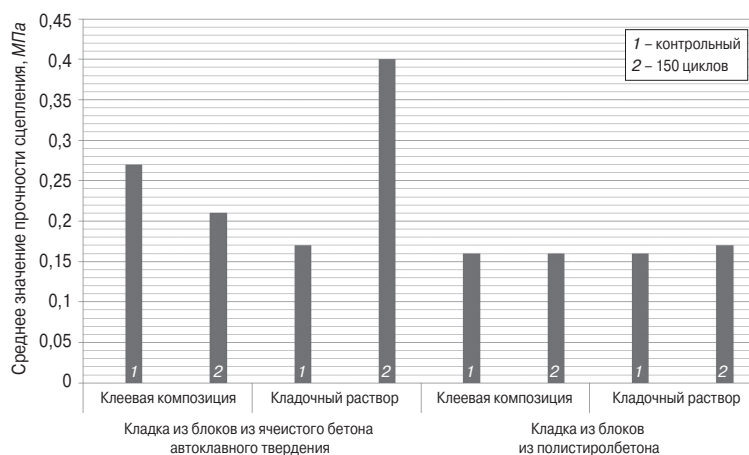


Рис. 6. Результаты экспериментальных определений прочности сцепления (адгезии) блоков из полистиролбетона и блоков из ячеистого бетона автоклавного твердения с кладочным раствором и клеевой композицией

Fig. 6. Results of experimental determinations of adhesion strength of polystyrene concrete and cellular concrete blocks with masonry mortar and adhesive composition

раживания установлено, что параметры прочности сцепления блоков с кладочным раствором и клеевой композицией, а также поверхностная влажность, определяемая методом трубки Карстена, не являются информативно значимыми и не могут быть приняты в качестве нормируемых параметров.

К нормируемым параметрам морозостойкости стеновых кладок методом одностороннего замораживания следует отнести такие характеристики, как прочность сцепления блоков со штукатурным раствором, прочность на вырыв химических анкеров, а также изменение скорости прохождения ультразвука по толще полистиролбетонных блоков и других кладочных стеновых изделий.

Рекомендуется проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на систематизацию методов определения и принятия единого способа обозначения марок по морозостойкости для всех строительных материалов, применяемых в наружных ограждающих конструкциях, с последующим введением в действующие нормативные документы.

Список литературы

1. Рахимов Р.З. Керамический и силикатный кирпич в строительстве // *Строительные материалы*. 2009. № 6. С. 24–27.
2. Francisco M. Fernandes 1-Clay bricks In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. *Long-term Performance and Durability of Masonry Structures*. Woodhead Publishing. 2019. Pp. 3–19.
3. Dehghan S.M., Najafgholipour M.A., Baneshi V., Rowshanzamir M. Mechanical and bond properties of solid clay brick masonry with different sand grading // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 174. Pp. 1–10.
4. Stryszewska T., Kańka S. Characterization of factors determining the durability of brick masonry. Brick and block masonry – from historical to sustainable masonry. 2020. No. 1. 6 p.
5. Шаманов В.А. Причины отслоения наружного слоя лицевого кирпича // *Инженерный вестник Дона*. 2018. № 1 (48). С. 28–35.
6. Kropyvnytska T., Semeniv R., Kotiv R., Novytskyi Yu. Effects of Nano-liquids on the Durability of Brick Constructions for External Walls. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 100. Pp. 237–244.
7. Ahmed Abdulhadi, Mohamed Mussa, Yasir Kadhim The clay rocks properties for the production of the ceramic bricks. *Magazine of Civil Engineering*. 2022. Vol. 111. No. 3.
8. Котляр В.Д., Небежко Н.И., Терёхина Ю.В., Котляр А.В. К вопросу о химической коррозии и долговечности кирпичной кладки // *Строительные материалы*. 2019. № 10. С. 78–84. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-78-84>
9. Бессонов И.В., Жуков А.Д., Баженова С.И., Коныхов М.А. Морозостойкость стен зданий из легкого бетона // *Строительные материалы*. 2022. № 11. С. 4–9 DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-808-11-4-9>
10. Бессонов И.В., Булгаков Б.И., Ланкин А.В., Говряков И.С., Горбунова Э.А. Причины разрушения лицевого кирпича // *Строительство и реконструкция*. 2023. № 1 (105). С. 114–122. DOI: 10.33979/2073-7416-2023-105-1-114-122
11. Крыгина А.М., Мальцев П.В., Картамышев Н.В., Ильинов А.Г. О долговечности каменной кладки // *Вестник МГСУ*. 2011. № 3. С. 185–188.

References

1. Rakhimov R.Z. Ceramic and silicate brick in construction. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2009. No. 6, pp. 24–27. (In Russian).
2. Francisco M. Fernandes 1-Clay bricks In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering. *Long-term Performance and Durability of Masonry Structures*. Woodhead Publishing. 2019, pp. 3–19.
3. Dehghan S.M., Najafgholipour M.A., Baneshi V., Rowshanzamir M. Mechanical and bond properties of solid clay brick masonry with different sand grading. *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 174, pp. 1–10.
4. Stryszewska T., Kańka S. Characterization of factors determining the durability of brick masonry. Brick and block masonry – from historical to sustainable masonry. 2020. No. 1. 6 p.
5. Shamanov V.A. Causes of separation of the outer layer of the front brick. *Ingenernyi vestnik Dona*. 2018. No. 1 (48), pp. 28–35. (In Russian).
6. Kropyvnytska T., Semeniv R., Kotiv R., Novytskyi Yu. Effects of Nano-liquids on the Durability of Brick Constructions for External Walls. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2020. Vol. 100, pp. 237–244.
7. Ahmed Abdulhadi, Mohamed Mussa, Yasir Kadhim The clay rocks properties for the production of the ceramic bricks. *Magazine of Civil Engineering*. 2022. Vol. 111. No. 3.
8. Kotlyar V.D., Nebezhko N.I., Terekhina Yu.V., Kotlyar A.V. On the issue of chemical corrosion and durability of brick masonry. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2019. No. 10, pp. 78–84. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-775-10-78-84>
9. Bessonov I.V., Zhukov A.D., Bazhenova S.I., Konyukhov M.A. Frost resistance of the walls of buildings made of light concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 11, pp. 4–9. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-808-11-4-9>
10. Bessonov I.V, Bulgakov B.I., Lankan A.V., Govryakov I.S., Gorbunova E.A. Reasons for the destruction of the front brick. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2023. No. 1 (105), pp. 114–122. (In Russian). DOI: 10.33979/2073-7416-2023-105-1-114-122
11. Krygina A.M., Maltsev P.V., Kartamyshev N.V., Ilyinov A.G. On the durability of the stone masonry. *Vestnik MGSU*. 2011. No. 3, pp. 185–188. (In Russian).

УДК 699. 841

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-83-89>

А.В. МАСЛЯЕВ, канд. техн. наук (victor3705@mail.ru)

Научно-исследовательская сейсмическая лаборатория (400117, г. Волгоград, ул. Землячки, 27, к. А, 51)

Разрушения населенных пунктов при землетрясениях будут повторяться

Разрушения одновременно нескольких населенных пунктов при землетрясениях в Турции в феврале 2023 г. из-за отсутствия достаточной прочности зданий и сооружений подтверждают необходимость корректировки нормативных строительных документов во многих странах мира из-за заниженных значений интенсивности землетрясений. Так, например, в СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» для расчетов наиболее массовых жилых и общественных зданий населенных пунктов используются минимальные значения интенсивности землетрясения. Именно по этой причине при землетрясениях в Армении (1988 г.), в России (1995 г.), в Турции (2023 г.) произошли катастрофические разрушения населенных пунктов с гибелью тысяч людей. Более того, в СП 14.13330.2018 в расчетах зданий и сооружений отсутствует учет воздействия повторных сильных толчков (землетрясений), без которых, как правило, сильные землетрясения не происходят. При этом на территории населенных пунктов, находящихся в сейсмоопасных зонах РФ, отсутствуют сейсмоприборы, не ведется сейсмонаблюдение, что не позволяет специалистам определять более точные параметры сейсмических воздействий на строительные объекты при землетрясениях.

Ключевые слова: период всплеска активности землетрясения, защита населенных пунктов, здание, защита жизни и здоровья людей, сейсмоприборы, федеральный закон, нормативный документ.

Для цитирования: Масляев А.В. Разрушения населенных пунктов при землетрясениях будут повторяться // *Жилищное строительство*. 2023. № 10. С. 83–89. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-83-89>

A.V. MASLYAEV, Candidate of Sciences (Engineering) (victor3705@mail.ru)
Research Seismic Laboratory (27, bldg. A, 51, Zemlyachki Street, 400117, Volgograd, Russian Federation)

The Destruction of Settlements in Countries During Earthquakes Will Be Repeated

The destruction of several settlements at the same time during earthquakes in Turkey in February 2023 only due to the lack of sufficient strength of buildings and structures indicates that the process of destruction of settlements during earthquakes in different countries will still be repeated periodically. All this is only because in all recent such destructions during earthquakes in different countries, one main reason can be seen in them is that the regulatory construction documents of these countries provide for the calculation of buildings and structures only for significantly underestimated values of earthquake intensities. So, for example, in SP 14.13330.2018 (Russia) even for calculations of the most massive residential and public buildings of settlements, only the minimum values of earthquake intensities are used. It is only for this reason that during the recent earthquakes in Armenia (1988), in Russia (1995, Sakhalin, Neftegorsk), in Turkey (2023), catastrophic destruction of settlements occurred with the death of many thousands of people. Moreover, in the joint venture SP 14.13330.2018 in the calculations of buildings and structures, there is even no accounting for the impact of repeated strong shocks (earthquakes), without which, as a rule, a strong earthquake does not occur. At the same time, numerous seismic devices are also missing in the territories of Russian settlements, which does not allow specialists to determine more accurate parameters of seismic impacts during an earthquake on construction sites.

Keywords: earthquake activity surge period, protection of settlements, building, protection of human life and health, seismic devices, federal law, regulatory document.

For citation: Maslyayev A.V. The destruction of settlements in countries during earthquakes will be repeated. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2023. No. 10, pp. 83–89. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2023-10-83-89>

Разрушения населенных пунктов при землетрясениях в РФ (Сахалин, май 1995 г.), в Турции (февраль 2023 г.) свидетельствуют о том, что защита жизни и здоровья людей в зданиях при землетрясениях до настоящего времени еще не решена. На основании анализа содержания основных положений СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» на предмет их соответствия (или несоответствия) ряду основных теоретических положений науки по сейсмологии автор предлагает читателю для обсуждения и другие правила для защиты населенных пунктов при землетрясениях.

В [1, 2] показано, что по причине непризнания федеральными законами и нормативными документами РФ строительного содержания населенных пунктов России объектами капитального строительства на их территориях необоснованно возводятся в основном только «отдельно стоящие» строительные объекты с коротким сроком службы 50 лет. В этом случае расчет ведется на минимальную интенсивность землетрясения (меньший срок службы зданий предопределяется заниженной прочностью их конструкций). Например, в СП 14.13330.2018 отсутствует понятие «населен-

ный пункт», несмотря на то что основная часть капитальных зданий и сооружений в России возводится на территориях населенных пунктов. Известно, что при оценке сейсмической опасности вне количественного рассмотрения остается такой исключительно важный аспект, как *рост опасности с увеличением количества объектов* [3]. При этом под объектом понимается как отдельное сооружение, так и комплекс сооружений, населенный пункт или район активного освоения [4]. Это подтверждает позицию известных ученых-сейсмологов РФ об образующейся степени сейсмической опасности при землетрясении на территории населенных пунктов, природу которой они оценивают на высоком профессиональном уровне. Более того, в [5] сделан вывод о необходимости признания населенных пунктов объектами капитального строительства. По причине непризнания федеральными законами и нормативными документами РФ населенных пунктов объектами капитального строительства все наиболее массовые жилые и общественные здания рассчитываются на минимальную интенсивность землетрясения [6].

Специалистам хорошо известно, что из очага землетрясения на глубине примерно 20–30 км сейсмические воздействия в виде упругих сейсмических волн проходят десятки километров в очень разнообразном по своей структуре грунте и только потом, уже значительно ослабленные по своей интенсивности, оказывают воздействие на здания и сооружения. Но чтобы математическими способами просчитать значение показателя степени затухания интенсивности землетрясения при воздействии непосредственно на здания и сооружения, следует изучить структуру геологической среды, которая расположена между очагом землетрясения и строительными объектами.

Как известно, физико-механические свойства среды, особенности тектоники, наличие разрывных нарушений и другие факторы влияют на константы затухания сейсмического излучения [4]. Такая общая (схематичная) характеристика геологической среды приведена обоснованно, поскольку некоторые характеристики, например, остаточные деформации грунта после землетрясения, могут служить причиной разрушения зданий и сооружений. Очевиден вывод, что только математическими способами точно рассчитать степень ослабления параметров сейсмических воздействий при землетрясении на строительные объекты невозможно. Поэтому единственный надежный способ определения точных параметров сейсмических воздействий от землетрясений на здания и сооружения – использование записей сейсмических воздействий сейсмоприборами. Такая невозможность для специалистов только математическими способами определять балльность землетрясения на территории населенного пункта приведена в п. 12.2 сейсмической

шкалы ГОСТ Р 57546–2017: «Для **приблизительной оценки** интенсивности прошедшего землетрясения I (баллы) допускается использовать уравнение макросейсмического поля». Поэтому степень оснащенности населенных пунктов сейсмоприборами очень важна. Например, в Японии работают примерно 2 тыс. сейсмических станций, а в РФ с ее огромной сейсмоопасной территорией примерно 180 сейсмостанций. На основании этого факта большая часть российских специалистов в расчетах зданий и сооружений использует «приблизительные» (заниженные) параметры сейсмических воздействий при землетрясении.

Например, в 2013 г. по инициативе администрации Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН губернатору Волгоградской области была направлена рекомендация о выполнении работы по выявлению количественных характеристик у активных тектонических разломов на территории Волгоградской области [7]. Прошло 10 лет, и такая работа не начата. Более того, закрыта единственная в регионе сейсмостанция. Автор предлагает для компенсации отсутствующих данных сейсмонаблюдения использовать в расчетах по нормативным формулам СП 14.13330.2018 при определении сейсмической нагрузки дополнительные эмпирические коэффициенты надежности, которые будут увеличивать значения расчетной сейсмической нагрузки на строительные объекты. В [8] обосновано, что значения расчетной нагрузки на капитальные строительные объекты по возможности следует только увеличивать, а не уменьшать, как в некоторых нормативных документах.

Многие ученые-сейсмологи выделяют образование значительных остаточных деформаций в грунтах, которые могут стать причиной разрушения зданий и сооружений. Более того, разработана классификация для них: «...сейсмотектонические деформации... подразделяют на региональные, зональные и локальные... Региональные сейсмогенные деформации земной коры... на значительных площадях... Зональные сейсмогенные деформации – это движения сейсмогенных морфоструктур... четко ограниченных разломами... Локальные сейсмотектонические деформации – прямые признаки остаточных тектонических деформаций (разломы, флексуры, складки земной коры в эпицентральных зонах сильных ($M \geq 6.5$) землетрясений» [9]. Так, например, при Аляскинском землетрясении 27.03.1964 г. при $M=8.1-8.4$ поднятия, проседания, перекосы крупных блоков на суше и дне моря охватили как различные морфоструктуры, так и геоструктуры на площади около 300 тыс. км² [10].

Известно, что следует различать сейсмическую интенсивность, связанную с параметрами колебаний грунта и остаточными деформациями. Например, разжижение грунта происходит при 8-балльных земле-

трясениях. При этом здания могут получить повреждение, соответствующие 9 баллам, но не столько от вибрации, сколько от потери несущей способности грунта [11]. Именно поэтому следует в нормативной формуле (1) СП 14.13330.2018 предусмотреть дополнительный коэффициент по надежности ($K_{\text{ОСТ.ДЕФ}}$), учитывающий вероятность усиления сейсмического воздействия и от остаточных деформаций в грунтах после землетрясения.

Рассмотрим обоснованность значений ряда эмпирических коэффициентов в нормативных формулах (5.1) и (5.3) СП 14.13330.2018, от которых в значительной степени зависит величина расчетной сейсмической нагрузки на здания и сооружения:

$$S_{\text{jik}}^i = K_0 K_1 S_{0\text{jik}}^i; \quad (1)$$

$$S_{0\text{jik}}^i = Q_K A \beta_1 K_\psi \eta_{\text{jik}}^i, \quad (2)$$

где S_{jik}^i – расчетное значение сейсмической силы; K_0 – коэффициент надежности по ответственности зданий и сооружений, принимается по табл. 5.3 СП 14.13330.2018; K_1 – коэффициент, учитывающий способность зданий и сооружений к неупругому деформированию, принимаемый по табл. 5.4 СП 14.13330.2018; A – коэффициент, значение которого следует принимать равным 1, 2 и 4 м/с^2 для расчетной сейсмичности 7, 8 и 9 баллов соответственно; β – коэффициент динамичности, принимаемый по рис. 5.3 СП 14.13330.2018.

Рассмотрим значения указанных нормативных коэффициентов в формулах 1 и 2. В табл. 5.3 СП 14.13330.2018 для коэффициента K_0 – только для самого узкого перечня зданий и сооружений его значения равны от 1.1 и до 1.2. Так как в [12] предлагается ликвидировать классификацию капитальных зданий и сооружений населенных пунктов по их ответственности, коэффициент K_0 следует убрать из этой формулы. Основное предназначение другого коэффициента K_1 в том, чтобы значительно снизить расчетную сейсмическую нагрузку, например для панельных зданий, в четыре раза с целью образования в них при землетрясении больших значений предельно допустимых повреждений. Несогласие с возможностью использовать коэффициент K_1 в формуле (1) заключается в том, что этот коэффициент в разы занижает расчетную сейсмическую нагрузку на здания с целью получения ими при землетрясении предельно допустимых повреждений, которые могут быть только при образовании в их конструкциях максимальных значений вибрации, которая, согласно санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.566–96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» и ст. 26 Федерального закона № 384-ФЗ, резко отрицательно сказывается на здоровье людей.

Парадокс в использовании малых значений коэффициента A (ускорения грунта при землетрясении) при расчете сейсмической нагрузки для зданий и сооружений заключается в том, что его усредненные значения берутся из давно устаревшей сейсмической шкалы MSK-64, а не из уже утвержденной новой сейсмической шкалы ГОСТ Р 57546–2017 «Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности». Основное отличие новой сейсмической шкалы от устаревшей шкалы состоит в том, что в них значения коэффициента A для разных баллов землетрясений значительно превышают аналогичные значения в сейсмической шкале MSK-64. Так, например, в новой сейсмической шкале ГОСТ Р 57546–2017 при 8-балльной интенсивности землетрясения коэффициент $A=2,8$ (вместо 2 по MSK-64), а при 9-балльном землетрясении $A=7$ (вместо 4 по MSK-64). Поэтому использование значений коэффициента A из шкалы ГОСТ Р 57546–2017 приведет к значительному увеличению расчетной сейсмической нагрузки на здания и сооружения.

Рассмотрим значение коэффициента динамичности β , который в СП 14.13330.2018 равен 2,5. Следует прежде всего обратиться к его значению в первичном нормативном документе СН-8-57 «Нормы и правила строительства в сейсмических районах», которое было равно 3, т. е. было большим. Снижение значения коэффициента β с 3 до 2,5 без математического обоснования сделано примерно в середине 1990-х гг. Здесь следует прежде всего сказать, что это было сделано вопреки концепции авторов первого документа в отношении возможного изменения значения коэффициента динамичности, тем более в сторону уменьшения. Более того, авторы первоначального документа СН-8-57 предупреждали, что в последующих документах значение коэффициента динамичности β сразу для всей территории СССР корректировать нежелательно. Так, например, в [13] приводится следующая аргументация этого мнения: «Дальнейшее уточнение динамического эффекта землетрясения на сооружение в таком направлении, как это делалось вначале, а именно уточнение одного графика β для землетрясений любой силы и любого района СССР, навряд ли будет уместным. Дело в том, что динамический эффект землетрясения должен зависеть от качества грунтов и интенсивности сейсмического воздействия... и дальнейшие уточнения графика β следовало бы вести в направлении индивидуального его уточнения для различных сейсмических районов страны, а не всей территории в целом». В [14] об этом говорится более категорично: «Таким образом, можно утверждать, что каждому землетрясению присуща своя кривая динамичности β ».

Как известно специалистам, максимальная величина коэффициента динамичности зависит и от харак-

теристик колебания (затухания), которые в разных типах зданий могут быть различными (Рустанович Д.Н. Типизация землетрясений по форме колебаний, частотному составу и геологическим условиям. Сейсмическое микрорайонирование. М., 1977. С. 51–54). В СП 14.13330.2018 декремент колебания принят одинаковым для всех типов зданий, равным $\delta=0,3$ (Шапиро Г.А., Захаров В.Ф. Декременты колебаний зданий и сооружений. Конструкции крупнопанельных зданий. М., 1980. С. 20–33). Это также вносит ошибку в определение значения коэффициента динамичности [15]. Например, в НП-031-01 «Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций» коэффициент β при декременте колебания $\beta=0,31$ равен 3,2. Более того, ученые-сейсмологи показывают, что при 5% демпфировании значение коэффициента $\beta=3,4$ [16]. Исходя из вышеизложенного можно заключить, что значение коэффициента динамичности β должно быть равным 3 (как в первичном документе). Например, жилые здания в Ленинкане рассчитывались на сейсмическую нагрузку с коэффициентом динамичности, равным $\beta=3$, но при Спитакском 1988 г. землетрясении многие из них разрушились.

Далее сравним между собой сами показатели конечных чисел, которые образуют вышеперечисленные значения нормативных коэффициентов (а) и предложенные новые значения (б) с дополнительным коэффициентом надежности ($K_{\text{ОСТ.ДЕФ}}=1,1$) путем умножения ($K_0 \cdot K_1 \cdot A \cdot \beta \cdot K_{\text{ОСТ.ДЕФ}}=1,1$) для случая использования этих чисел в расчете сейсмической нагрузки по формулам (1) и (2), например для жилого панельного 9-этажного здания в 9-балльной зоне землетрясения (наиболее сильное землетрясение):

$$\text{а) } 1 \cdot 0,25 \cdot 4 \cdot 2,5 = 2,5; \quad \text{б) } 1 \cdot 7 \cdot 3 \cdot 1,1 = 23,1.$$

Поэтому здесь другие значения получили следующие коэффициенты: $K_1=1$; $A=7$; $\beta=3$, $K_{\text{ОСТ.ДЕФ}}=1,1$, а коэффициент K_0 ликвидируется.

Как видим, получилась большая разница в значениях этих чисел, среди которых нормативное число 2,5, которое используется в формулах (1) и (2) СП 14.13330.2018 для расчетов сейсмической нагрузки на здания и сооружения, а число 23,1 – по тем же нормативным формулам (1) и (2), но уже с большими значениями этих коэффициентов, да еще и с новым коэффициентом надежности ($K_{\text{ОСТ.ДЕФ}}=1,1$) строительных объектов при невозможности специалистами определить остаточные деформации в грунтах при землетрясении. Тогда получается, что при использовании новых повышенных значений коэффициентов в нормативных формулах (1) и (2) расчетная сейсмическая нагрузка на капитальные панельные здания населенных пунктов при 9-балльных землетрясениях увеличивается в 9,24 раза.

Но все же центральное место в расчетной части СП 14.13330.2018 занимает его положение в п. 5.16,

согласно которому «расчет зданий и сооружений с учетом сейсмического воздействия, как правило, выполняют по предельным состояниям первой группы». Характеристика этой группы предельных состояний дается в п. 5.1.1 ГОСТ 27751–2014 «Надежность строительных конструкций и оснований»: «К первой группе предельных состояний следует относить потерю устойчивости отдельных конструктивных элементов или сооружения в целом». Это с высокой вероятностью означает прежде всего, что если за первым главным землетрясением последует относительно сильный подземный толчок (землетрясение), то такие «значительно поврежденные» здания и сооружения населенных пунктов обязательно разрушатся с гибелью людей. Кроме того, такие именно предельно допустимые степени в СП 14.13330.2018 повреждения в зданиях и сооружениях при землетрясении свидетельствует так же, что в таких зданиях допускаются воздействия на людей и максимальных уровней вибрации их конструкций, что категорически не допускает ст. 26 Федерального закона № 384. Другими словами, использование в СП 14.13330.2018 в расчетах зданий с людьми первой группы предельных состояний следует исключить и заменить на новую третью группу предельных состояний, при которой в строительных объектах при землетрясении может образоваться только предельно допустимая первая степень повреждения по сейсмической шкале ГОСТ Р 57546–2017, при которой в конструкциях зданий при землетрясении будут образовываться только самые низкие уровни вибрации. При землетрясении в конструкциях зданий между степенями повреждений и уровнями их вибрации всегда существует только линейная зависимость: высокие степени повреждений в зданиях возможны только при высоких уровнях их вибрации.

Известна разрушительная способность повторного землетрясения 17 мая 1976 г. в г. Газли (Узбекистан), когда после второго землетрясения многие жилые и общественные здания разрушились и город продолжал функционировать в полевых условиях [10]. Или при Спитакском 1988 г. землетрясении, когда тысячи людей погибли в основном от воздействия повторного землетрясения через 4 мин 20 с после первого землетрясения. В Турции в 2023 г. кроме двух сильнейших землетрясений в течение примерно 50 дней произошло еще примерно 400 повторных подземных толчков с магнитудой $M \geq 4,0$, которые и разрушили многие города этой страны.

Высокая вероятность повторных подземных толчков обоснована учеными Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (Арефьев С.С. Эпицентральные сейсмологические исследования. М.: Академкнига, 2003. 374 с.): «...Афтершоки, сопровождающие сильное землетрясение, составляют существенную часть сейсмичности каждого рассматриваемого региона».

Кроме обычных одноочаговых землетрясений существуют еще и многоочаговые землетрясения, проявляющиеся в течение первых нескольких минут в виде нескольких сильных повторных землетрясений, очаги которых располагаются на больших расстояниях друг от друга и поэтому они, как правило, проявляются на огромных территориях [17–21]. Именно к такому многоочаговому типу землетрясений ученые-сейсмологи относят и Спитакское 1988 г. землетрясение [21]. Поэтому, анализируя статистику прошедших повторных землетрясений в [17], предложено «...принять усредненное время между основным и первым повторным землетрясением, равное 4 мин, а усредненное время между основным и вторым повторным землетрясением – 19 мин». Спустя примерно два года произошло Гаитское 2010 г. землетрясение, у которого первый подземный повторный толчок произошел через 7 мин. 33 с после главного толчка, а второй повторный толчок через 18 мин 56 с после главного толчка (как видим, точность прогноза второго повторного толчка получилась высокая – разница в 4 с). Поэтому в [18] было предложено учитывать в расчетах зданий и сооружений на сейсмические воздействия и воздействия двух первых повторных землетрясений за счет увеличения сейсмической балльности строительной площадки на один балл. 8 сентября 2023 г. в 22 ч 11 мин 1 с на территории Марокко вначале произошло основное сильное землетрясение с $M=6.8$, а через 19 мин 41 с – повторное землетрясение с $M=4.9$, при которых погибло более 2 тыс. человек. Незащищенность населенных пунктов от наводнения проявилась на территории Ливии 9 сентября 2023 г., погибло примерно 65 тыс. человек.

В [19] показано, что проявления землетрясений на Земле происходят только по правилу смены периода их затишья на период всплеска их высокой активности. Поэтому сейсмическую опасность для населенных пунктов России следует определять из данных последних периодов всплеска их активности на территории России. Как следует из приведенной последней активности землетрясений на территории России, их интенсивность была высокая, а повторяемость между сильнейшими землетрясениями в основном была равна 3–5 лет (вместо нормативной тысячи и более лет) [20]. Поэтому в [19] сделан вывод, что в расчетах капитальных зданий и сооружений населенных пунктов следует использовать только характеристики землетрясений из данных последних периодов всплеска землетрясений на территории России, а не из комплекта сейсмических карт ОСР-2015.

Факт, что комплект сейсмических карт ОСР-2015 не предназначен для защиты населенных пунктов как объектов капитального строительства, признают и его первые авторы: «Карты ОСР-97 (А, В, С) для России являются нормативным документом, позволяющим оценивать степень сейсмической опасности в средних

грунтовых условиях для объектов разных сроков службы и категорий ответственности... в течение определенного интервала времени t (в данном случае $t=50$ лет)» [20]. Как видим, комплект сейсмических карт ОСР-97 (ОСР-2015), как и СП 14.13330.2018, предназначен только для сейсмозащиты «отдельных зданий и сооружений», поэтому для них и сейсмическая опасность определена только за короткое время 50 лет, а не за время эксплуатации населенных пунктов 1 тыс. и более лет.

К существенному профессиональному недостатку в капитальной застройке населенных пунктов России следует отнести и тот факт, что возведение капитальных зданий и сооружений ведется без должного научного обоснования при выборе наиболее оптимального конструктивного их типа (наиболее прочного для конкретной территории) на основе обязательного учета как сложившихся природно-климатических, грунтовых, тектонических и т. д. условий, так и перечня опасных природных проявлений на конкретной территории. Этому способствует и соответствующая запись в п. 5.1 СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»: «...В жилых зонах размещаются жилые дома разных типов (многоквартирные, многоэтажные, средней и малой этажности...». Но при этом имеются выводы о том, что, например, при одном землетрясении разрушились в основном только каркасные здания, а здания панельные при этом устояли, при другом – каркасные не повредились, панельные здания получили серьезные повреждения. Поэтому ученые сейсмологи вынуждены были одной из основных причин разрушения каркасных зданий в г. Ленинкане при Спитакском 1988 г. землетрясении назвать неудачным выбором строителями этого типа здания [21].

Подобную обязательную научную работу для населенных пунктов России может выполнять только специально созданный государственный научно-исследовательский институт. Или предусмотреть в каждом регионе свой научный центр для выбора наиболее оптимального конструктивного решения зданий и сооружений для застройки населенных пунктов. В современных условиях такую ответственную работу, согласно п. 11 ст. 4 Федерального закона № 384-ФЗ, поручено выполнять заказчикам.

Выводы

1. Так как в комплекте сейсмических карт ОСР-2015 и в СП 14.13330.2018 при землетрясениях предусмотрена защита только для отдельно стоящих зданий и сооружений, населенные пункты РФ как объекты капитального строительства не защищены от воздействия землетрясений, зафиксированных в период 1 тыс. и более лет.

2. В расчетной части СП 14.13330.2018 основная часть капитальных зданий и сооружений населенных пунктов по причине назначения для них коротких сроков эксплуатации не менее 50 лет рассчитывается только на самые минимальные сейсмические нагрузки, что и служит основной причиной их вероятного разрушения при максимальных землетрясениях за время 1 тыс. и более лет.

3. Согласно выводам известных российских ученых [3, 10] наибольшая сейсмическая опасность при землетрясениях образуется только на территориях населенных пунктов.

4. Предложенный в СП 14.13330.2018 расчет зданий и сооружений на сейсмические воздействия только по предельным состояниям первой группы предусматривает при расчетном землетрясении наиболее вероятные две жизненные ситуации: 1) невозможность в дальнейшем эксплуатировать поврежденные здания и сооружения (наилучший вариант); 2) разрушение этих зданий и сооружений с гибелью людей при повторном землетрясении.

5. Расчет капитальных зданий и сооружений населенных пунктов только на максимальные интенсивности землетрясений, выполненный по предельным состояниям третьей группы, предоставляет этим строительным объектам следующие основные преимуще-

ства: защиту жизни и здоровья людей при максимальном землетрясении; большой срок их эксплуатации без капитального ремонта; наилучшие демографические условия в жилых зданиях для людей; значительную экономичность в конце срока их эксплуатации.

6. К значительному недостатку в строительной системе России следует отнести тот факт, что в населенных пунктах России отсутствует система сбора данных и предоставления точных параметров сейсмических воздействий при землетрясениях для использования их в расчетах строительных объектов.

7. СП 42.13330.2016 следует предусмотреть застройку населенных пунктов в сейсмоопасных районах только с оптимальными конструктивными типами зданий и сооружений на основе учета природно-климатических, геологических, гидрогеологических, тектонических, сейсмоопасных и других условий местности.

8. При разрушениях населенного пункта в России при землетрясении следует привлекать к уголовной ответственности виновных: разрушение одного здания при землетрясении – это случайность, а населенного пункта – закономерность.

Список литературы

1. Масляев А.В. Строительная система России не защищает жизнь и здоровье людей в населенных пунктах при землетрясении // *Жилищное строительство*. 2018. № 9. С. 60–63.
2. Масляев А.В. Населенные пункты России не защищены от воздействия опасных природных явлений // *Жилищное строительство*. 2019. № 5. С. 36–42. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-5-36-42>.
3. Штейнберг В.В. Колебания грунта при землетрясениях. *Источники и воздействие разрушительных сейсмических колебаний. Вопросы инженерной сейсмологии*. М.: АН СССР. Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. 1990. Вып. 31. С. 47–67.
4. Алешин А.С. Сейсмическое микрорайонирование особо ответственных объектов. М.: Светоч Плюс, 2010. 304 с.
5. Масляев А.В. Авторская парадигма строительной системы России // *Жилищное строительство*. 2020. № 1–2. С. 65–71. DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2020-1-2-65-71>
6. Масляев А.В. Необходимость образования региональных научных центров для защиты строительных объектов от воздействия опасных природных явлений // *Жилищное строительство*. 2020. № 4–5. С. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2020-4-5-56-63>
7. Масляев А.В. Первоочередные задачи строительной науки России // *Жилищное строительство*. 2023.

References

1. Maslyayev A.V. Construction system of Russia does not protect the lives and health of people in settlements during the earthquake. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2018. No. 9, pp. 60–63. (In Russian).
2. Maslyayev A.V. Russia settlements are not protected against the impact of natural hazards. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2019. No. 5, pp. 36–42. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-5-36-42>
3. Steinberg V.V. Ground vibrations during earthquakes. *Sources and impact of destructive seismic vibration. Engineering questions Neural seismology*. Moscow: ANSSSR. inst. of Physics of the Earth O.Y. Schmidt. 1990. Iss. 31, pp. 47–67.
4. Aleshin A.S. Sejsmicheskoe mikrorajonirovanie osobo otvetstvennyh ob'ektov [Seismic microdistricting of especially responsible objects]. Moscow: Svetoch Plus. 2010. 304 p.
5. Maslyayev A.V. Author's paradigm of the Russia construction system. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2020. No. 1–2, pp. 65–71. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2020-1-2-65-71>
6. Maslyayev A.V. Need to the establish regional research centers to protect construction objects from the effects of natural hazards. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2020. No. 4–5, pp. 56–63. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2020-4-5-56-63>
7. Maslyayev A.V. Priority tasks of construction science of Russia. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2023. No. 5, pp. 29–34. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2023-5-29-34>

- № 5. С. 29–34. DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2023-5-29-34>
8. Гинзбург А.В., Масляев А.В. Защита населенных пунктов при опасных природных явлениях – главная цель строительной системы России // *Жилищное строительство*. 2021. № 5. С. 29–34. DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2021-12-35-44>
 9. Хромовских В.С., Солоненко В.П., Щукин Ю.К. Современная динамика литосферы континентов. Методы изучения. М.: Недра. 1989. 278 с.
 10. Кофф Г.Л., Рюмина Е.В. Современный риск (люди, управление). М.: Полтекс. 2003. 108 с.
 11. Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. М.: Наука и образование, 2012. 176 с.
 12. Масляев А.В. Необходимость признания населенных пунктов России объектами капитального строительства // *Жилищное строительство*. 2022. № 8. С. 28–37. DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2022-8-28-37>
 13. Корчинский И.Л., Бородин Л.А., Гроссман Б.А. Сейсмостойкое строительство зданий. М.: Высшая школа, 1971. 320 с.
 14. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий. М.: Стройиздат, 1969. 336 с.
 15. Черных Е.Н. Сезонные вариации диссипативных характеристик зданий // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2007. № 6. С. 19–21.
 16. Алешин А.С., Капустян Н.К., Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О. Отзыв о проекте СНиП «Строительство в сейсмических районах» // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2008. № 2. С. 26–27.
 17. Масляев А.В. Основные критерии сейсмозащиты зданий и сооружений при землетрясении // *Жилищное строительство*. 2008. № 12. С. 24–26. DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2008-12-24-26>
 18. Масляев А.В. Сейсмостойкость зданий с учетом повторных сильных толчков при землетрясении // *Промышленное и гражданское строительство*. 2008. № 3. С. 45–47.
 19. Масляев А.В. Проблема сейсмической опасности для населенных пунктов России // *Жилищное строительство*. 2023. № 1–2. С. 21–27. DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2023-1-2-21-27>
 20. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территорий Российской Федерации ОСР-97. Масштаб 1: 8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: М-во науки и технологий РФ. РАН. Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта. 1999.
 21. Пирузьян С.А., Кроненберг С.Б. Влияние многоочаговых землетрясений на сейсмическое движение // *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2010. Т. 37. № 1. С. 16–39.
 8. Ginzburg A.V., Maslyayev A.V. Protection of localities in hazardous natural phenomena is the main purpose of the Russian construction system. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2021. No. 5, pp. 29–34. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2021-12-35-44>
 9. Khromovskikh V.S., Solonenko V.P., Shchukin Yu.K. *Sovremennaja dinamika litosfery kontinentov. Metody izuchenija* [Modern dynamics of the lithosphere of continents. Methods of studying]. Moscow: Nedra, 1989. 278 p.
 10. Koff G.L., Ryumina E.V. *Seismicheskii risk (vidy, otsenka, upravlenie)* [Seismic risk (types, assessment, management)]. Moscow: Poltex. 2003. 108 p.
 11. Aptikaev F.F. *Instrumentalnaya shkala seismicheskoy aktivnosti* [Instrumental scale of seismic intensity]. Moscow: Nauka. Obrazovanie. 2012. 176 p.
 12. Maslyayev A.V. The need to recognize the settlements of Russian as objects of capital construction. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2022. No. 8, pp. 28–37. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2022-8-28-37>
 13. Korchinsky I.L., Borodin L.A., Grossman B.A. *Seysmostoykoe stroitelstvo zdaniy* [Earthquake-resistant construction of buildings]. Moscow: Vyshaya shkola. 1971. 320 p.
 14. Polyakov S.V. *Seysmostoykiye konstruksii zdaniy* [Earthquake-resistant structures of buildings]. Moscow: Vyshaya shkola. 1969. 336 p.
 15. Chernykh E.N. Seasonal variations of dissipative characteristics of buildings. *Seysmostoykoe stroitelstvo. Bezopasnost' sooruzhenii*. 2007. No. 6, pp. 19–21. (In Russian).
 16. Aleshin A.S., Kapustyan N.K., Aptikaev F.F., Erteleva O.O. Response about project SNiP “Building in seismic paradise-onah”. *Seysmostoikoe stroitelstvo, Bezopasnost' sooruzhenii*. 2008. No. 2, pp. 26–27. (In Russian).
 17. Maslyayev A.V. Core criteria of seismoprotection of buildings and constructions at earthletshake. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction] 2008. No. 12, pp. 24–26. (In Russian).
 18. Maslyayev A.V. Seismic stability of buildings taking into account repeated strong pushes at earthquake. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo*. 2008. No. 3, pp. 45–47. (In Russian).
 19. Maslyayev A.V. The problem of seismic hazard for russian settlements. *Zhilishchnoe Stroitelstvo* [Housing Construction]. 2023. No. 1–2, pp. 21–27. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.316590044-4472-2023-1-2-21-27>
 20. Ulomov V.I., Shumilina L.S. The Complete set of cards of the general seismic division into districts of territory of Russian Federation OSR-97. Scale 1: 8000000. An explanatory note and the list of cities and the settlementns located in seismodangerous areas. Moscow: Incorporated institute of physics of the Earth of O.Yu. Schmidt. 1999.
 21. Piruzyan S.A., Kronenberg S.B. The influence of multi-focal earthquakes on seicosmic motion. *Voprosy engenernoy seismologii*. 2010. Vol. 37. No. 1, pp. 16–39. (In Russian).

Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до пяти журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Жилищное строительство» для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

Библиографические списки цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–3 года в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние пять лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

ВНИМАНИЕ! С 1 января 2020 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам»!

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате *.doc или *.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графическом редакторе Adobe Illustrator и сохранен в форматах *.ai, *.eps соответственно. Сканирование графического материала и импортирование его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате *.tif, *.psd, *.jpg (качество «8 – максимальное») или *.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Жилищное строительство», ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»[®] был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала https://journal-cm.ru/images/Начинающему_автору.pdf

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://rifsm.ru/page/7/> или журнала www.journal-hc.ru/index.php/ru/avtoram



- Подпорные стены
и ограждение котлованов

- Укрепление грунтов

- Укрепление склонов
и откосов

- Устройство свайных
оснований

- Усиление фундаментов

- Противофильтрационные завесы
(горизонтальные и вертикальные)



PBS

Petro Building Systems

КАССЕТНАЯ УСТАНОВКА


ПОВЫШЕННОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ

Кассетная установка Petro Building Systems позволяет вертикально формировать однослойные стеновые панели с ровной поверхностью с двух сторон.

Эта установка экономит производственные площади и снижает затраты на изготовление продукции.

pbsspb.com
zakaz@pbsspb.com
+7 (812) 318-46-60

ПРЕИМУЩЕСТВА КАССЕТНОЙ УСТАНОВКИ PETRO BUILDING SYSTEMS

-  **Усиленный каркас рубашек**
Особая конструкция каркаса не даст формирующей поверхности деформироваться со временем
-  **Высокая точность отсеков**
Допуск плоскостности рубашек 1.5 мм на 3 метра
-  **Ремонтопригодная система обогрева**
Уникальная технология от PBS, не имеющая аналогов
-  **3 варианта теплоносителя**
Вы можете выбрать пар, масло или воду
-  **Свободный доступ ко всем рабочим поверхностям**
Такое решение упрощает и ускоряет процесс эксплуатации установки
-  **Универсальность**
Простота переналадки на выпуск разных по размерам изделий
-  **Обучение персонала**
Онлайн-платформа для сотрудников заводов, обучающая работе на оборудовании
-  **Доказанная надежность**
Проверенные отзывы от ведущих заводов ЖБИ

**СРОК
ОКУПАЕМОСТИ**

1 год

**СКОРОСТЬ ВЫХОДА НА
ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ
МОЩНОСТЬ**

1 мес

**ИНДИВИДУАЛЬНОЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

