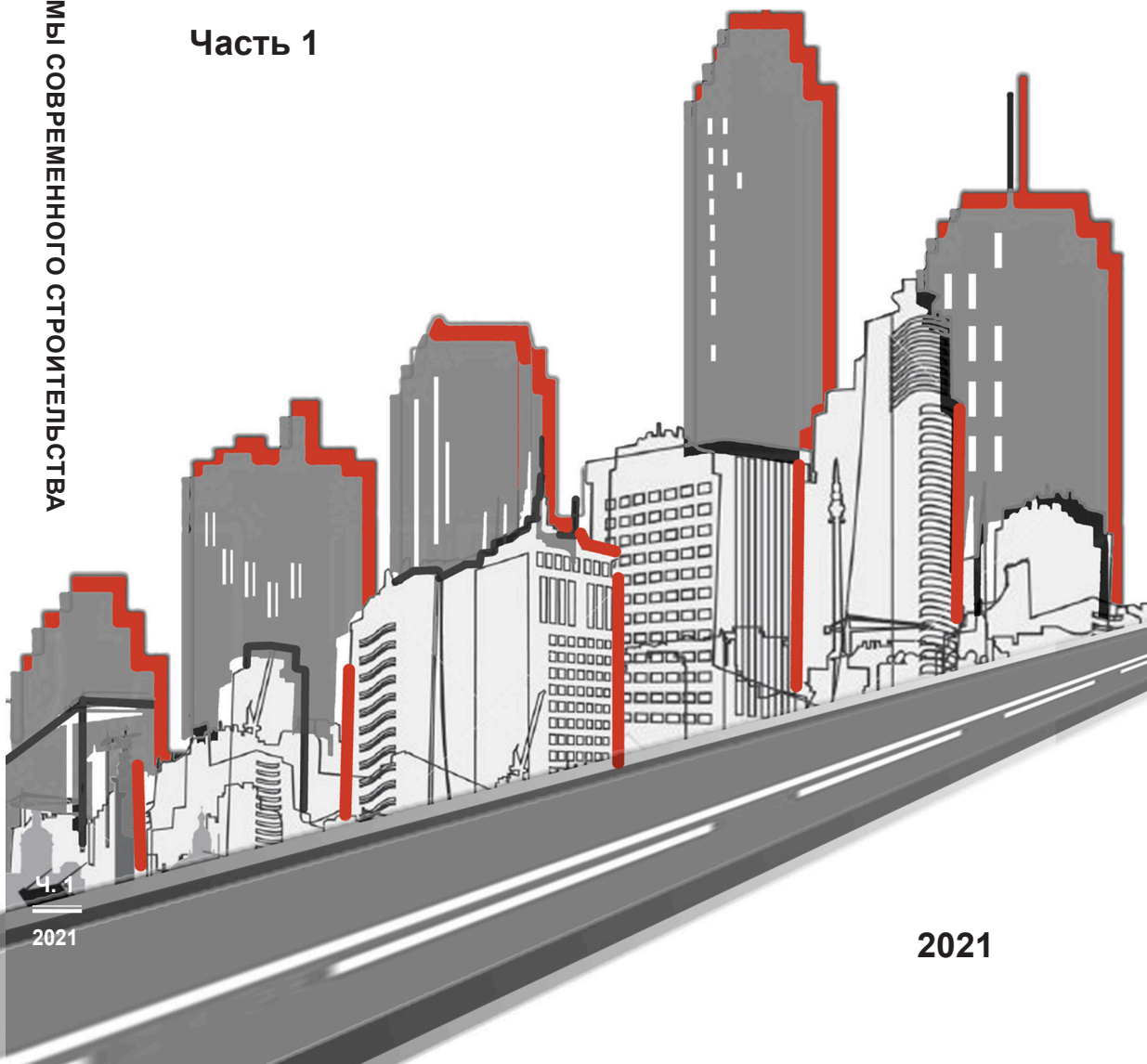




# АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Часть 1

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА



4  
2021

2021

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный  
архитектурно-строительный университет

# **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

## **Часть 1**

Материалы LXXIV Всероссийской  
научно-практической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых

5–9 апреля 2021 года

Санкт-Петербург  
2021

УДК 69(063)  
А 437

*Рецензенты:*

д-р техн. наук, профессор *Ю. А. Беленцов* (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I);  
д-р техн. наук, профессор *Т. А. Белаиш* (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I)

**Актуальные проблемы современного строительства** : материалы LXXIV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых [5–9 апреля 2021 года] : в 2 ч. – Ч. 1. – Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2021. – 271 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-9227-1193-7  
ISBN 978-5-9227-1194-4

Представлены труды студентов, аспирантов и молодых ученых Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета и других высших учебных заведений.

*Редакционная коллегия:*

проректор по научной работе *И. В. Дроздова* (председатель);  
декан архитектурного факультета *Ф. В. Перов*;  
декан автомобильно-дорожного факультета *А. В. Зазыкин*;  
декан строительного факультета *А. Н. Панин*;  
декан факультета инженерной экологии и городского хозяйства *И. И. Суханова*;  
декан факультета экономики и управления *Г. Ф. Токунова*;  
декан факультета судебных экспертиз в строительстве  
и на транспорте *Д. В. Иванов*;  
председатель Совета молодых ученых *П. В. Подопригора*;  
председатель Студенческого научного общества *Т. Х. Аблязов*;  
специалист Управления научной работы *Л. В. Груба* (ответственный редактор)

*Печатается по решению Научно-технического совета СПбГАСУ*

ISBN 978-5-9227-1193-7  
ISBN 978-5-9227-1194-4

© Авторы статей, 2021  
© Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2021  
© Дизайн обложки: Е. Измайлова, Т. Попова

# АРХИТЕКТУРА

---

**УДК 725.29**

*Анастасия Викторовна Бредихина,*  
аспирант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: elle0072008@yandex.ru*

*Anastasia Viktorovna Bredikhina,*  
postgraduate student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: elle0072008@yandex.ru*

## **ИСТОРИЯ И РЕНОВАЦИЯ ПАССАЖЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

### **HISTORY AND RENOVATION OF THE PASSAGES OF ST. PETERSBURG**

Проанализированы история существования и проблемы современного использования торговых пассажей. Кратко рассмотрены их виды, особенности и отличия от других типов торговых зданий. Выявлены основные проблемы современного существования пассажей и способы их решений. Подобраны наиболее подходящие и актуальные способы реновации. Приведены примеры особенно интересных и разнообразных решений по современному использованию пассажей. Сделаны выводы об актуальности рассматриваемых зданий и их помещений. Разработаны основные подходы к реновации пассажей с учетом объекта сохранения (интерьер магазина, фасад, характер оформления витрин, различные их комбинации). Даны рекомендации по подбору современной функции объекта. Доказаны историко-культурная ценность пассажей и необходимость их сохранения.

*Ключевые слова:* пассаж, магазин, реновация, торговля, архитектура, объекты культурного наследия.

The article examines the history of the existence and problems of the modern use of shopping passages. Their types, features and differences with other types of commercial buildings are briefly reviewed. The main problems of the modern existence of passages and the ways of addressing these problems are revealed. The most suitable and relevant methods of renovation of the commercial buildings under consideration were selected. Examples of particularly interesting and varied solutions for the modern use of passages are given. Conclusions are made about the relevance of the buildings under consideration and their premises. The main approaches to the renovation of

passages have been developed, considering the object of conservation (store interior, facade, the nature of window dressing, their various combinations). Recommendations for the selection of the modern function of the object are given. The historical and cultural value of the passages and the need to preserve them have been proved.

*Keywords:* passage, shop, renovation, trade, architecture, cultural heritage sites.

## **Введение**

Появившиеся в начале XIX в., пассажи являлись революционными зданиями своего времени, предназначенными в первую очередь для «благородной» публики. Они сочетали в себе черты популярных торговых рядов и являлись прообразами будущих универсамов и современных торговых центров. В городе, пассажи занимали наиболее популярные и посещаемые места, привлекая на свою территорию большое количество людей. Их благородное оформление, применяемые конструктивные и технические решения делают их важными историко-культурными объектами, подлежащими сохранению. Здания эти интересны как с архитектурной, так и с градостроительной точки зрения. Их расположение в городской планировочной системе является уникальным по сравнению с остальными торговыми зданиями [1]. Важной проблемой является поиск наиболее оптимальных решений по их современному использованию с учетом сохранения их уникальных характеристик.

## **История развития пассажей**

Первые пассажи появились в конце XVIII в. и стремительно распространились сначала на территории Парижа и Франции, а потом и за рубежом [2]. Они стали прототипами современных торговых центров, объединив торговлю и развлечения под одной стеклянной крышей. Своим появлением они обязаны двоюродному брату Людовика XVI герцогу Филиппу Орлеанскому. Получив в наследство Пале-Рояль или «королевский дворец», герцог предпринимает попытку модернизации его сада. Отделив часть сада каменной колоннадой, он покрыл получившееся пространство стеклянной крышей, где оборудовал 60 арочных пролетов. Торговцы с удовольствием занимали новые торговые места, несмотря на огромную арендную стоимость. Получившаяся галерея приобрела особое расположение парижан и превратилась

в центр городской жизни. На территории галереи были открыты магазины, рестораны, кафе, залы для игр. Герцог Орлеанский добился того, чтобы в его галерею не заходила полиция. Поэтому, когда была отменена цензура прессы, галерея стала местом, где активно обсуждались параграфы предложенной конституции.

Впоследствии галерею Пале-Рояль начали активно копировать, и на правом берегу Парижа стало появляться большое количество подобных построек. Таким образом, изобретение герцога Орлеанского положило начало целой эпохе в городском строительстве.

Галереи были очень удобны тем, что позволяли сокращать пути движения и соединять бульвары и улицы. Стеклянные крыши защищали товары и гуляющих людей от атмосферных осадков и грязи. Поэтому в основном там толпилась так называемая «чистая» публика. Постепенно пассажи превращались в изящные дорогие магазины, центры парижской моды. Всего в Париже насчитывалось около 150 разнообразных пассажей, из которых сохранилось лишь 30 [2].

К 30-м гг. XIX в. пассажи распространились по всей Европе и впервые пришли в Россию. Одной из первых стала московская галерея князя Голицына, постройки архитектора Быкова 1835–1839 гг. (рис. 1).



Рис. 1. Голицынский пассаж: внутренний вид. Гравюра XIX в.

В Петербурге в качестве первого пассажа упоминается постройка на Щукином дворе (Апраксин двор). Но наиболее известным стал пассаж на Невском проспекте, инновационный проект XIX в. Построенный в 1840-е гг., он сочетал в себе все технические достижения того времени [3].

Первоначальный проект, разработанный Рудольфом Желязевичем, предполагал простую переделку уже существовавшего здания. Но император Николай I порекомендовал устроить проход прямо посередине участка, что и было сделано. Подобная симметрия выглядела более выигрышно, но существенно замедлила строительство и сделала его очень дорогим. Для выполнения требования дом, который предполагалось перестроить, пришлось снести.

Открытие нового столичного магазина состоялось в мае 1848 г., а в конце XIX в. здание сильно пострадало от пожара и потребовало реконструкции. Для разработки проекта был приглашен штатный инженер торгового центра Сергей Козлов. Процесс реконструкции предполагал не только реставрацию фасадов и интерьеров, но и глубокую модернизацию самого здания. В ходе модернизации был надстроен этаж, изменено оформление фасада на Невском проспекте и, самое главное, изменена конструкция стеклянной крыши: в целях предотвращения будущих пожаров деревянные конструкции (рис. 2) были заменены на металлические. Из технических нововведений был установлен самый большой в те времена лифт, электростанция для освещения и обогрева.

В 1933 г., после окончательной национализации, уже в качестве государственного образцово-показательного универмага «Пассаж» претерпел очередную реконструкцию: по проекту знаменитого конструктивиста Ноя Троицкого галереи стали анфиладными, а посередине были устроены лестницы и мост-переход.

С 1961 г. «Пассаж» стал первым в СССР предприятием, специализирующимся на торговле товарами для женщин. В конце XX в. проведена большая работа по восстановлению его исторического облика.

Сегодня пассажи, как в России, так и в мире, сохранили свое значение торговых объектов с выраженной досуговой функцией.



Рис. 2. Интерьер Пассажа в середине XIX в.

Классифицировать типы пассажей можно по двум большим категориям (рис. 3).



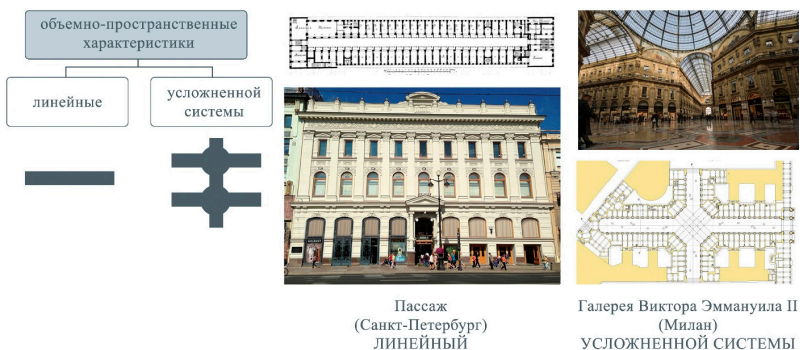


Рис. 3. Классификация пассажей

### Современные проблемы существования пассажей

Несмотря на многие свои плюсы как в расположении, так и в объемно-планировочной организации, многие пассажи страдают от ряда проблем, не позволяющих им в полной мере раскрыть свои уникальные характеристики, а в отдельных случаях угрожающих их существованию.

- *Низкая посещаемость.* В ряде случаев здания страдают от низкой посещаемости. Это относится, в первую очередь, к пассажирам, расположенным чуть в стороне от основных туристических направлений, либо в местах с повышенной конкуренцией. Пассаж на Невском проспекте, несмотря на выгодное местоположение, часто стоит почти не заполненный посетителями.

- *«Агрессивная» реклама.* В стремлении привлечь внимание клиента, арендаторы могут использовать рекламные баннеры, указатели и вывески, которые сильно выделяются на фоне интерьера здания (иногда и экстерьера), что в итоге ухудшает целостное восприятие интерьера пассажа.

- *Дорогая аренда.* Содержание такого здания, как пассаж, поддержание его в надлежащем виде, проведение своевременных ремонтов и реставраций является дорогостоящим предприятием. Его центральное положение также влияет на завышенную стоимость аренды, что во многих случаях отпугивает владельцев магазинов.

- *Ориентированность на зарубежных туристов.* Поскольку пассажи являются одними из наиболее презентабельных и известных торговых зданий в городе, они привлекают большое внимание туристов. С одной стороны, это плюс как для здания, так и для города, но с другой является большим минусом. Здание становится ориентированным в основном на приезжих и, его внутренние наполнение соответствует, в первую очередь, их запросам, обходя интересы местных жителей. В городах с выраженной сезонностью туристического потока это приводит к тому, что на протяжении неблагоприятного сезона здание пустует.

### **Основные способы реновации пассажей**

- *Регулирование размера торговой ячейки с помощью легких перегородок.* Как и торговые ряды, пассажи имеют ячеистую планировочную систему, что при реновации может помочь регулировать размер арендуемой торговой ячейки под потребности пользователя [4] (рис. 4).

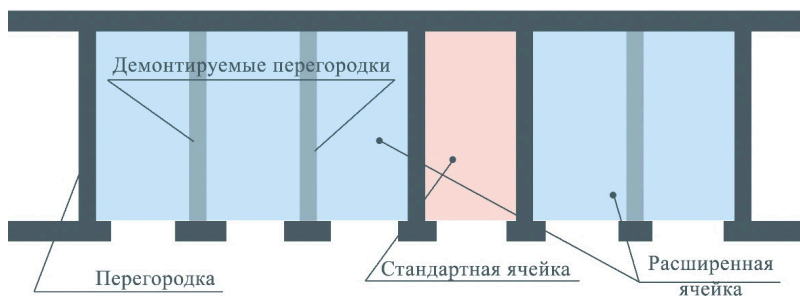


Рис. 4. Схема возможного регулирования торговой ячейки

- *Реставрация фасадов и интерьеров.* Ключевым в поддержании презентабельного вида здания и его историко-культурной ценности является проведение своевременных ремонтов и реставраций с учетом сохранения выделенного предмета охраны.

- *Освоение пространства «улицы».* Сам крытый переход, по обе стороны которого расположены магазины, тоже является площадью, которую можно задействовать. В зависимости от размера

его можно использовать как дополнительное пространство кафе или ресторана, рекреационную зону, пространство для временных выставок или выступлений, для размещения торговых точек.

- *Современное оснащение и соответствие современным санитарно-гигиеническим требованиям.* При разработке проектных решений необходимо позаботиться о комфорте и безопасности посетителей. Это напрямую влияет на популярность и возможность использования здания. В первую очередь, необходимо оснастить здание удобными и современными санузлами. В некоторых пассажах при строительстве или реконструкции уже были заложены лифты, которые можно реставрировать или воссоздавать и использовать. В дополнение к ним, а также в здании, где лифты не были предусмотрены, можно устанавливать эскалаторы (рис. 5). К другим средствам современного оснащения относятся системы вентиляции и кондиционирования, пожарные системы и сигнализации, громкоговорители и др.



Рис. 5. ГУМ в г. Москве (Россия): установленные в зале эскалаторы

- *Мостики через «улицу».* Наличие таких переходов помогает сократить и упростить пути передвижения по пространству пассажи (рис. 6). Кроме того, они также могут быть задействованы в ка-

честве дополнительных площадей (к примеру, при размещении на них столиков или скамеек) [5].

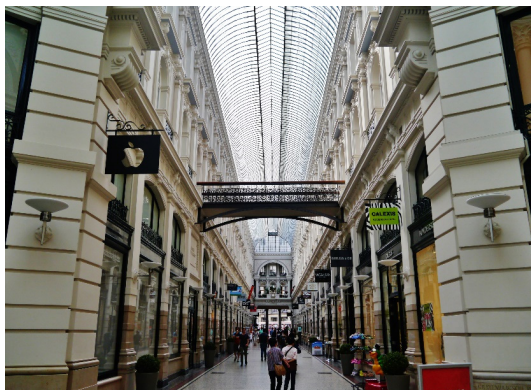


Рис. 6. Пассаж в г. Гааге (Нидерланды): надземные переходы

- *Архитектурная подсветка.* Чтобы здание привлекало посетителей не только днем, но и в вечерние часы, необходима продуманная архитектурная подсветка, которая может как подчеркнуть характерный образ здания, так и создать что-нибудь принципиально новое (рис. 7).



Рис. 7. Рынок Линденхолл в г. Лондоне (Великобритания)

## Выводы

Как видим, пассажи имеют высокий потенциал использования и широкий выбор применяемых при их приспособлении решений. Все это позволяет им удовлетворять современным требованиям и сегодня, как и раньше, быть современными и перспективными для использования объектами.

Обобщая сказанное, можно сделать следующие выводы:

- пассаж – переходный тип от торговых рядов к универсамам;
- здания совмещают в себе характеристики торговых рядов и универсамов;
- за счет стеклянной крыши имеют хорошее естественное освещение;
- площадь крытых переходов может быть задействована дополнительно;
- пассажи – современные многофункциональные объекты;
- исследуемые здания имеют удобное местоположение;
- гибкие в вопросах приспособления;
- совмещают в себе красоту и функциональность.

## Литература

1. *Бойко В. П., Ситникова Е. В.* Сибирское купечество и формирование архитектурного облика города Томска в XIX – нач. XX в. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2008. 180 с.
2. *Плотникова А. Н.* Пассажи как архитектурное явление XIX века и их роль в современной архитектуре // Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/passazhi-kak-arhitekturnoe-yavlenie-xix-veka-i-ih-rol-v-sovremennoy-arhitekture/viewer> (дата обращения: 22.03.2021).
3. *Шумилкин С. М.* Пассажи России периода классицизма // Арх. мира. Вып. 1. Материалы конф. М., 1992. С. 108–113.
4. *Бредихина А. В.* Исторические гостиные двory и торговые ряды. Возможности их реновации // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2020. № 9. С. 46–56.
5. *Возняк Е. Р., Махова Т. Д.* Методы организации (использование комплексного подхода) современного общественного пространства на примере реконструкции территории острова Новая Голландия в Санкт–Петербурге // Успехи современной науки. 2017. Т. 5. № 2. С. 125–129.

УДК 72.025.4

*Ирина Сергеевна Ильдерякова,*  
студент  
(Российский университет транспорта)  
*E-mail: irina-ild@yandex.ru*

*Irina Sergeevna Ilderyakova,*  
student  
(Russian University of Transport)  
*E-mail: irina-ild@yandex.ru*

**МОСКОВСКИЙ ОПЫТ РЕНОВАЦИИ ЖИЛОГО  
ФОНДА ПЯТИЭТАЖНЫХ ПАНЕЛЬНЫХ ДОМОВ  
И ВОЗМОЖНОСТЬ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ  
ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО РАЗВИТИЯ  
ТЕРРИТОРИЙ РЕГИОНОВ РОССИИ**

MOSCOW EXPERIENCE IN THE RENOVATION  
OF THE HOUSING STOCK OF FIVE-STORY PANEL  
HOUSES AND CONSIDERATION OF THE POSSIBILITY  
OF ITS APPLICATION FOR THE INTEGRATED  
DEVELOPMENT OF THE TERRITORIES  
OF THE REGIONS OF RUSSIA

В соответствии со вступившим в силу законом о комплексном развитии территорий перед регионами стоит выбор: либо перенять опыт московской реновации, когда панельные пятиэтажные жилые дома сносятся и взамен строятся многоэтажные дома, либо выбрать собственный подход, анализируя свою ситуацию с жилым фондом, а также учитывая успешные примеры реновации в российских и зарубежных городах. Московский опыт реновации достаточно радикален, он не учитывает индивидуальные особенности регионов, поэтому не всегда подходит для применения в них по ряду архитектурных, историко-культурных и экономических причин, которые и рассматриваются в настоящей статье.

*Ключевые слова:* комплексное развитие территорий, реновация, реконструкция, программа московской реновации, пятиэтажные панельные дома.

In accordance with the law on the integrated development of territories that came into force, the regions have a choice: either to adopt the experience of Moscow renovation, when panel five-storey residential buildings are to be demolished and multi-storey buildings are being built instead, or to choose their own approach, analyzing the situation with the housing stock in their region, and also taking into account successful examples of renovation in Russian and foreign cities. The Moscow experience of renovation is quite radical, does not consider the individual characteristics of the

regions, therefore, it is not always possible to use them for a number of architectural, historical, cultural and economic reasons, which will be considered in the article.

*Keywords:* integrated development of territories, renovation, reconstruction, Moscow renovation program, five-storey panel houses.

Период индустриального домостроения второй половины прошлого века оставил нам огромное наследие в виде панельных пятиэтажных районов. Только в Москве находится более 8000 пятиэтажек, большинство из которых идет под снос в рамках программы московской реновации. Комментарии к принятому в конце прошлого года Федеральному закону от 30.12.2020 № 494-ФЗ «О внесении изменений в Градостроительный кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях обеспечения комплексного развития территорий» предполагают, что регионы должны идти по московскому пути реновации – сносу панельных пятиэтажных домов [1]. Однако, учитывая огромную разницу региональных городов и столицы, влияющую на важные критерии для осуществления закона, можно заключить, что массово на сегодняшний день это практически невозможно реализовать.

Главной причиной является экономическая. В Москве программа сноса пятиэтажных панельных домов финансируется из бюджета города. Положение дел в регионах принципиально отличается, поскольку финансовых ресурсов там существенно меньше [2]. Вышеупомянутый ФЗ № 494 предполагает привлечение инвестиций для реализации программы.

Процесс проектирования и строительства новых жилых домов достаточно автоматизирован на сегодняшний день в России, во многих проектах использована *BIM*-концепция, которая также позволяет сокращать расходы строительства. Таким образом, застройщик, используя различные инструменты, получает максимальную экономию, а впоследствии и увеличение прибыли от нового строительства жилых домов или кварталов. Тогда как застройщик, работающий по программе сноса пятиэтажных панельных домов, получает дополнительные расходы на демонтажные работы, имеет задание на проектирование с возможным ограничением высотности дома (например, в центре города для сохранения исторического

архитектурного облика), что приводит к уменьшению количества квартир и снижению прибыли. Эти факторы могут влиять на привлекательность для инвесторов [3].

Решением описанной экономической проблемы может стать альтернативный сносу подход, а именно реновация, подразумевающая комплексные мероприятия по улучшению и реконструкции существующей жилой застройки, без нарушения её целостности. Для панельных пятиэтажных микрорайонов необходимо уплотнение застройки, строительство новых домов средней этажности, а также создание объектов инфраструктуры. Это будет значительно выгоднее для инвесторов и застройщиков, учитывая, что количество квадратных метров жилья может быть приближённым к варианту со сносом существующего жилого дома и строительством на его месте многоэтажного дома. На сегодняшний день такие концепции уже разработаны [4].

Не менее важной причиной отказа от реализации московской реновации в регионах является утрата архитектурной цели зданий, которая должна обеспечивать комфортную внутреннюю среду, удобную и безопасную для жизнедеятельности человека. Для горожан связь между плоскостью улицы и высокими зданиями теряется после пятого этажа [5]. К тому же, возведённые на месте пятиэтажных панельных домов, здания повышенной этажности, а также высотные, могут визуально выделяться из общей градостроительной панорамы города.

Третьей причиной является необходимость сохранения историко-культурных следов старой пятиэтажной застройки. За счёт этого остаётся не только память поколений, но и выдерживается комфортная протяжённость фасадов, не создающая эффекта бесконечной непроницаемой стены.

В Калининграде некоторые пятиэтажные панельные здания было решено не только реконструировать, но и придать им облик, соответствующий истории города (рис. 1).

Четвёртая причина – это отсутствие информации о качестве построенных домов по программе московской реновации. Новые дома, соответствующие требованиям закона о реновации, будут



введены в эксплуатацию только в 2021 г. и позднее, а ранее дома, в которые переселяли жильцов, просто адаптировали под программу [2]. Немаловажным фактором качества также является то, что закон о реновации позволяет при строительстве отступать от строительных, санитарно-эпидемиологических, пожарных и экологических норм, давая возможность заменить их полученными от региональных властей разрешениями работать по специальным техническим условиям.

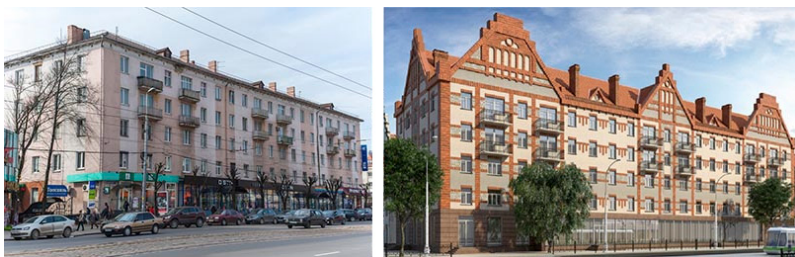


Рис. 1. Калининградская программа реновации панельных домов.  
*Источник: журнал RE DEVELOPER*

Подход каждого отдельного региона к реновации пятиэтажного панельного жилого фонда должен быть индивидуальным. Для реализации современного и комфортного жилого района с пятиэтажными панельными домами должны быть соблюдены условия комплексного подхода.

1. *Целесообразность.* Как правило, пятиэтажные панельные дома не относятся к аварийному или ветхому жилью, которое попадает под снос в соответствии с законодательством. Но тем не менее, этим жилым домам необходимо инженерное обследование с целью определения физического износа здания, чтобы спрогнозировать период его будущей эксплуатации.

2. *Общественное мнение.* Мнение жителей панельных пятиэтажных домов должно учитываться при создании концепции, а также проекта реновации зданий в рамках района.

3. *Учёт истории района и его особенностей.* Для районов с пятиэтажной панельной застройкой, в которой существуют парки,

скверы, водоёмы, проходят реки, установлены памятники, присутствует хорошее озеленение, разнообразный рельеф, при проектировании необходимо не только сохранить, но и преумножить эти ресурсы.

4. *Реконструкция существующих домов.* Изменение планировок квартир и установка лифтов при необходимости, надстройка верхних этажей, пристройка входных групп и других помещений, а также в случае, если в рамках капитального ремонта не была произведена замена инженерных коммуникаций, её необходимо проводить. Повышение энергоэффективности дома также является обязательным пунктом. Кроме этого, следует внедрять умные технологии по типу умного дома для экономии ресурсов на эксплуатацию.

5. *Уплотнение застройки.* Возведение в районе с пятиэтажными панельными домами новых жилых домов средней этажности, зданий инфраструктуры, обслуживающих предприятий, в которых будет возможно размещение парковочных мест на подземных этажах, создание общественных пространств – всё это в целом благоприятно отразится на привлекательности района, а также решит проблему с привлечением инвестиций.

6. *Благоустройство района.* При проектировании необходимо учесть доступность придомовых территорий, а также и всего района для маломобильных групп населения, удобство велосипедных и беговых дорожек, отсутствие большого количества заборов для удобства прохода пешеходов, дополнительные маршруты и остановки общественного транспорта при необходимости, а также создание зелёных зон отдыха.

Отказ от московского опыта реновации и применение описанного подхода к реновации районов пятиэтажных панельных домов поможет регионам не только выполнить требования ФЗ № 494 о комплексном развитии территорий, но также увеличить жилищный фонд, количество коммерческих предприятий, сохранить бюджеты городов, а также сделать районы современными, сохраняя наследие.

### **Литература**

1. *Слободян Е.* Сколько пятиэтажек в городах России. Инфографика // Аргументы и факты. URL: [https://aif.ru/dontknows/infographics/skolko\\_pyatietazhek\\_v\\_gorodah\\_rossii\\_infografika](https://aif.ru/dontknows/infographics/skolko_pyatietazhek_v_gorodah_rossii_infografika) (дата обращения: 03.03.2021).

2. *Бычков А. И.* Программа реновации жилищного фонда. Столичный опыт и федеральные перспективы. М.: Инфотропик, 2020. 136 с.
3. *Баширов Б.* Уфу подводят к реновации // Коммерсантъ. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3765651> (дата обращения: 10.04.2021).
4. *Авдеева А.* Зюзино. Реновация здорового человека // Городские проекты. URL: [https://city4people.ru/static/album\\_zuzino.pdf](https://city4people.ru/static/album_zuzino.pdf) (дата обращения: 23.02.2021).
5. *Горнова Г. В.* Соразмерность города и человека: категорический императив градостроительства // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования. 2016. № 2. С. 22–25.

УДК 727:72.012.1

*Виктория Вадимовна Лазина,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: lavita\_ars@mail.ru*

*Victoria Vadimovna Lazina,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: lavita\_ars@mail.ru*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ОБЪЕМНО- ПЛАНИРОВОЧНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ УЧРЕЖДЕНИЙ ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

### **MODERN PRINCIPLES OF STACKING PLANNING OF GENERAL EDUCATION INSTITUTIONS**

Проектируя общеобразовательные учреждения, архитекторы учитывают взаимосвязь архитектурных решений, окружающей среды, существующего естественного и искусственного ландшафта, социально-экономических процессов и градостроительной ситуации. Современные потребности людей и ценностные ориентиры общества в образовательной сфере диктуют поиск новых принципов организации учебного пространства, нацеленных на создание комфортной и полезной среды. В данной статье рассмотрен мировой опыт проектирования современных школ, определены сравнительные характеристики и выявлены основные принципы объёмно-планировочной организации учреждений общего образования. Актуальность вопроса определяется как архитектурной, так и социальной значимостью темы, ведь именно школа, где мы проводим значительную часть своей жизни с детства до юношеских лет, не только вкладывает в нас знание общеобразовательных программ, умения, навыки, компетенции, но и является платформой для приобретения коммуникативных навыков, определения вкусовых предпочтений, понимания социального мира и приспособления к нему.

*Ключевые слова:* общеобразовательные учреждения, объёмно-планировочные принципы, зонирование, планировочная структура, образование, школа.

Architects, when designing educational institutions, consider the interconnection of architectural solutions, the environment, the existing natural and artificial landscape, economic processes, and urban planning situation. The modern needs of people and the value orientations of society in the educational sphere dictate the search for new principles for organizing the learning space, aimed at creating a comfortable

and useful environment. This article examines the world experience of designing modern schools, identifies comparative characteristics and identifies the basic principles of the spatial planning organization of general education institutions. The relevance of the work is determined by both the architectural significance of the topic and the social one, because it is the school where we spend part of our life from childhood to adolescence, it does not only invests in us knowledge of general education programs, skills, it is a platform for acquiring communication skills, determining taste preferences, understanding, and adapting to the social world.

*Keywords:* educational institutions, space-planning principles, zoning, planning structure, education, school.

В настоящее время во многих странах, в частности и в России, существует необходимость в создании качественно новых образовательных пространств: все развитые страны уделяют большое внимание образованию подрастающего поколения, понимая, что это и есть основная инвестиция в будущее и гарантия развития экономики, науки и культуры в стране. В связи с необходимым увеличением количества возводимых образовательных учреждений, актуальным вопросом является объёмно-планировочная организация учебного пространства с учетом современных принципов проектирования.

Согласно Федеральному закону от 29.12.2012 № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», образовательные организации подразделяются на четыре типа в соответствии с образовательными программами, реализация которых является основной целью их деятельности: дошкольная образовательная организация, общеобразовательная организация, профессиональная образовательная организация, образовательная организация высшего образования [1]. В статье рассматриваются вопросы архитектуры общеобразовательных организаций. «Общеобразовательная организация – образовательная организация, осуществляющая в качестве основной цели ее деятельности образовательную деятельность по образовательным программам начального общего, основного общего и (или) среднего общего образования» [1].

По статистическим данным, в России наблюдается рост учеников: сейчас в школах учатся 16 млн детей и подростков, а к 2024 г. их численность составит почти 20 млн. Однако, по данным ведомства,

за годы оптимизации системы образования число сельских школ сократилось почти вдвое, а городских – на четверть [2].

Для проведения сравнительного анализа, результатом которого является выявление современных принципов объемно-планировочной организации общеобразовательных учреждений, были выбраны следующие сравнительные характеристики:

- 1) местоположение: страна, населенный пункт; городское/загородное строительство;
- 2) виды общеобразовательных организаций;
- 3) перечень основных функциональных зон;
- 4) типология общественных пространств;
- 5) трансформация и мобильность помещений;
- 6) типология и особенности расположения учебных помещений;
- 7) педагогическая система образования;
- 8) социализация и оптимизация учебного заведения.

В качестве зарубежных и отечественных примеров, реализованных за последние 20 лет, выбраны:

1) *опыт зарубежных стран*: академия Эвелин Грейс (Великобритания, Лондон; арх. бюро *Zaha Hadid Architects*, 2006–2010 гг. [3]), здание старшей школы Воген (Норвегия, Саннес; арх. бюро *LINK Arkitektur*, 2011 г. [4]); международный лицей Нельсона Манделы (Франция, Нант; арх. студия Франсуа Леклерка, 2011–2014 гг. [5]); начальная школа Оливье де Серра (Франция, Париж; арх. Жан-Франсуа Шмит, 2014 г. [6]); гимназия Гаммель-Хеллеруп (Дания, Хеллеруп; арх. бюро *BIG*, 2013 г. [7]); начальная школа Яткасаари (Финляндия, Хельсинки; арх. *AOR Architects*, 2019 г.) [8];

2) *отечественный опыт*: школа «Точка Будущего» (Иркутск; бюро *Cebra, UNK project*, 2015–2020 гг. [9]); школа в Мамонтовке (Пушкино; бюро *ADM*, 2013 г. [10]); школа-пансион «Летово» (Москва; арх. бюро *Atelier pro и Atrium*, 2018 г. [11]); школа-интернат в Кожухово (арх. бюро *Atrium*, 2018 г. [12]).

В результате проведенного сравнительного анализа были выделены принципы, характерные для современных образовательных учреждений.

1. Во всех рассмотренных примерах зданий образовательных учреждений имелись в наличии следующие функциональные зоны:

- учебные помещения для начальной школы;
- учебные помещения для средней и старшей школ;
- рекреационные помещения;
- спортивные зоны, в состав которых обязательно входят физкультурные залы и, в зависимости от масштаба сооружения, в дополнение гимнастические, танцевальные площадки, тренажёрный зал;
- столовая с кухней;
- зона актового зала с фойе и дополнительными помещениями;
- вестибюльная зона;
- помещения школьной администрации;
- помещения медицины.

В качестве дополнительных зон, появляющихся в зависимости от типов образовательных учреждений и конкретных объектов, можно выделить:

- спортивную зону (увеличение площадей для размещения бассейнов для начальной, средней и старшей школ);
- жилую зону;
- зону специализированных помещений: дополнительные классы для углубленного изучения иностранных языков/технических или гуманитарных предметов; изобразительно-художественные пространства; залы зрелищного типа; помещения музыкально-инструментального направления; научно-исследовательские пространства; помещения для занятия садоводством (теплицы/зимние сады).

2. В новых общеобразовательных учреждениях появляются не только трансформируемые и мобильные классные комнаты, но и разнообразные общественные пространства, которые в жизни школьников играют большую роль. Сегодня эти пространства – внутренние и внешние, – имея свои определенные модели организации, становятся и рекреацией, и местом для проведения общественных мероприятий, и центром общения, и даже местом обучения. Наиболее удачные решения общественных зон образовательных учреждений представляют собой многоуровневые,

атриумные, террасируемые и комбинированные пространства, которые проектируются с учетом возрастных групп, функционального насыщения и количества занимаемой площади (рис. 1). И, как следствие, соотношение их площади к классно-ячейстым помещениям становится все больше.



Рис. 1. Общие пространства образовательных учреждений

3. Можно выделить несколько условных видов планировочной структуры учебной зоны: коридорная, галерейная, лучевая, центрическая, комбинированная (рис. 2). Выбор структуры зависит от контекста: в какой среде идет проектирование, какие климатические условия преобладают, какой формы выделяется участок и каково его зонирование, функциональное планирование здания.

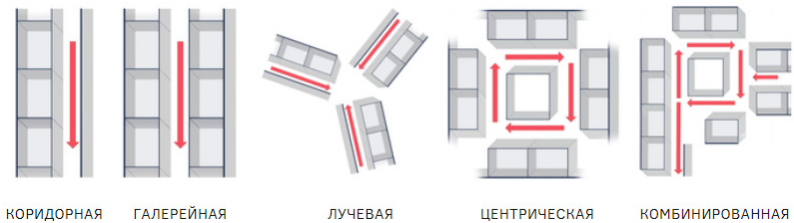


Рис. 2. Планировочные структуры учебной зоны

4. На архитектурно-дизайнерские решения и объёмно-планировочную структуру учебного заведения могут влиять особенности осуществляемой педагогической системы и специализация по общей или профессиональной направленности (см. табл.) [13].



**Организация учебного пространства в зависимости от применяемой образовательной методики**

№	Методика	Организация пространства
1	Метод Марии Монтессори	Помещения в школах Монтессори разбиты на пять секторов, каждый из которых несет свою информативную функцию. То, что находится вокруг, должно способствовать познанию. Классные помещения большие и светлые. Помещения оборудованы таким образом, чтобы в разных их частях можно было одновременно заниматься разными делами. Ребенок сам выбирает, что он будет делать и с кем. Обязательно должно быть место для отдыха, куда дети уходят по своему желанию
2	Вальдорфская педагогика	Для начальной и средней школ объемно-планировочное пространство должно быть свободным, трансформируемым и иметь сообщение с внешней средой. А для старшей школы – уже соответствовать уровню академической подготовки, носить более серьезный и традиционный характер
3	Педагогическая система Лоуренса Кольберга	Для развития чувства коллективизма, которому способствовали разнообразные виды совместной деятельности, предполагаются различные рекреационные помещения и/или возможность трансформации классного помещения, нацеленные на проведение внеучебной деятельности
4	Метод Харкнесса	Небольшие помещения для 15 (примерно) человек с возможностью размещения круглого/овального стола для переговоров
5	Школы Садбери	В помещении есть множество комнат, обустроенных для обучения, но в их интерьере угадывается скорее загородный домик или летний лагерь. В каждой школе Садбери свой тип учебных пространств: какими им быть, решают ученики

5. Появляется возможность использования школьного помещения или зон для нужд города во внеучебное время. Иными словами, происходит внедрение городских функций в структуру учебного пространства: например, в спортивных залах проводятся общегородские или микрорайонные соревнования, а в актовом – лекции, семинары, выборы-голосования.

6. Мировой опыт проектирования образовательных школ показывает приверженность малоэтажному строительству: количество этажей варьируется от двух до четырех. Согласно своду правил, действующих в Российской Федерации, количество наземных этажей здания следует принимать с учетом класса конструктивной пожарной опасности здания и вместимости в соответствии с СП 2.13130. Допускается увеличение предельной этажности зданий до пяти этажей при условии размещения на последнем только административных и служебных помещений [14].

7. В качестве еще одной особенности необходимо выделить внешнее отличие современных школ в плане использования вида ограждающих конструкций. Существует прямая связь между качественным обучением, состоянием здоровья школьников и освещением внутри помещения. По итогам анализа можно сделать вывод, что у большинства рассматриваемых примеров, в отличие от традиционных для конца XX – начала XXI вв. активно используется витражное остекление, которое одновременно работает и на создание ощущения единства внутреннего и внешнего пространств. Такая среда становится не только полезной, но и открытой, трансформируемой [15].

Выявленные современные принципы объёмно-планировочной организации учреждений общего образования помогут архитекторам уже на этапе концепции проектировать качественные пространства, отвечающие последним требованиям общества. Эти принципы, нацеленные на повышение качества окружающего пространства, затрагивают различные уровни воздействия на главного нашего потребителя – детей. Поэтому так важно предусмотреть все возможные формообразующие элементы и сделать их достоянием архитектурно-художественного облика объекта.

### Литература

1. Об образовании в Российской Федерации: Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 08.12.2020). URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_140174/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_140174/) (дата обращения: 25.03.2021).
2. *Калюков Е.* Счетная палата сообщила о резком сокращении числа школ в России // РБК: информационный портал. URL: <https://www.rbc.ru/society/28/06/2019/5d16366a9a7947d218d79f3a> (дата обращения: 20.03.2021).
3. Академия Эвелин Грейс в Лондоне (Великобритания) // Архи.ру: информационный портал URL: <https://archi.ru/projects/world/700/akademiya-evelin-grais> (дата обращения: 20.03.2021).
4. *Хогланд Г.* Здание старшей школы Воген в Саннес (Норвегия) // Портфолио LINK arkitektur. URL: <https://linkarkitektur.com/Projekter/Vaagen-videregaende-skole-og-Sandnes-kulturskole?sp=19819%2C21295%2C19808%2C18735> (дата обращения: 20.03.2021).
5. Лицей Нельсона Манделы // Архи.ру: информационный портал. 2016. 25 января. URL: <https://archi.ru/projects/world/9324/licei-nelsona-mandely> (дата обращения: 20.03.2021).
6. *Фролова Н.* Начальное «зеленое» образование. Экологичная школа «Оливье де Серр» в Париже от бюро Жана-Франсуа Шмита, в проектировании которой участвовали ее ученики // Архи.ру: информационный портал. 2015. 22 июля. URL: <https://archi.ru/world/63572/nachalnoe-zelenoe-obrazovanie> (дата обращения: 20.03.2021).
7. Газон на крыше гимназии: один из лучших проектов последних лет // ZinCo: информационный портал компании. 2018. 18 января. URL: <https://www.zinco.ru/gazon-na-kryshe-gimnazii-odin-iz-luchshix-proektov-poslednix-let/> (дата обращения: 20.03.2021).
8. Не просто школа, а новая достопримечательность Яткясаари // SRV: официальный сайт компании. 2019. 13 декабря. URL: <https://www.srv.fi/stories/ei-ihan-tavanomainen-koulu-vaan-jatkasaaren-uusi-maamerkki/> (дата обращения: 20.03.2021).
9. Образовательный комплекс «Точка будущего» в Иркутске // Архи.ру: информационный портал. 2020. 23 ноября. URL: <https://archi.ru/russia/86177/arkhitektura-kak-instrument-obucheniya> (дата обращения: 20.03.2021).
10. *Городинская А.* Спектральный анализ // Архи.ру: информационный портал. 2014. 26 ноября. URL: <https://archi.ru/russia/58532/back-to-school> (дата обращения: 20.03.2021).
11. Школа-пансион «Летово» // Atrium: официальный сайт компании. URL: <https://atrium.ru/project/shkola-letovo> (дата обращения: 20.03.2021).
12. Школа-интернат в Кожухово (Россия) // Atrium: официальный сайт компании. URL: <https://atrium.ru/project/shkola-internat-dlya-detej-sirot-v-kozuhkovo> (дата обращения: 20.03.2021).

13. Федоров О. П., Григорьева Д. С. Влияние социальных структур и процессов на архитектурно-градостроительные концепции // Современные проблемы истории и теории архитектуры: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 159–165.

14. СП 251.1325800.2016. Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования // Электронный фонд правовых и нормативно-правовых документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139445> (дата обращения: 20.03.2021).

15. Фёдоров О. П., Лазина В. В. Стекло в архитектуре как инструмент работы над архитектурной концепцией // Современные проблемы истории и теории архитектуры: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. СПб.: СПбГАСУ, 2018. С. 165.

**УДК 624.04**

*Анастасия Игоревна Пустотина,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: nastya.2397@mail.ru*

*Anastasia Igorevna Pustotina,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: nastya.2397@mail.ru*

## **СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ АРХИТЕКТУРНО- ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЦЕНТРОВ**

### **MODERN PRINCIPLES OF ARCHITECTURAL AND URBAN DESIGNING OF MEDICAL RESEARCH CENTERS**

На основе анализа зарубежного и отечественного опыта проектирования выявляются и обобщаются современные принципы и подходы к проектированию медицинских научно-исследовательских центров. Затрагиваются актуальные проблемы медицинских учреждений, а также современная научная и нормативно-техническая база их проектирования в РФ. Рассматриваются особенности создания научно-исследовательских блоков, позволяющие средствами организации пространства повысить эффективность взаимодействия специалистов. В качестве выводов сформулированы некоторые архитектурно-градостроительные, функционально-планировочные и композиционные аспекты проектирования, а также критерии соответствия концепции устойчивой архитектуры.

*Ключевые слова:* научно-исследовательский центр, функциональная программа, мультидисциплинарность, архитектура здоровья, медицинский центр.

Based on the analysis of foreign and domestic design experience, the article identifies and summarizes modern principles and approaches to the design of medical research centers. The article examines the existing problems of buildings for medicine, as well as the modern scientific and regulatory framework for the design of medical institutions in the Russian Federation. The features of the creation of research blocks are considered. The means of organizing space, which allow to increase the efficiency of interaction between specialists are also considered. Some architectural and urban planning, functional planning, compositional aspects of design, as well as criteria for compliance with the concept of sustainable architecture are formulated as conclusions.

*Keywords:* research center, functional program, multidisciplinary, health architecture, medical center.

Растущие социальные потребности в сфере здравоохранения, прогресс в сфере медицинской науки, расширение диапазона функций медицинских учреждений, инвестиционная привлекательность объектов здравоохранения, внедрение государственных программ по развитию сети медицинских учреждений требуют решения вопросов проектирования и развития современных медицинских научно-исследовательских центров. В связи с интеграцией различных функций (лечение, реабилитация, психологическая помощь, научные исследования, обучение) в рамках многофункциональных комплексов, большое значение приобретает эффективная организация пространства, а также качество архитектуры.

В недалеком прошлом строительство медицинских учреждений в России велось по типовым проектам в виде панельных поликлиник или brutальных больничных комплексов, архитектурный облик которых часто носил антигуманный характер. Кроме того, существует еще ряд проблем:

- разобщенное расположение различных функциональных блоков, что приводит к существенному снижению эффективности работы сотрудников;
- административный режим пребывания пациентов, как следствие закрытость архитектуры по отношению к окружающему пространству;
- жесткая объемно-планировочная структура научно-исследовательских блоков, отсутствие способности к трансформации с учетом изменяющихся требований исследований [1].

В РФ разработан ряд государственных программ, касающихся вопросов лечения и реабилитации: «Национальная стратегия по борьбе с онкологическими заболеваниями на долгосрочный период до 2030 года», «Национальный проект «Здоровье». В данных документах содержится ряд предложений, которые ставят новые задачи перед проектированием медицинских научно-исследовательских центров [2]: внедрение и развитие высокоэффективных методов лечения; разработка и внедрение в клиническую практику

инновационных продуктов; реализация принципов трансляционной медицины (активного переноса современных фундаментальных исследований в эффективную медицинскую практику).

В настоящее время в России наблюдается подъем интереса к теме проектирования зданий медицины, разработан ряд нормативных документов, основным из которых является СП 158.13330.2014 «Здания и помещения медицинских организаций». В архитектурной практике существует достаточно много удачных примеров создания комплексных медицинских научно-исследовательских центров, однако ощущается недостаток нормативных документов и рекомендаций по проектированию зданий для научных исследований. Отсюда возникает научный интерес к исследованию данной темы. Актуальными являются вопросы градостроительного, функционально-планировочного и композиционного решений объекта, а также принципы экологической устойчивости при строительстве и эксплуатации здания.

С архитектурно-градостроительной точки зрения медицинские объекты с течением времени обрели монументальность и стали играть большую роль в жизни современного города. При их размещении необходимо проанализировать расположение других медицинских организаций, в том числе образовательных, придерживаясь принципа кооперации, создания кластеров, «лечебных городков». Необходимо учитывать наличие развитой транспортной сети. Важным является наличие территориального ресурса для перспективного развития кластера. Размещение объекта вблизи рекреационных зон позволит использовать их в целях оздоровления и реабилитации.

По мнению Эдцарта Шульца, одного из партнеров ведущего немецкого бюро *Heinle, Wischer und Partner*, специализирующегося на проектировании медицинских комплексов, современное медицинское здание должно проектироваться по схеме, близкой к структуре работ Пита Мондриана, нидерландского художника [3]. В основе композиции лежат свободно скомпонованные и заполняющие холст пространственные сетки. При проектировании необходимо заранее предусмотреть некоторое количество незаполненных ячеек, где впоследствии разместится одна из новых функций постоянного развивающегося медицинского здания [3] (рис. 1).

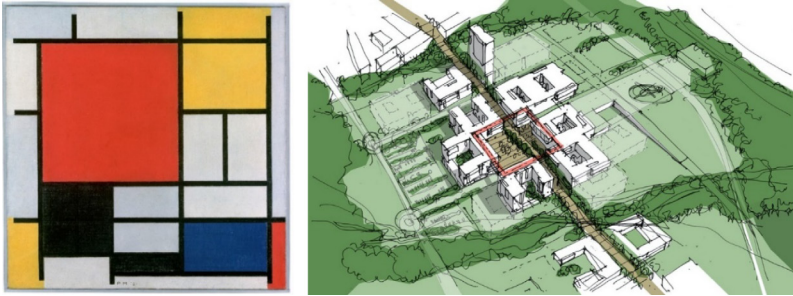


Рис. 1. Композиция картины П. Мондриана (слева) и перспективное развитие генерального плана Университетской клиники Ставангера (бюро *Nordic*; г. Осло, Норвегия) (справа)

С точки зрения функционально-планировочной организации одним из самых важных вопросов является вопрос создания единого междисциплинарного пространства. Объединение множества функций в пределах одного объекта позволяет создать медицинский комплекс по принципу «город в городе», что обеспечивает эффективное взаимодействие специалистов, а также повышает комфорт пациентов. Сложные функциональные процессы организации лечебной и научной деятельности требуют планировочного разделения потоков пациентов и персонала – устройство служебных зон, отдельные лифты и лестницы, иерархия системы входов.

Одним из важных принципов при проектировании является принцип гуманизации среды, эта концепция направлена на снижение тревоги, стресса, психологического дискомфорта у пациента. Поэтому необходимо включение в функциональную программу комплекса смежных блоков, таких как реабилитация, психологическая и паллиативная помощь, а также объектов социальной инфраструктуры (магазины, кафе, парикмахерские, открытые и частные места неформального общения). Наличие образовательного блока ставит задачи создания группы учебных пространств различной конфигурации: симуляционные кабинеты, лекционные аудитории, конференц-залы.

При проектировании научно-исследовательского блока необходимо придерживаться принципа гибкой планировки, способной



обеспечить трансформацию пространств для поддержания интенсивности исследований, а также их адаптации к изменяющимся требованиям. Также возникает необходимость создания архитектурно-планировочных решений, поддерживающих межличностное общение между специалистами всех областей в процессе наукоориентированного информационного обмена, как основного фактора генерации новых идей [1]. К таким решениям относятся лабораторные пространства открытого типа, основные преимущества которых:

- коммуникативная рабочая среда;
- прямые и короткие пути сообщения;
- сокращение площадей коридоров и проходов, как следствие увеличение площади лабораторий;
- упрощенная структура – меньше стен и дверей, отсутствие барьеров в случае пожара, возможность создания различных организационных сценариев пространства.

Однако такой тип планировки имеет ряд недостатков: увеличение чистой площади пола – большие экономические затраты, низкая звукоизоляция, отсутствие приватности. Следовательно, лучшим решением становится сочетание приемов открытой планировки и классических лабораторий-кабинетов (рис. 2).

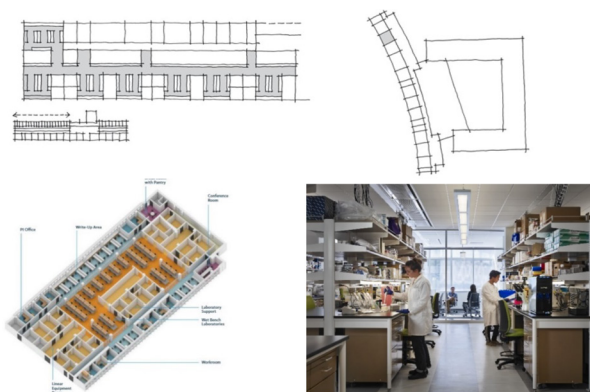


Рис. 2. Планировочные схемы лабораторий открытого типа (слева) [4, с. 51], стандартных кабинетов-лабораторий (справа) [4, с. 51] и лабораторных пространств смешанного типа (снизу) (Институт клинических и трансляционных исследований; бюро ZGF Architects)

Концепция гуманизации лечебной среды также проявляется в композиционном аспекте, включение в структуру объема озелененных пространств – «лечебных садов» позволяет создать дружелюбную атмосферу, снижает уровень стресса у пациентов.

Одной из основных проблем многих лечебных и научно-исследовательских учреждений является большая пространственная протяженность, разобщенное расположение различных функциональных блоков, что ограничивает доступность, открытость, возможности перспективного развития и расширения комплекса, увеличивает длину функциональных связей. Компактная компоновка всех функциональных зон возможна при сравнительно небольшой площади комплекса, создании композиции высотного типа или создании мегаструктуры. Анализ опыта проектирования показывает, что преобладающей композиционной схемой является расчлененная схема, при этом важной задачей становится организация удобных функциональных связей. Связующим звеном разных функциональных блоков может служить система атриумных пространств, используемых также как места отдыха и общения.

Одним из основных критериев при проектировании современного медицинского комплекса становится критерий устойчивости. Устойчивость выражается в экономии энергии на всех уровнях: использование энергоэффективных систем отопления, вентиляции, кондиционирования, композиционно-планировочных решений пассивной архитектуры; а также в снижении отрицательного воздействия здания и его систем на окружающую среду и здоровье человека: использование экологически чистых природных материалов, безопасные технологии возведения и эксплуатации здания, рациональное использование ресурсов [4].

Таким образом, можно выделить основные аспекты проектирования современных медицинских научно-исследовательских центров:

- кластерный подход при проектировании, кооперация с существующими объектами медицины, расположение разных медицинских и социальных функций в пределах локальной территории;
- проектирование на перспективу: с учетом будущего развития и модернизации объекта, закладывание необходимого территориального ресурса для развития;

- интеграция объекта с природным окружением, использование рекреационного потенциала территории в оздоровительных целях;
- создание единого междисциплинарного пространства по принципу «город в городе» в целях эффективного взаимодействия всех групп пользователей;
- выстраивание оптимальных функциональных связей при компоновке функциональных блоков;
- развитие взаимодействия между сотрудниками (между учеными в рамках наукоориентированного обмена, учеными и клиницистами), а также между сотрудниками и пациентами с помощью архитектурно-планировочных приемов;
- использование принципов устойчивой архитектуры при проектировании комплекса.

#### Литература

1. *Ложинов И. Ю., Банцеровва О. Л.* Проблемы архитектурно-планировочной организации зданий и комплексов зданий научно-исследовательских институтов // АМІТ. 2014. № 3(28). С. 1–17. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/> (дата обращения: 11.02.2021).
2. *Гайдук А. Р.* Архитектурные принципы объемно-планировочной организации детских клинико-реабилитационных онкологических центров: автореф. дисс. ... канд. архитектуры: 05.23.21. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2015. 21 с. URL: <https://www.dissercat.com/content/arkhitekturnye-printsipy-obemno-planirovochnoi-organizatsii-detskikh-kliniko-reabilitatsionn/read> (дата обращения: 11.02.2021).
3. Назарова М. П., Барковская А. Ю., Янин К. Д. Социокультурные аспекты организации архитектурного пространства для медицинской деятельности // Logos et Praxis. 2015. № 2. С. 68–74. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsiokulturnye-aspekty-organizatsii-arhitekturnogo-prostranstva-dlya-meditsinskoj-deyatelnosti> (дата обращения: 26.02.2021). (дата
4. *Braun H., Grömling D.* A design manual research and technology buildings // Birkhäuser – Publishers for Architecture. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-7643-7672-7>.
5. *Савельев В. Г., Хафизов Р. Р.* Устойчивость в архитектуре современных медицинских комплексов // Известия КазГАСУ. 2018. № 2(44). С. 88–97. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ustoychivost-v-arhitekture-sovremennyh-meditsinskih-kompleksov> (дата обращения: 26.02.2021).

УДК 72.033+72.017

*Дарья Андреевна Рена,*  
аспирант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: repkazubka@mail.ru*

*Daria Andreevna Repa,*  
postgraduate student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: repkazubka@mail.ru*

## **АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ ЗНАНИЯ В ЭПОХУ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ**

### **ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION KNOWLEDGE IN THE MIDDLE AGES**

Дан обзор архитектурно-строительных знаний эпохи Средневековья в контексте развития архитектурных стилей западноевропейского зодчества. Приведена краткая историческая справка, рассмотрены особенности становления средневекового типа культуры. Определена взаимосвязь архитектуры и средневекового мировоззрения. Указаны основные стилистические направления архитектуры данного периода: дороманские архитектурные стили (V–X вв.) – Меровингское царство (V–VIII вв.), эпоха Каролингов (VIII–IX вв.), Оттоновский период (X в.); романский стиль (XI–XII вв.); готический стиль (XII–XIV вв.). Рассмотрены функциональные, конструктивные, объемно-пространственные и планировочные особенности каждого направления.

*Ключевые слова:* архитектура, Средневековье, архитектурные стили, конструктивное решение, характерные особенности.

The article is devoted to the review of architectural and construction knowledge of the Middle Ages in the context of the development of architectural styles of Western European architecture. A brief historical background is given, and the features of the formation of the medieval type of culture are considered. The interrelation of architecture and medieval worldview is determined. The main stylistic directions of architecture of this period are given: Pre-Romanesque architectural styles (V–X centuries) and its periods: the Merovingian Kingdom (V–VIII centuries), the Carolingian Era (VIII–IX centuries), the Ottonian period (X century); Romanic style (XI–XII centuries); Gothic style (XII–XIV centuries). In each of these directions, functional, structural, spatial, and planning features are considered.

*Keywords:* architecture, Middle Ages, architectural styles, constructional solution, characteristic features.

На протяжении многих лет период с середины V в. по середину XV в. было принято считать временем невежества или «темным временем». С одной стороны, данная формулировка обусловлена малым количеством сохранившихся письменных источников и свидетельств. С другой, Средневековье относили к периоду цивилизационного коллапса из-за повсеместной разрухи, запустения и безграмотности. Однако современная наука отказалась от привычного взгляда на Средние века, опровергнув устоявшуюся точку зрения.

Наступление Средних веков связывают с падением Западной Римской империи и возникновением на ее территории королевств, основанных варварами, не знавшими и не понимавшими ценностей римской культуры [1]. Несмотря на это, тысячелетний период Европейского Средневековья демонстрирует постепенное совершенствование орудий труда и смену социального отношения к политической и религиозной организации общественной жизни. Возникшие именно в эту эпоху перемены дали стимул становлению предпринимательства и торговли, обеспечившим позднее перелом в Новое время.

Тяготение культуры Средневековья к духовной жизни повлияло на архитектурные предпочтения в пользу церквей и монастырей, чему также способствовали бесчисленные крестовые походы и паломничества. Светская же архитектура этого периода представляла собой замковые постройки и крепости враждующих королей и феодалов.

Архитектура, как часть системы средневековых образов и культур, имела догматическую трактовку христианской теологии. Архитектурная теория приобретала метафизический характер, что предопределяло общность знаний об архитектуре, а не ее специфическое содержание. Эти знания сформировались путем естественного смешения фрагментов античного наследия и мифологии [2]. Можно сказать, что Средневековье переработало античные знания, развив и дополнив некоторые его аспекты с учетом новой идеологии. Такое направление развития архитектурной теории сохранялось на протяжении веков.

Несмотря на то, что архитектура не выступала в качестве отдельного, специфического предмета внутри теологии, она призна-

валась как особая область выражения со своим специфическим языком и способностью трактовать разные проявления средневекового мировоззрения [3].

Архитектура Средневековья включает в себя три основных стилистических направления:

- дороманские архитектурные стили (V–X вв.);
- романский стиль (XI–XII вв.);
- готический стиль (XII–XIV вв.).

Дороманский архитектурный стиль, или прероманская архитектура, охватывает период в пять веков:

- 1) меровингское царство (V–VIII вв.);
- 2) эпоха Каролингов (VIII–IX вв.);
- 3) оттоновский период (X в.).

Меровингское искусство, названное по имени правящей династии германских племен франков, считается отправным периодом на пути формирования средневековых стилей. Для архитектуры этого направления характерны сочетания особенностей языческой, варварской культуры и античного искусства [4]. Одним из важнейших элементов меровингского стиля стал орнамент. Он широко использовался в декорировании любых поверхностей: порталов соборов, алтарных преград, деревянных кресел, церковной и бытовой утвари, ювелирных изделий, рукописных книг [5].

К архитектуре меровингского периода относят памятники, расположенные на территории центральной и северной Франции (собор Сен-Леонс, Фрежюс; церковь Сен-Лоран, Гренобль; баптистерий Сен-Жан, Пуатье). Эти сооружения часто возводили по римской технологии, используя кладку из мелкого кирпича, черепичную кровлю, мраморные колонны с античными капителями [4]. К особенностям объемно-пространственного решения меровингских храмовых построек можно отнести использование ярких вертикальных доминант – башен. Характерной чертой декорирования фасадов и интерьеров являются рельефы и барельефы «звериного» и «геометрического» стилей.

Продолжением традиций Меровингского стиля стало развитие Каролингского искусства. В 800 г. после коронации Карла I Великого

и образования первой средневековой Империи, включавшей Францию, Германию, Голландию, Бельгию, северную Италию и Испанию, была сформирована централизованная власть, при которой идеология и искусство сонаправлено подчинялись единой политической программе. В результате, такой подход привел к культурному подъему и позднее был назван Каролингским возрождением. Опираясь на военное сословие и церковь, Карл Великий predetermined будущее общественное развитие, церковь стала частью государственной системы, а наделенные землями военачальники образовали феодалный класс [5].

В этот период каменное строительство занимало ведущую позицию в архитектуре, однако до нашего времени почти ничего не сохранилось. Немногочисленные уцелевшие постройки свидетельствуют об эклектичных переплетениях античных и варварских мотивов (Ахенская капелла, Лоршский монастырь).

Монастыри, как правило, представляли собой многосоставный архитектурный комплекс, с базиликой в центре композиции. Из-за деформации пространства между трансептом и апсидой каролингская базилика по форме плана напоминала латинский крест [6]. Другим новшеством архитектуры этого периода стали башни, объединенные с основным корпусом здания, на пересечении трансепта и главного нефа. Благодаря такому сочетанию объемов, базилика с восточными и западными хорами и трансептами приобрела типичный для западноевропейских храмовых построек силуэт. Важно отметить, что культовые сооружения Каролингской эпохи не имели прямой связи с античным искусством, а напротив, являли собой образ, порожденный новыми социокультурными стремлениями и потребностями.

К X в. правящей династией становится саксонская династия королей, основанная Оттоном Великим. По причине отдаленности территорий Саксонии от Рима, античная культура не оказала влияния на архитектуру и искусство этого периода. Основывая свои художественные идеи отчасти на искусстве каролингской эпохи, оттоновский стиль, тем не менее, определил новый вектор его развития [2].

Интенсивное строительство монастырских комплексов, возникшее из-за укрепления церковной власти, повлияло на количе-

ство и характер новых построек. Базилики приобрели более монументальные и непреступные формы, напоминая уже крепостные сооружения с массивными стенами и маленькими оконными проемами. Определившиеся в это время характерные особенности почти не имели следов воздействия античных форм. Стоит отметить, что многие исследователи рассматривают оттоновское искусство как ранний этап становления Романского стиля [5, 7, 8].

Важной особенностью Романского стиля является факт его одновременного формирования во всех крупных европейских странах (Англия, Германия, Испания, Италия, Франция). Именно этот стиль, несмотря на имеющиеся национальные различия, стал первым общеевропейским стилем, отличающимся от предшествующих мерovingского, каролингского и оттоновского. Однако романская архитектура, опираясь главным образом на достижения прошлых лет, формировалась под сильным влиянием традиций античного, византийского и арабского искусства [1]. К характерным чертам романского периода относят сочетание массивности, величественности, тяжеловесности стен с миниатюрными, узкими оконными и дверными проемами, а также синтез простого архитектурного силуэта с лаконичной наружной отделкой.

Такой подход во многом был обусловлен царившей тогда феодалской раздробленностью и междоусобицами, определявшими в свою очередь оборонительную функцию в архитектуре, как основную. В результате, первым приоритетным направлением в строительстве стало возведение крепостей башенно-донжонного типа (*фр.* donjon – господская башня), где главное строение оборонного комплекса представляло собой двух-трехэтажную глухую башню квадратной, круглой, многоугольной или фестонной формы с жилой и оборонительной функциями [7, 9].

Вторым фактором, влияющим на количество, характер и конструктивные особенности сооружений, было господство церкви. Именно она сводила задачу эстетического идеала к демонстрации подлинной красоты духа, а не внешнего облика. Таким образом, христианская форма красоты выражалась в идее превосходства духовного над телесным, проявляясь в контрасте между



монументальностью очертаний постройки и ее духовной экспрессией образа [2].

Возрождение церковного строительства повлияло на формирование монашеских орденов и усложнение их ритуальных процессий, вследствие чего, возникла необходимость в трансформации привычных объемов базилики (расширение объема трансептов и хоров, увеличение количества приделов). Вслед за структурными изменениями последовало усовершенствование строительных техник возведения. На смену старым деревянным перекрытиям пришли каменные конструкции, а на месте деревянных аркад главного и боковых нефов появились каменные цилиндрические и крестовые своды.

Еще одной выразительной особенностью романского стиля является обилие рельефов и барельефов. Композиция такого монументального декора была подчинена важному средневековому принципу иерархии, при котором малое подчиняется большому, образуя абсолютное единство. Все элементы дополняли друг друга в строгом взаимодействии скульптурных и архитектурных форм: центральные панно крупнее, чем находящиеся по углам, на несущих колоннах – удлиненные по вертикали фигуры, на фризах – растянутые по горизонтали групповые изображения [1].

К ярким примерам памятников романского зодчества относят: Кафедральный собор Лиссабона, Старый кафедральный собор Коимбры, Церковь Богородицы в Дании, Приорат Серрабонь во Франции, Капелла кающихся грешников в Больё-сюр-Дордонь, Лаахское аббатство в Германии, Лимбургский собор в Германии и др.

С середины XII в. романский стиль сменился готическим. Страной происхождения готики считается Франция. Позднее этот стиль распространился и в других странах преимущественно на территории северо-западной Европы (Англия, Австрия, Германия, Чехия и др.).

Развитие готического стиля в архитектуре разделяют на три этапа:

- 1) ранняя готика (XII в.);
- 2) высокая (зрелая) готика (XIII в.);
- 3) пламенеющая (поздняя) готика (XIV–XV вв.).

Считается, что первые готические мотивы возникли в 1135 г. в городе Санса в Бургундии при реконструкции (перестройке) старого романского храмового сооружения. Это обновленное здание получило инновационный для архитектурной конструкции того времени подход – переустройство декоративных ребер свода в опорные конструкции. Другим выразительным примером, демонстрирующим переход от одного стиля к другому, является собор Сен-Дени близ Парижа, реконструируемый в 1140–1144 гг. На этот раз новизна состояла в изменении пропорций основных несущих элементов (тяжеловесные романские конструкции были заменены на стройные опоры, арки и крестовые своды) [10].

По сей день готика в основном ассоциируется с архитектурой и её яркими готическими особенностями: крестовым сводом, стрельчатой аркадой, арочным контрфорсом. Однако эти характерные черты больше относятся к позднему романскому стилю, в то время как достижением готического является комбинация всех трех составляющих, формирующая новый тип каркасной конструкции.

Подобные нововведения позволили изменить привычный архитектурный образ сооружений, теперь здания приобрели особенную свободу форм и выглядели более воздушными и легкими. Стоит также отметить, что наряду с заимствованными из романского стиля конструктивными элементами, готика унаследовала главенство архитектуры в системе искусств и основные типы культовых зданий, где собор, как образец абсолютного синтеза архитектуры, искусства и живописи, имел особое значение [10].

К характерным особенностям готического стиля главным образом относят: арки с заострённым верхом, узкие и высокие башни и колонны, богато украшенный фасад с резными деталями, многоцветные витражные стрельчатые окна, ажурный декор на оконных наличниках и поверхностях стен [11].

Готический собор представляет собой устойчивую каркасную систему с конструктивными элементами в виде крестово-реберных стрельчатых сводов и арок. Его планировочная структура организована травеями, ограниченными четырьмя вертикальными опорами и арками, образующими остоу крестового свода. Свод главного

нефа опирается на аркбутаны и контрфорсы, что освобождает несущие стены от нагрузок и позволяет устройство арочных окон между опорами. Образованные крупные вытянутые оконные проемы, украшенные резными шипами, флеронами и цветами, усиливают эффект взаимодействия между внутренним и внешним пространствами. Эстетический образ готического сооружения всегда выделяется своим вертикализмом, динамичностью и изяществом.

Наиболее известными примерами сооружений готического стиля считают: Кёльнский собор в Германии, Реймский собор во Франции, Шартрский собор во Франции, Собор Парижской Богоматери во Франции, Буржский собор во Франции и др.

В заключение хочется отметить, что во многом обыденное представление об эпохе Средневековья часто расходится с реальным вкладом людей того времени. Архитектура Средневековья, как один из центральных символов прогресса, в определенном смысле являлась материальным выражением переплетения разных культур, исторических процессов, мифов и форм. А её создатель (архитектор), таким образом, получал роль летописца, увековечивающего актуальные на тот момент события и нравы.

Средствами архитектуры стало возможным соединение различных форм знаний, основанных некогда на образцах античного наследия. С наступлением Романского периода привычная базилика видоизменилась и приобрела крестово-купольную структуру. Готика же, главным образом, повлияла на архитектурную форму и ее эстетическое значение.

### **Литература**

1. *Глазычев В. Л.* Городская среда раннего Средневековья // Культура и искусство западноевропейского средневековья: Материалы научной конференции, 1980. М.: Сов. художник, 1981. 422 с.
2. *Сказкин С. Д.* Из истории социально-политической и духовной жизни Западной Европы в средние века: материалы науч. наследия. М.: Наука, 1981. 295 с.
3. *Гайденок В. П., Смирнов Г. А.* Западноевропейская наука в средние века: Общ. принципы и учение о движении. М.: Наука, 1989. 351 с.
4. *Бунин А. В.* Особенности архитектурно-планировочного развития средневековых городов Центральной и Западной Европы // Исследования по истории архитектуры и градостроительства. 1964. С. 65–146.

5. История стилей в искусстве. Средние века. Дороманское искусство. URL: <http://crossmoda.narod.ru/CONTENT/art/midle/doroman/doroman.html> (дата обращения: 04.03.21).
6. *Vieux M.* Lumea constructorilor medievali. Bucuresti. 1981. 248 p.
7. *Clasen K. H.* Handbuch der Kunstwissenschaft. Berlin-Neubabelsberg: Akademische Verlagsgesellschaft Athenanion M. B. H., 1930. 302 p.
8. *Шуази О.* История архитектуры. Том II. М.: Изд-во Всесоюзной акад. архитектуры, 1935–1937. 698 с.
9. *Herrmann C.* Mittelalterliche Architektur im Preußenland: Untersuchungen zur Frage der Kunstlandschaft und – geographie. Petersberg: Michael Imhof Verlag, 2007. 816 p.
10. *Моррис У.* Готическая архитектура // Моррис У. Искусство и жизнь. М.: Искусство, 1973. С. 313–334.
11. *Муратова К. М.* Готический мастер и методы его работы (на материале французского искусства XII–XIII вв.): автореф. дис. ... канд. искусствоведения. М., 1971. 26 с.

УДК 711.585

*Роберт Ришадович Галиакбаров,*  
студент

(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)

*E-mail: galiakbarov.boldunicorn@yandex.ru*

*Robert Rishadovich Galiakbarov,*  
student

(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)

*E-mail: galiakbarov.boldunicorn@yandex.ru*

## **МОДЕРНИЗАЦИЯ БЛАГОУСТРОЙСТВА АРХИТЕКТУРНОЙ СРЕДЫ КВАРТАЛОВ МАССОВОЙ ЗАСТРОЙКИ 1950–1960-х гг. В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

### **MODERNIZATION OF IMPROVEMENT OF THE ARCHITECTURAL ENVIRONMENT OF THE AREAS OF MASS CONSTRUCTION OF 1950s – 1960s IN SAINT PETERSBURG**

Рассмотрена модернизация благоустройства кварталов массовой застройки 1950–1960-х гг. Представлена краткая история возникновения типового строительства и формирования кварталов, описана существующая ситуация, указана актуальность модернизации, поднимаются проблемы, появившиеся с течением времени и в результате ненадлежащей эксплуатации. Показан опыт применения международной практики при модернизации советских типовых кварталов, зданий и окружения, продемонстрирован ряд использованных приемов. Особое внимание уделено важности сохранения существующих кварталов и старого фонда зданий.

*Ключевые слова:* типовое здание, квартал, модернизация, хрущевка, массовая жилая застройка, панельное здание.

This article briefly explores the topic of modernization of the improvement of residential areas of mass development of the 50s – 60s. The article presents a brief history of the emergence of standard construction and the formation of neighborhoods, the existing situation today and the relevance of its modernization, as well as the problems that have emerged with the passage of time and due to improper operation. The article introduces the international experience in the field of modernization of typical Soviet residential quarters and buildings and demonstrates several techniques used in these examples for the modernization of buildings and surroundings. Particular attention is paid to the importance of preserving the old stock of buildings and preserving the existing neighborhoods.

*Keywords:* typical building, residential area, modernization, Khrushchev-era apartment blocks, mass residential development, panel building.

## Введение

Середина прошлого столетия открывает новые возможности в проектировании и строительстве. В 1950-х гг. появляются новые проекты многосерийных жилых домов, сегодня их принято называть хрущёвки. Данный тип здания представляет из себя каркасную конструкцию, стены которой являются утеплёнными железобетонными панелями. Главной особенностью этих зданий является то, что готовые железобетонные панели привозили сразу на участок, и дом возводился гораздо быстрее по сравнению с предшествующим кирпичным строительством.

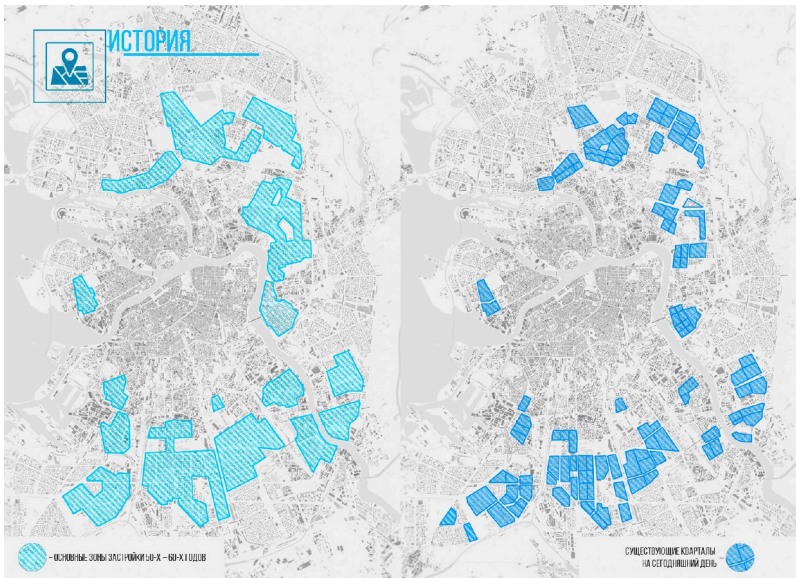


Рис. 1. Карта-схема зон застройки Санкт-Петербурга

Шел рост индустриализация и урбанизация городов и поселков довольно высокими темпами, из-за чего жилье требовалось постоянно.

Кирпичное строительство все больше теряло спрос, а крупнопанельное росло с большими темпами. Это привело к тому, что объем строительства крупнопанельных жилых домов с середины 50-х до середины 60-х вырос почти в 15 раз. Благодаря внесенным усовершенствованиям и изменениям в конструкцию зданий и планировку квартир, стоимость жилья уменьшилась более чем на треть [1].

Все эти здания формировали целые кварталы и микрорайоны, с массовой застройкой, они включали внутри себя большие территории с рекреационными зонами, школами, детскими садами и поликлиниками. Квартал того времени, разрабатывался исключительно для качественной и комфортной жизни людей в нем.

Кварталы и микрорайоны массовой застройки 1950–1960-х гг. на сегодняшний день занимают около 30 % всего представленного жилья в крупных городах РФ, включая Санкт-Петербург.

### **Актуальность**

Модернизация таких кварталов обусловлена тем, что сами здания имеют, среднюю этажность от 3 до 6 этажей – это оптимальная высота здания, для комфортной жизни. Помимо этого, в таких кварталах обилие дворовой территории, что создает просторные рекреационные зоны. Человек в современных реалиях хочет просторности, ведь обилие высоток, которые стоят, прижавшись друг к другу, избыток машин и парковок – все это давит морально на человека.

Большинство из построек того времени имеют около 20–40 % износа, что позволяет при правильной эксплуатации и своевременным ремонтным работам и дальше использовать здания по своему назначению. Это позволяет подвергнуть данные здания модернизации, ведь при необходимости можно настроить дополнительный этаж или, как показывает зарубежный опыт, наоборот уменьшить этажность для снижения численности людей в районе, что, в свою очередь, также увеличивает качество жизни. Но следует сказать, что данный прием возможен только при условии оттока населения на территории проектирования.

Помимо эстетической стороны, существует и экономическая, ведь снос существующих зданий, проектирование и возведение

новых значительно дороже, нежели модернизация уже имеющихся. Согласно расчетам Центра городской экономики КБ «Стрелка», модернизация типовых зданий массовых серий потребует на 30 % меньше средств, чем строительство того же объема нового жилья. Вдобавок, квартиры в зданиях средней этажности, пользуются куда большим спросом на приобретение, нежели в высотках. Так как жизнь в таких районах комфортнее за счет простора на территории.

### **Проблематика**

Сегодня данные кварталы имеют массу проблем, которые с ходом времени только усугубляются, а на их решение, безрезультатно, уходят большие финансы. Поднимая вопрос модернизации кварталов массовой застройки, следует выделить следующие ключевые проблемы:

- отсутствие приватности жильцов первых этажей, вследствие чего люди, пытаясь избежать нежелательных контактов с прохожими на улице, вынуждены завешивать свои окна решетками и плотными шторами;
- небезопасная среда, сформировавшаяся в подъездах. Часто в зданиях таких кварталов отсутствует какая-либо приватность входных групп. Некоторые парадные не имеют домофонов, и в подъезд может зайти каждый желающий, это создаёт опасную среду для жильцов и их имущества;
- отсутствие единого стиля оформления балконов. Каждый житель оборудует свой балкон самостоятельно, выбрав для этого материалы на свой вкус или бюджет. Такое разнообразие идет не на пользу внешнему виду здания;
- обветшалые фасады зданий. Зачастую большинство из домов имеют изношенный вид за счет выгоревшего и осыпавшегося покрытия здания;
- отсутствие или недостаток сервисов и магазинов. На территории кварталов со старой типовой застройкой практически не встречается развитая сервисная инфраструктура. Чтобы купить продукты или посмотреть кино, приходится посещать более оживленные соседние районы;



- отсутствие или неструктурированность рекреационных зон. Хотя большинство кварталов массовой застройки и имеют большие дворовые территории с озеленением, однако они не имеют какой-либо четкой структуры или не являются зонами рекреации. Также большую часть этих территорий дорабатывали сами жители дворов, в некоторых случаях, жители просто начали использовать зоны с озеленением как парковочные места, так как их сегодня не хватает из-за обилия автотранспорта.

### **Анализ международного опыта**

На сегодняшний день тема модернизации не является чем-то новым, но, тем не менее, остается актуальной, это демонстрирует как зарубежный опыт, так и отечественный. Массовая жилая застройка (хрущевки, брежневки) и панельные районы часто ассоциируются исключительно с постсоветской реальностью. Хотя этот феномен характерен для всего мира [2].

При выборе зарубежных и отечественных аналогов следует выделить ряд критериев, которые помогут их классифицировать. Важнейшими критериями являются: фасад, первый этаж, который демонстрирует входные группы, и благоустройство территории. Данные критерии в полной мере способны помочь, при дальнейшем проектировании по теме модернизации архитектурной среды, выработать структуру организации данной работы.

Одним из ярких зарубежных примеров модернизации кварталов является Германия, это связано с тем, что они не стремятся снести еще пригодные к жизни здания, а дают им вторую жизнь.

Так, например, Штефан Форстер (*Stefan Forster Architekten*) в рамках проекта *Regeneration East* («Восточное возрождение») продемонстрировал, что снос – это не всегда выход к чему-то новому. Взявшись за работу в двух городках Германии, Галле и Лайнефельде, он превратил устаревшие пятиэтажные серые коробки в современное жилье, которое не уступает новым постройкам. В начале 2000-х гг. модернизации в первую очередь подвергся дом № 1 – L-образное здание в г. Лайнефельде, которое представляло из себя серый панельный пятиэтажный дом. По завершении модернизации здание приобрело новый облик.

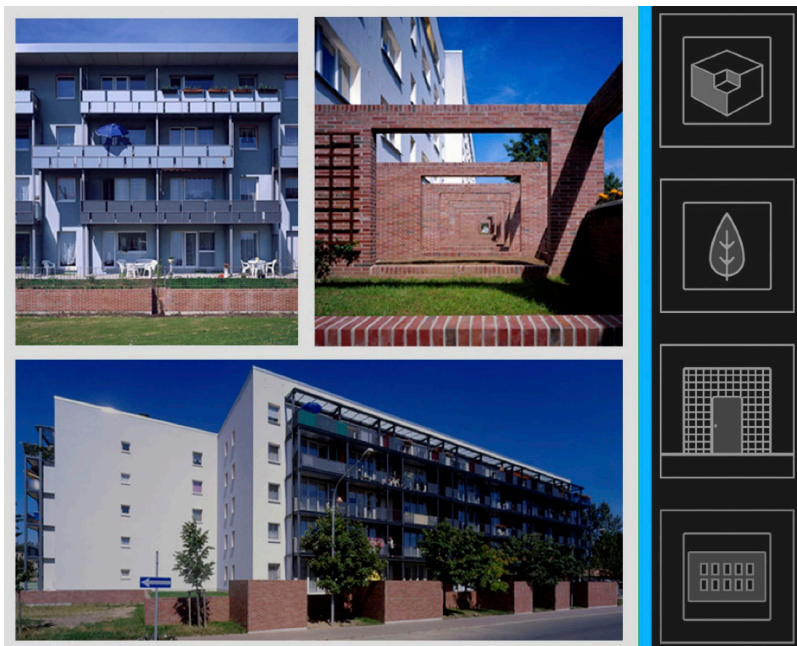


Рис. 2. *Regeneration East*. Дом № 1 (г. Лайнефельде, Германия)

Важным акцентом в усовершенствованном здании стала кирпичная кладка, которая идет вдоль всего первого этажа. Она формирует закрытые двory у каждого подъезда, создавая своего рода буферную зону между улицей и домом, что позволило жильцам создавать внутри каждого мини-двора свой сад на открытых террасах.

Вдоль западного и южного фасадов зданий по всей площади непрерывно сделали балконные линии, а крыша преобразилась в террасы.

Дом № 2 изначально, до модернизации, имел 6 этажей, но при модернизации было принято решение уменьшить этажность, что придало зданию индивидуальность и легкость. Здесь также применили кирпичную кладку вдоль первых этажей, а новые фасады

акцентированы ярко-красными небольшими балконами, данный прием оживил некогда однообразный фасад.



Рис. 3. *Regeneration East*. Дом № 2 (г. Лайнефельде, Германия)

С противоположной стороны фасад уже имеет полноразмерные балконы, которые расположены в динамическом ритме вдоль всего фасада. Над всей этой конструкцией установлена минималистичная консольная крыша, квартиры на первых этажах имеют личные террасы, что создает приватную обстановку и ощущение личного пространства для жильцов.

Самым ярким и радикально изменённым по мнению архитекторов стал дом № 7, 180-метровая пятиэтажка была полностью преобразована. Архитекторы удалили верхний этаж и сразу 7 сегментов здания. В результате у них получились 8 отдельных, но связанных между собой многоквартирных домов. С восточной стороны их соединяет непрерывная стена. С западной – дворовой – стороны стены уже нет. Разница между уличным и дворовым фасадом подчёркивается цветом. У первых этажей здесь есть небольшие патио.

Еще одним ярким примером модернизации в данной теме является дом в городе Галле, Германия. Данный дом имел простой серый облик, что свойственно застройкам того времени. Здание имело 11 подъездов и 5 этажей, вследствие модернизации в доме сократили количество подъездов до 6, часть верхних

этажей была демонтирована и отдана под террасы. Архитекторы создали ступенчатый объём с большими пространствами на крыше. Когда-то в доме было всего несколько типов квартир стандартной планировки. Теперь появилось 18 различных вариантов, в том числе в «мезонине». С противоположной стороны фасад имеет решения, типичные для *SFA*: сплошные балконы и террасы первых этажей [3].



Рис. 4. *Regeneration East*. Дом № 7  
(г. Лайнефельде, Германия)

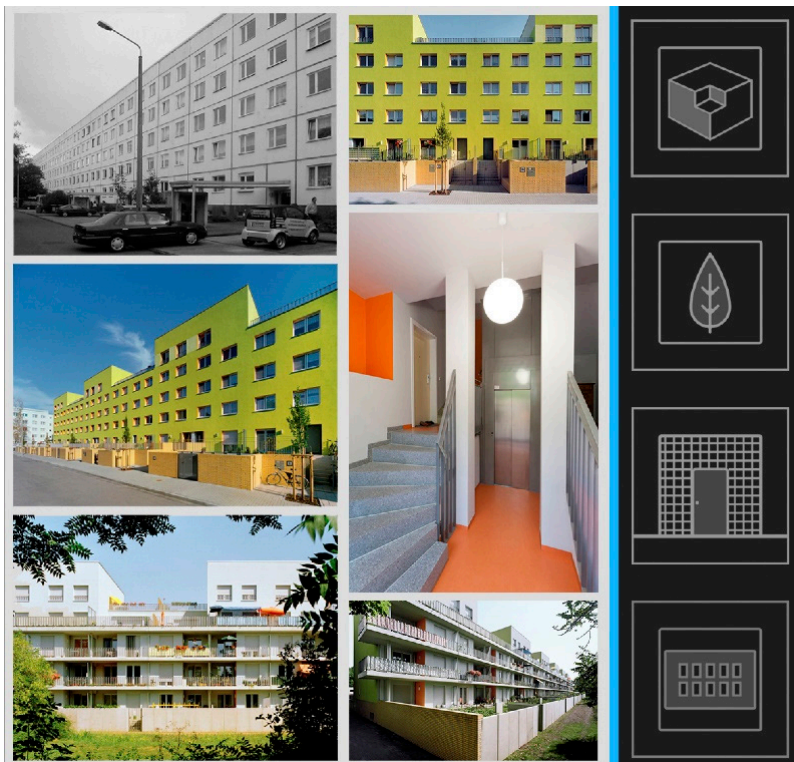


Рис. 5. *Regeneration East*. Дом № 8 (г. Галле, Германия)

### Отечественный опыт

Никак не уступает зарубежному. Так, например, в городе Москве осуществили реновацию дома на улице Берзарина, 12, который до реновации был бывшим зданием института экономики и предпринимательства, это было пятиэтажное здание из силикатного кирпича, построенное в 1951 г. Впоследствии, благодаря архитектурному бюро *ADG*, здание превратилось в жилой дом. Внешний облик здания значительно изменился, были увеличены оконные проемы, фасады облицованы искусственно состаренным кирпичом с вставками под дерево, также дополнительно был достроен 6 этаж, кото-

рый служит мансардным этажом, то есть верхние квартиры имеют 2 этажа. Помимо всего этого, на фасадах появились мини-балконы, однако используют их, к сожалению, под установку кондиционеров. Входные группы не остались без внимания, над подъездами установлены стеклянные козырьки, а скамейки у входных групп интегрированы прямо в парапеты [4].

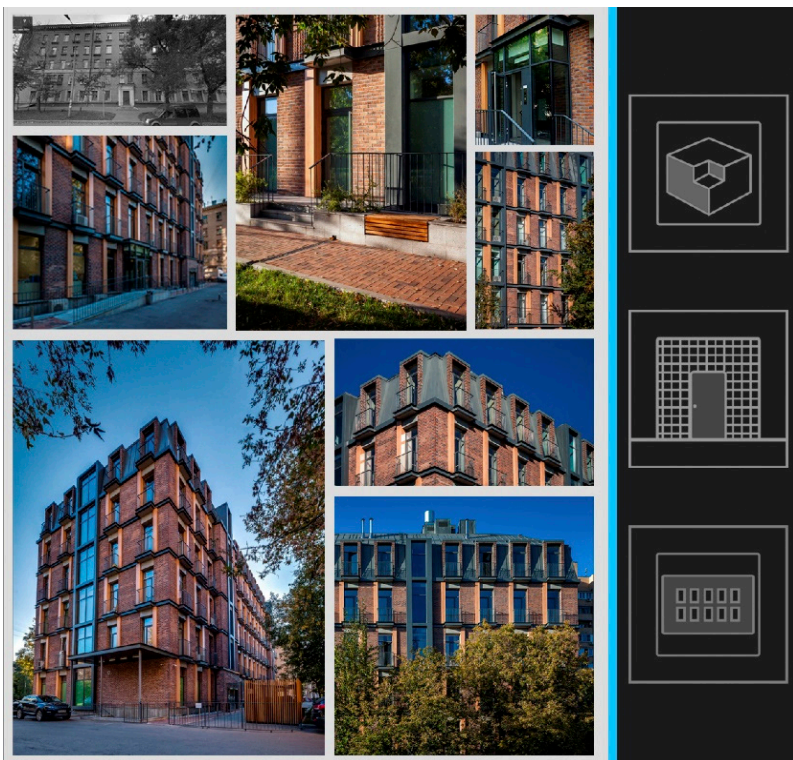


Рис. 6. Бюро ADG: ЖК “BERZARINA 12” (ул. Берзарина, д. 12, г. Москва)

### Выводы

Модернизация кварталов массовой застройки – это оптимальный вариант улучшения качества жизни не только с эстетической стороны, но и с экономической, так как это требует меньших финансовых

вложений. Проблемы, сложившиеся с ходом времени, имеют пути решения, это продемонстрировал зарубежный и отечественный опыт.

В ходе анализа международного опыта были выделены следующие приемы, которые могут быть использованы в дальнейшей разработке различных сценариев модернизации кварталов:

- перестроение первых этажей и входных групп. Добавление террас, для жителей первого этажа. Либо формирование на первых этажах сервисов и магазинов;
- новые балконные линии, которые будут выполнены в едином стиле проекта. Это позволит увеличить жилую площадь за счет дополнительных пристроек;
- модернизация конструкций здания, увеличение или уменьшение этажности, добавление мансардных этажей и террас.

Данные приемы необходимо преобразовать в единую модель, которая сможет применяться в различных проектах благодаря своей вариативности. Также следует сказать, что проект будет захватывать не только квартальную застройку 1950–1960-х гг., но и кварталы всего периода индустриальной застройки Санкт-Петербурга. Поэтому данные модели могут применяться на зданиях различных серий.



Рис. 7. Приемы, которые могут быть использованы при проектировании

Подводя итог, следует сказать, что здания советской постройки на сегодняшний день требуют серьезной реконструкции. Но определенно не сноса и строительства на их месте того же панельного дома, но на 20 этажей выше.

### Литература

1. История развития типового жилищного строительства в России и СССР. URL: <https://nibulon.ru/faq/istoriya-razvitiya-tipovogo-zhilischnogo-stroitelstva-v-rossii-i-sssr/> (дата обращения: 21.03.2021).
2. Мельникова М. Не просто панельки: немецкий опыт работы с районами массовой жилой застройки. URL: <https://ru.bookmate.com/reader/oAXdh8sX?resource=book> (дата обращения 21.03.2021).
3. Что делают с пятиэтажками в Европе: реконструкция вместо реновации. URL: <https://varlamov.ru/2359727.html> (дата обращения: 21.03.2021).
4. Реновация в Москве – это хорошо! Я поддерживаю! URL: <https://varlamov.ru/2365964.html> (дата обращения: 21.03.2021).



**УДК 712**

*Яна Вадимовна Елизарова,*  
аспирант  
*Ольга Андреевна Устимова,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: y.v.elizarova@gmail.com,*  
*o.a.ustimova@mail.ru*

*Yana Vadimovna Elizarova,*  
postgraduate student  
*Olga Andreevna Ustimova,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: y.v.elizarova@gmail.com,*  
*o.a.ustimova@mail.ru*

## **СОЗДАНИЕ ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОСТРАНСТВ НА УЧАСТКЕ ПРОЛЕГАНИЯ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ**

### **CREATION OF PUBLIC SPACES ON THE SECTION OF THE RAILWAY**

Одной из основных проблем современных городов являются железнодорожные пути, разрезающие городскую ткань, разобщающие районы, создающие некомфортную для перемещения и использования среду. Во многих городах вокзалы и пути уводят под улицы, но это очень дорого и не всегда технически возможно. Однако на данный момент рельсовый наземный транспорт остаётся одним из самых быстрых и незатратных при устройстве, поэтому такие территории будут образовываться и в дальнейшем. Поскольку в зарубежной практике уже имеются реализованные проекты организации общественных пространств на участках пролегания железной дороги, на их основе предлагается методология решения данной проблемы для устойчивого развития городских территорий как общественных пространств.

*Ключевые слова:* общественное пространство, железная дорога, устойчивое развитие территории, методология, реновация промышленных территорий.

One of the main problems for modern cities is the railway tracks, because they cut the urban fabric, divide neighborhoods and create an uncomfortable environment for people to move and use. In many cities, train stations and tracks go under the streets, but this is very expensive and not always technically possible.

At the moment, this type of ground transport is still one of the fastest and most inexpensive to build, so such territories will be formed in any case. But in European practice, there are already implemented examples of solving this problem, based on them, recommendations are proposed for Russian cities for the sustainable development of territories as public spaces.

*Keywords:* public space, railway, sustainable development of the territory, methodology, industrial areas renovation.

Территории на участке пролегания железных дорог в городском пространстве зачастую являются не ухоженными и неблагоприятными для жителей. Основная проблема городов заключается в том, что они не представляют интереса для городских властей, так как на данный момент существует не так много практик развития подобных территорий, и город не видит целесообразности во вложении в них средств [1–4]. В данной статье на примере зарубежного положительно опыта описаны методы и возможности урбанизации для развития исследуемых территорий, положительный опыт проектирования пространств прилегания железных дорог.

**Первый вариант** – организация надстроенных парков над уже неиспользуемыми путями, эстакадами, виадуками.

Парк-эстакада *Seoullo 7017 Skygarden*, выполненный по проекту бюро *MVRDV* (рис. 1) в Сеуле, архитекторы использовали бывшую автомобильную эстакаду, сохранив всю конструкцию, и разбили на ней линейный парк.

*Seoullo 7017 Skygarden* располагается в самом центре шумного мегаполиса и связывает западную и восточную части города пешеходным маршрутом протяжённостью 938 м на высоте 16 м. Поскольку это самый центр города с большим пешеходным трафиком, важно было придумать решение, которое позволит создать озеленённую комфортную среду для пешеходов. Он объединяет жителей города с природой, предлагая пользователям возможность созерцать удивительные виды на исторический Сеульский вокзал и ворота *Sungnyemun*. Помимо функции линейного парка и перехода играет роль точки притяжения и является одной из главных видовых площадок. Сегодня это протяжённая пешеходная зона, состоит из небольших павильонов, таких как кафе, магазины, выставки, павильоны садовника, батуты, сцена и детский театр, а также здесь расположен информационный центр. Они увеличивают количество посетителей, насыщая парк дополнительными мероприятиями, которые делают город привлекательнее на культурном и коммерческом уровне.

Многочисленные лестницы, лифты, мосты и эскалаторы вплетают *Skygarden* в город и соединяют с ближайшими отелями, ресторанами, офисами, домами и парками. Линейный парк был спроектирован как набор небольших садов, каждый из которых имеет свою собственную планировку, аромат, цвет и индивидуальность. Ландшафт меняется в зависимости от времени года [5].



Рис. 1. *Seoulo 7017 Skygarden* (г. Сеул, Южная Корея).  
Архитекторы: *MVRDV*

*Goods Line*, который представляет собой уникальный линейный парк длиной 800 м и общей пешеходной и велодорожкой в пригороде Ультимо города Сидней, Новый Южный Уэльс, Австралия (рис. 2). Архитекторами проекта выступили *ASPECT Studios* и *CHROFI*, они создали благоустройство на месте старых железнодорожных путей, оставив некоторые фрагменты, органично вписанные в новый ландшафт, чтобы сохранить историю места.

В этом уникальном приподнятом парке заброшенный железнодорожный коридор, идущий от Железнодорожной площади до

*Darling Harbour*, был переосмыслен как зеленый энергичный городской хребет в самом центре самого густонаселенного района Сиднея. Помимо своей основной функции соединения, *The Goods Line* наполнена социальной инфраструктурой: от трибун, скамеек и амфитеатра до полноценного *Wi-Fi*, детской игровой площадки, столов для настольного тенниса и приподнятых газонов. Эта новая платформа для взаимодействия с общественностью обеспечивает преобразующую, социальную и экологическую роль. Пространство также служит метафорой перехода города от индустриального прошлого к современной экономике знаний. Изготовленные на заказ сиденья и светильники напоминают о промышленном прошлом *The Goods Line*, в то время как размытые границы по длине предназначены для запланированных временных событий и фестивалей, привнося чувство общности в ранее заброшенное городское пространство. Намеренно нелинейный дизайн меняется по мере продвижения по линии, создавая богатые подпространства для различных целей. Он предназначен для создания возможностей: остановки, занятия и использования коридора способами, не ограничивающимися простым проходом.

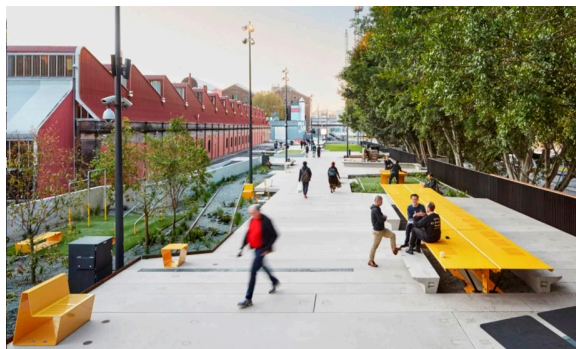


Рис. 2. *Goods Line* (г. Сидней, Новый Южный Уэльс, Австралия).  
Архитекторы: *ASPECT Studios, CHROFI*

**Второй вариант** – создание надстраиваемого парка над железнодорожными путями. Парк *Jardins de la Rambla de Sants*

в Барселоне (рис. 3), который был спроектирован архитекторами *Sergi Godia and Ana Molino* стал революционным в урбанизации городов. На протяжении прошлого века линии метро и железнодорожные пути, проходящие сквозь район *Sants* (Барселона), разделяли район на две практически несвязанные части от площади *Placa de Sant Jaume* к улице *Riera Baixa Street*, создавая в результате городских дисфункций условия акустического загрязнения и ухудшения окружающей среды. Исключив возможность размещения участка под землей, главной особенностью проекта сделали то, что для реализации часть железнодорожной линии закрыли массивными железобетонными конструкциями с остеклением, поверх которых и создали благоустроенный бульвар с зелеными насаждениями. Бывшая промышленная территория стала оживать, стоимость недвижимости и престижность района значительно повысились. Общественное пространство доступно для маломобильных горожан и оборудовано пандусами, лифтами и эскалаторами. Конструкция, которая удерживает «бульвар», состоит из сборных бетонных частей, принимающих форму «Балки Уоррена», напоминает старые железнодорожные мосты, между ними образуются большие остекленные треугольники, которые дают возможность увидеть поезд, проходящий через город, а также уменьшают его акустическое воздействие. Не полностью остекленное здание позволило построить три больших зеленых склона, которые поднимаются от самых нижних уровней до уровня крыши. Эти насыпи связывают здание с его окружением, позволяя растительности на крыше пролиться вниз на боковые улицы. Сады были спроектированы с учетом критериев устойчивости, с организацией многоуровневого освещения светодиодами, фотоэлектрической энергией и грунтовыми водами для орошения, из растительности были выбраны предпочтительно местные виды сезонных растений.

**Третий вариант** – реновация зон, прилегающих к территории железных дорог и вокзалов в центре города. Такой подход является более комплексным и включает в себя урбанизацию не только территории вокзала, но и прилегающих к нему пространств.



Рис. 3. *Jardins de la Rambla de Sants Park* (г. Барселона, Испания).  
Архитекторы: *Sergi Godia, Ana Molino*

*King's Cross* – один из самых крупных проектов по реновации промышленной зоны в Европе. Генеральный план *King's Cross* был создан в сотрудничестве с *Allies and Morrison Architects*, *Porphyrios Associates* и *Townshend Landscape Architects*.

Он определяет 40 % площади *King's Cross* как открытое пространство, создавая яркий гобелен из парков, площадей, огородов и садов на крыше (рис. 4).

Площадь *Granary Square* находится на вершине бульвара. Эта площадь является сердцем Кингс-Кросс. Построенная там, где баржи когда-то выгружали свои товары, площадь анимирована более чем 1000 хореографических фонтанов – каждый индивидуально контролируется, организуется также ночная подсветка. Широкие южные ступени спускаются к каналу с площади. На площади располагаются кафе, рестораны, часто проводят фестивали и городские мероприятия.



Рис. 4. *King's Cross* (г. Лондон, Великобритания)

Парк *Gasholder Park* – небольшой парк основной «фишкой» которого является чугунная рама, когда-то она стояла на противоположном берегу канала и держала 1,1 млн кубических футов газа. Замысловатая кованая конструкция была разобрана по частям, кропотливо отреставрирована и перенесена на новое место, где она окружает теневой навес и пышный круглый газон.

*Handyside Gardens* – красиво благоустроенный карманный общественный сад с местами для отдыха, детской площадкой. Геометрия парка отражает узор железнодорожных сайдингов, которые когда-то проходили через участок, в то время как подбор растений для сада был создан из местных, найденных на участке. Кроме того, железная дорога повлияла на технический дизайн садов. Здесь железнодорожные туннели, которые входят в станцию *King's Cross*, находятся всего в 4,5 м от поверхности. Это ограничивало глубину почвы и количество деревьев, которые можно было посадить. Решением было посадить в поднятых кроватях, которые обрамлены в кортен-сталь –

материал, использовавшийся в строительстве железных дорог в промышленные времена.

Сады находятся между домами в *ArtHouse* и *Midlands Goods Shed* – отреставрированный исторический сарай поезда, который в настоящее время в нём располагается магазин *Waitrose*, кафе и кулинарная школа.

Парк *Lewis Cubitt* – одно из главных зеленых насаждений в реконструируемом районе *King's Cross* площадью 72 акра в Лондоне – вместе с площадью *Lewis Cubitt* и угольными каплями образуют центральный хребет через северную часть генерального плана, создавая связь между Зернохранилищем и *Regent's Canal* на юге и *York Way* на севере. Эти открытые пространства образуют важную основу, вокруг которой в ближайшие несколько лет будет развиваться жилое и коммерческое строительство.

*Lewis Cubitt Square* – это небольшая площадь, особенностью которой является линия сухих изгибающихся дугой фонтанов вдоль зоны отдыха. Площадь регулярно проводит рынки, концерты и различные мероприятия, такие как *Art Car Boot*, *Classic Car Boot* и Концертная серия *Cubitt Sessions*.

*Camley Street Natural Park* является городским природным заповедником и убежищем в центре одной из самых густонаселенных частей Лондона. Расположенный на берегу *Regent's Canal*, парк является местом как для людей, так и для дикой природы. Заповедник является домом для птиц, бабочек, летучих мышей и широкого спектра растительной жизни. Места обитания включают водные угодья, леса и луга.

*The Global Generation Skip Garden* включает в себя спокойный сад, небольшой дубовый лес, множество грядок для местного сообщества, чтобы выращивать травы, овощи и цветы. Сад предназначен для обучения и вдохновения жителей города, с акцентом на устойчивость и наблюдение за природной средой. Существует полностью оборудованная кухня для групп, чтобы приготовить вкусную еду из ингредиентов, собранных в саду [6].

Рассмотрев и проанализировав примеры организации общественных пространств на участках пролегания железной дороги,



исследуя зарубежный опыт, можно определить методы для дальнейшего проектирования в городах. Основопологающим является возможность благоустройства на любых, даже не простых участках, это могут быть пространства: надстроенные над путепроводами, на месте устаревших старых, а также реорганизация участков, прилегающих к вокзалам и железнодорожным путям. При проектировании следует комплексно подходить к созданию нового пространства, оно должно вплестаться в структуру и связываться с городом за счёт: проницаемости, сезонного озеленения, доступности и комфортного перемещения для людей и маломобильных групп. Важно учитывать контекст и историю места, чтобы создать действительно уникальное пространство.

#### Литература

1. Ревитализация территорий промышленных объектов. Методические рекомендации по реализации проектов повышения качества среды моногородов. URL: <http://docplayer.ru/50333729-Revitalizaciya-territoriy-promyshlennyh-obektov.html> (дата обращения: 09.02.2021).
2. *Жир М. Ю.* Рефункционализация депрессивных территорий на месте промышленной зоны // Молодой ученый. 2019. № 19(257). С. 134–136.
3. *Линч К.* Образ города / пер. с англ. В. Л. Глазычева; под ред. А. В. Иконникова. М.: Стройиздат, 1982. 328 с.
4. *Нефедов В. А.* Как вернуть город людям. М.: Искусство-XXI век, 2015. 159 с.
5. SEOULLO Skygarden/MVRDV. URL: <https://www.archdaily.com/882382/seoullosky-garden-mvrdv.html> (accessed on: 06.02.2021).
6. King's Cross. URL: <https://www.kingscross.co.uk/granary-square.html> (accessed on: 07.02.2021).

**УДК 721.012.6**

*Анна Александровна Омелян,*

студент

*Олеся Дмитриевна Кудлай,*

студент

*Тимофей Сергеевич Марцинкевич,*

студент

(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)

*E-mail: omelyan.a@mail.ru,*

*olesya\_kudlay@mail.ru,*

*ggvpc@mail.ru*

*Anna Alexandrovna Omelyan,*

student

*Olesya Dmitrievna Kudlay,*

student

*Timofey Sergeevich Marcinkevich,*

student

(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)

*E-mail: omelyan.a@mail.ru,*

*olesya\_kudlay@mail.ru,*

*ggvpc@mail.ru*

## **ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ФОРМЫ КАК ОСНОВА АРХИТЕКТУРНОЙ КОМПОЗИЦИИ**

### **GEOMETRIC SHAPES AS THE BASIC OF ARCHITECTURAL COMPOSITION**

Все понимают, что нельзя просто взять и построить здание без какого-либо плана. Но что нужно иметь в виду при строительстве? Функциональность, комфорт, стоимость, нельзя забывать об окружающем ландшафте и, конечно же, о внешнем виде. Внешний облик сооружений создают архитекторы. Они должны знать правила, особенности и принципы композиции строительства эстетически приятных зданий. Без архитектурной композиции сооружения будут несуразными и нелепыми. В статье мы изучим составляющие архитектурной композиции и разберем ее на простые геометрические формы на примерах зданий эпохи конструктивизма.

*Ключевые слова:* архитектура, композиция, сооружение, геометрическая форма, конструктивизм.

All of us understand that we can't just go and build a building without some kind of plan. But what should you keep in the mind during construction? These are functionality, comfort, cost, surrounding landscape and, of course, the appearance. Architects are responsible for the exterior of the buildings. They must know the rules, features, principles of composition, for the construction of aesthetically pleasing buildings. Architectural composition is the heart of any structure, without composition buildings will be ridiculous and awkward. In our article, we will study what an architectural composition consists of, we will disassemble the composition into simple geometric shapes using examples of constructivist structures.

*Keywords:* architecture, composition, structure, geometric shape, constructivism.

Архитектурная композиция – это совокупность архитектурных форм, отвечающих художественным (эстетическим), функциональным и конструктивно-технологическим требованиям. Простыми словами это основа создания гармоничных проектов, не соблюдая принципы которой невозможно получить приятную для восприятия человеческого глаза конструкцию [1].

Рассмотрим основные группы геометрических форм, используемых для создания композиции:

- **первая группа:** формы, образованные параллельно-перпендикулярными плоскостями – параллелепипед и куб;
- **вторая группа:** формы, имеющие неперпендикулярные грани – призмы, пирамиды, многогранники;
- **третья группа:** тела вращения – шар, цилиндр, конус, а также формы, образованные криволинейными поверхностями: формы с параболическими и гиперболическими поверхностями и т. д.;
- **четвертая группа:** бесконечное множество сложных стереометрических фигур [2].

В композиции чаще всего используется первая группа фигур – кубы и параллелепипеды. Это связано с тем, что прямоугольные элементы наиболее удобны для организации жизни человека и его ориентации в пространстве; прямоугольные элементы легко объединяются в группы; пространство внутри прямоугольных элементов легко разбить на аналогичные пространства меньшего размера; вертикальные и горизонтальные плоскости этих элементов соответствуют наиболее развитой конструктивной стоечно-балочной системе. Формы других тел не так просто сочетаются между собой. Их использование эффективно в исключительных случаях, при проектировании единичных крупных сооружений [3].

Конструктивизм – авангардистское направление в искусстве, в том числе и в архитектуре. Конструктивизм принято считать советским явлением, возникшим в 1920-х – первой половине 1930-х гг., после Октябрьской революции как одно из направлений нового, авангардного, пролетарского искусства [4].

Конструктивисты провозглашали отказ от «искусства ради искусства». Теперь искусство служит производству, а производство – народу. Новаторы начали искать новые формы.

Как и любой стиль в архитектуре, конструктивизм имеет свои принципы. Рассмотрим их на примере пяти зданий: завода, клуба, жилого дома, фабрики-кухни и театра. Кроме того, разберем архитектурную композицию каждого из этих примеров и разобьем их на простые геометрические формы [5].

### **Здание-машина: Кушелевский хлебозавод**

Основная идея конструктивизма – полное слияние функции и формы. Кушелевский хлебозавод ярко выражает эту идею. Здание – машина в прямом смысле слова, инженерная красота производственной схемы здания отражается в объемах фасада.

Кушелевский завод очень выразителен: котельная, склад, и административные помещения расположены в возвышенных полукруглых и цилиндрических объемах, объединенных вокруг основного массива. Мощные вертикали лестничной клетки и трубы оттеняют это вращение, благодаря чему хлебозавод похож на величественную скульптуру.

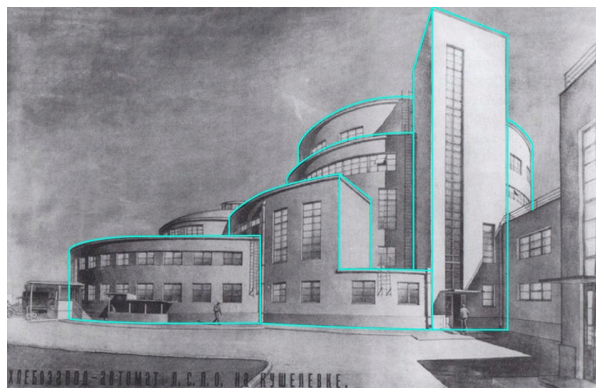


Рис. 1. Кушелевский хлебозавод  
(ул. Политехническая, д. 11, Санкт-Петербург)

### **Композиционная свобода: клуб имени Русакова**

В условиях нового времени появился спрос на совершенно новую типологию зданий. Церкви заменяются клубами – многофункциональными культурно-образовательными центрами.

Выразительный и яркий представитель советского архитектурного авангарда Константин Мельников показал, что современная архитектура не место для устоявшихся приемов и форм. Острые углы треугольников, нависающие объемы – он уничтожил все табу прошедших эпох [6].

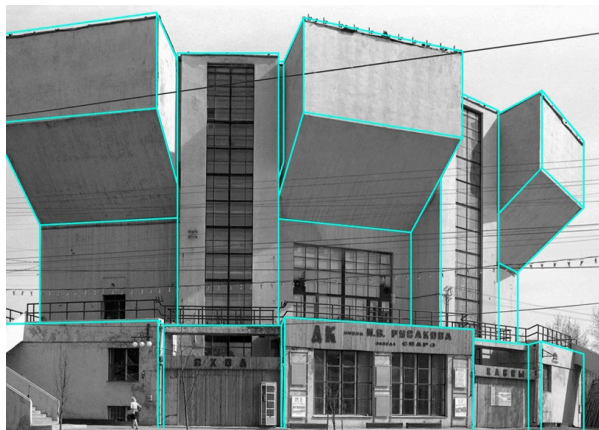


Рис. 2. Клуб им. И. В. Русакова  
(ул. Стромынка, д. 6, г. Москва; К. Мельников, 1929 г.)

### **Экономия: дом-коммуна**

Бытие определяет сознание. Руководствуясь этим принципом, с начала 1920-х гг. советская власть и архитекторы уделяли особое внимание разработке жилья нового типа. В 1920–1930-х гг. в СССР строились экспериментальные дома-коммуны. Кроме жилых помещений, они содержали всю инфраструктуру: столовые, спортплощадки, библиотеки, ясли и детские сады, прачечные, парикмахерские, медпункты. Впервые, несмотря на размеры, ставился вопрос о стандартизации, эргономике и экономии всего – материалов, пространств, энергии.

Основным объемом дома-коммуны стал большой параллелепипед, лежащий на боку, окна на фасадах которого задают ритм всей композиции.



Рис. 3. Дом-коммуна (ул. Орджоникидзе, г. Москва;  
И. Николаев, 1929–1930 гг.)

### **Символ: фабрика-кухня завода имени Масленникова**

Впервые в России появляется понятие «говорящей» архитектуры: здания, изображающие символы коммунизма, достижения науки и общества – самолеты, тракторы, пароходы, показывающие свою прогрессивность, динамичность, функциональность.

В этом ряду стоит и фабрика-кухня в Самаре. Она прославилась благодаря своему плану, изображающему форму серпа и молота.

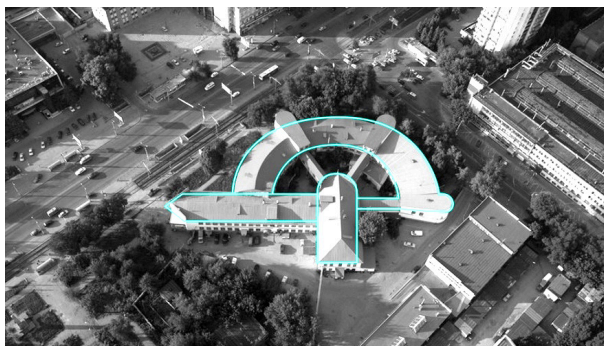


Рис. 4. Фабрика-кухня завода имени Масленникова  
(ул. Ново-Садовая, д. 149, г. Самара; Е. Максимова, 1930–1932 гг.)

Знак виден только с высоты птичьего полета. Смелое конструктивное решение, которым известно это здание, – консольные железобетонные перекрытия, которые позволяли использовать сплошное остекление лестничных полуцилиндров.

### **Экспрессия: театр оперы и балета имени Горького**

Театр в Ростове-на-Дону спроектирован ленинградскими архитекторами старой школы – это наиболее яркий пример пластики авангарда. В композиции театра много контрастов: глухие и остекленные поверхности, тяжелое и легкое, прямое и скругленное, грубое и тонкое. Все это здесь предельно обнажено.

На прозрачном объеме вестибюля монументальным кубом лежат два зала: театральный и концертный. Застекленные вертикальные объемы лестниц с длинными переходами-галереями, визуально поддерживающие тяжелый глухой «лоб» театра, расположены по бокам. Две широкие полосы сплошного остекления галерей по сторонам от основного объема поддерживаются жестким вертикальным ритмом столбов. Полукруглые пандусы для автомобилей ныряют под галереи-переходы с боков главного фасада, подчеркивая лучшие ракурсы для обзора.

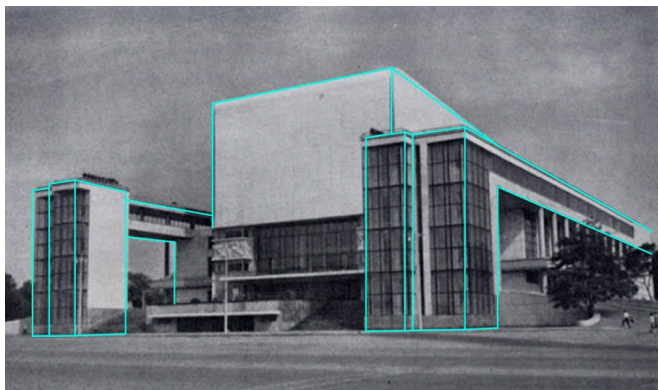


Рис. 5. Театр оперы и балета имени Горького  
(Театральная пл., д. 1, г. Ростов-на-Дону; В. Щуко, В. Гельфрейх,  
1930–1935 гг.)

Таким образом, в основе любого сооружения лежит архитектурная композиция, без которой сооружение будут несуразными и нелепыми. Поэтому любому архитектору, инженеру-строителю, конструктору необходимо понимать принципы композиции. В ходе работы мы выяснили, что любое сооружение состоит из простых геометрических форм, которые архитектор складывает вместе, соблюдая правила композиции [7].

### Литература

1. *Стасюк Н. Г.* Основы архитектурной композиции. М.: Архитектура-С, 2004. 96 с.
2. *Иконников А., Степанов Г.* Основы архитектурной композиции. М.: Искусство, 1971. 224 с.
3. *Рудольф А.* Динамика Архитектурных форм. М.: Стройиздат, 1984. 192 с.
4. *Сидорина Е. В.* Русский конструктивизм: Идеи, истоки, практика. М.: ВИНТИ, 1995. 240 с.
5. *Хан-Магомедов С. О.* Конструктивизм – концепция формообразования. М.: Стройиздат, 2003. 576 с.
6. *Никонов В. А.* Статьи о конструктивистах. Стержень, 1928. 448 с.
7. *Селиванова А.* Что такое конструктивизм. URL: <https://arzamas.academy/mag/325-construct> (дата обращения: 21.04.2021).



УДК 72.01

*Василина Михайловна Юркевич,*  
ассистент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: vasilina95@list.ru*

*Vasilina Mihajlovna Yurkevich,*  
Assistant  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: vasilina95@list.ru*

## **ВЫЯВЛЕНИЕ ТИПОВ ЖИЛОЙ СРЕДЫ КРУПНЕЙШЕГО ГОРОДА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СООТВЕТСТВИЯ ПРИНЦИПАМ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ (НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА)**

### **IDENTIFICATION OF THE TYPES OF RESIDENTIAL ENVIRONMENT OF THE LARGE CITY IN TERMS OF COMPLIANCE WITH THE PRINCIPLES OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT (ON THE EXAMPLE OF SAINT PETERSBURG)**

Санкт-Петербург – уникальный город, сочетающий различные типы жилой среды: это и исторический центр, и пригороды, и серый промышленный пояс, перемешанный с бывшими кварталами для рабочих вокруг центра, и активно застраиваемые периферийные территории. Сохранившийся почти нетронутым исторический центр – объект Всемирного наследия ЮНЕСКО. Все это делает город не похожим на другие западные города, где активно применяются «зеленое» строительство и архитектура.

В модели любого города наибольший удельный вес имеют здания и сооружения, затем идет дорожная сеть и только потом рекреационные зоны. Это не соответствует модели устойчиво развивающегося современного полиса и является одной из основных проблем территориального планирования Санкт-Петербурга.

*Ключевые слова:* типология жилой среды, устойчивая среда, рациональное природопользование, градостроительство, реставрация, архитектурное наследие, природные ресурсы, разумное потребление, урбанистика, экология, модернизация, энергоэффективные технологии.

Saint Petersburg is a unique city that combines different types of residential environment: the historical center, the suburbs, the gray industrial belt, mixed with former quarters for workers, around the center, and actively developing peripher-

al territories. Preserved almost intact, the historic center is a World Heritage site of UNESCO. All this makes it different from other western cities, where “green” construction and architecture are actively used. If we present a model of any city, then the largest share will be occupied by buildings and structures, the road network, and only then recreational areas. All of them together cause great damage to the environment. This model of the city does not correspond to the model of a steadily developing modern city. And it is one of the main problems in the territorial planning of Saint Petersburg.

*Keywords:* typology of the residential environment, sustainable environment, rational use of natural resources, urban planning, restoration, architectural heritage, natural resources, reasonable consumption, urbanism, ecology, modernization, energy-efficient technologies.

На наш взгляд, стратегия развития города Санкт-Петербурга до 2030 г., разработанная для выполнения программы по устойчивому развитию городов Российской Федерации [1], во-первых, требует корректировок и дополнений, так как была составлена в 2014 г. и с каждым годом становится не такой актуальной. Во-вторых, только косвенно захватывает «объемный» городской показатель – здания и сооружения, прилегающие к ним территории.

Все территории города нужно развивать равномерно. На сегодняшний день в развитии и оснащенности районов Петербурга есть заметное несоответствие. Плотность населения, плотность застройки, транспортная доступность, обеспеченность объектами торговли и культуры – эти и другие показатели по районам в настоящее время отличаются друг от друга.

Решить эту и другие сопутствующие проблемы поможет изучение существующей жилой среды, ее классификация для определения соответствия принципам устойчивого развития города и предложение по улучшению среды согласно каждому из принципов.

Для этого были выявлены все возможные признаки и проанализирована жилая среда Санкт-Петербурга. Поскольку задача выявить устойчивые признаки и улучшить жилую среду по этим признакам ставится на примере города Санкт-Петербурга, для дальнейшего применения на месте надо разбить на группы типы жилья.

В многочисленных научных исследованиях было установлено, что чем более сбалансированным является город с точки зрения

экономического, социального и экологического развития, тем более стабильно он развивается в различные периоды изменяющейся реальности. Города могут не только эффективно решать оперативные проблемы, но и ставить стратегические задачи и лучше справляться с любыми кризисными явлениями, жители таких городов живут совершенно в другой среде, которая качественно меняет их жизнь [2].

Качественная жилая среда основана на модели компактного города. Её ключевые критерии – это большой выбор жилья, безопасность, экологичность, а также разнообразие функций и смешанная застройка, когда жилье, культурные и социальные объекты расположены в одном районе.

Основные признаки, по которым можно классифицировать жилую среду:

- энергоэффективность зданий;
- архитектурно-строительные конструкции и материалы зданий;
- инсоляция квартир (освещенность жилья);
- степень озеленения прилегающей территории;
- наличие систем возобновления энергоресурсов;
- дорожно-транспортная сеть и ее влияние на территорию;
- социальная и коммерческая инфраструктура;
- уровень комфортности среды;
- уровень благоприятности среды;
- архитектурный облик;
- высотность жилых домов [3].

Начнем с краткой истории градостроительства Петербурга, который был основан Петром I в 1703 г., заложившим первый камень в возведение Петропавловской крепости на Заячьем острове. Зарубежные архитекторы, привлечённые Петром I, создавали на берегах Невы непривычный русскому взору облик нового города. Застройка велась очень быстрыми темпами. Численность населения постоянно росла, и город постепенно превращался в каменный, воплощая в жизнь мечту Петра I о возведении исключительно каменных, из кирпича, «образцовых домов».

Стремительный рост населения столицы (Петербург) требовал достаточного количества жилья. Со временем доходные дома

стали вытеснять особняки. Строились пяти-шестиэтажные здания. Стремление домовладельцев к повышению доходности участков, приводило их к более плотной застройке, когда доходные дома или росли в высоту, или расширялись внутри своих тесных, по большей части, дворов, не всегда доступных свежему воздуху и недостаточно освещённых [4]. Так и появились дворы-колодцы, придавшие облику города характерные черты [2].

Чтобы провести анализ на соответствие устойчивым признакам, необходимо выделить основные типы домов исторического центра:

- парадные корпуса;
- корпуса внутри дворовой территории.

Однако для Петербурга существует особенность для доходных домов исторического центра: в некоторых из них был проведен капитальный ремонт, начиная со второй половины XX в., что существенно повлияло на здание. Могли быть заменены перекрытия, с деревянных на металлические, проведена перепланировка квартир и др.

В свою очередь, деление на парадный корпус и на внутридворовой – не совсем точное деление, это сама структура доходного дома, у которого часть квартир будет относиться к парадной лестнице, с лучшими условиями проживания, а другая часть окажется в первом или даже втором дворе, куда меньше проникает солнечного света, и планировка жилья там хуже.

В сводной табл. 1 выделены основные типы домов исторического центра Санкт-Петербурга.

Таблица 1

**Типы жилых домов исторического центра**

Тип			
С капитальным ремонтом		Без капитального ремонта	
Парадные корпуса	Корпуса внутри дворовой территории	Парадные корпуса	Корпуса внутри дворовой территории

Уникальное место занимают сохранившиеся деревянные дома в разных районах города. Деревянные дома в стиле модерн на Каменном острове, бывшие дачи именитых петербуржцев в Курортном районе и другие единичные варианты в разных районах города (табл. 2).

Таблица 2

**Иные типы жилых домов дореволюционного периода (до 1917 г.)**

Тип	
Деревянные дома в центральных районах города	Деревянные дома в черте города

Еще один тип – жилые массивы Петербурга, так называемые рабочие городки, которые разрабатывались в 1920–1930-е гг. Одинаковых домов в массивах чаще всего не бывает, но они воспринимаются как единый ансамбль. Помимо жилых домов, в структуру комплексов включались учреждения соцкультбыта (школы, детские сады). Обязательным условием было благоустройство внутриквартальных пространств, дворовых территорий. Жилмассивы, как правило, строились на землях, непосредственно примыкавших к крупнейшим заводам и фабрикам. На рубеже 1920–1930-х гг. ленинградские жилмассивы представляли собой качественно новый тип городской ткани [4]. В Санкт-Петербурге несколько типов жилых массивов. Это утопающая в зелени невысокая застройка двух-, трёх-, четырехэтажных компактных домиков со скатными крышами, балконами, невысокими потолками и небольшими квартирами внутри. И другой тип – протяжённые многосекционные жилые дома (табл. 3).

По данным статистики – дома сталинского типа занимают около 16 % от объема жилого фонда в Санкт-Петербурге, строительство которых было начато еще в довоенном периоде (1938 г.), продолжилось и после войны (до 1955 г.).

Таблица 3

**Типы жилых массивов XX в.**

Тип	
Малоэтажные (коттеджи) дома жилмассивов	Многосекционные дома жилмассивов

Если говорить про архитектурный облик, то он легкоузнаваемый, сталинский дом – это массивное здание из кирпича или прочных керамических панелей с высоким бельэтажем. Для облицовки таких строений часто использовались гранитные плиты (как цельные, так и из гранитной крошки). Такие дома начали строиться в нашем городе в конце 1930-х и строились до 1960-х гг. Самые известные ансамбли встречаются вдоль парадных магистралей Московского проспекта и проспекта Стачек [4]. Поскольку отделка применялась только для фасадов, выходящих на парадные магистрали, а внутриворобные корпуса отличались своей скромностью не только в декоративном плане, но и в материалах и объемно-планировочных решениях, можно разделить дома той эпохи на три типа, включая довоенное время (табл. 4).

Таблица 4

**Типы домов сталинской эпохи**

Тип		
Довоенного периода (крупноблочные виды)	Ансамбли вдоль магистралей	Внутриворобная рядовая застройка

В период с 1956 по 1965 гг. стратегия массового индустриального домостроения привела к тому, что было построено больше 13 тысяч жилых домов, и почти все – пятиэтажки, или, в народе, хрущевки [4]. Огромные территории, не занятые домами прошлых эпох, застраивались разнообразными сериями и конфигурациями, которые были направлены на решение жилищных проблем в городе. Выделить из всего разнообразия типов, можно блочные серии, кирпичные серии и панельные серии. Благодаря конфигурациям,

они возводились, как точечно, так и состоящие из нескольких секций, двух-девятиэтажные.

Строительство этой эпохи положило начало квартальной застройке, Санкт-Петербург начал развиваться вширь, осваивая новые районы города (табл. 5).

Таблица 5

**Типы домов хрущевской эпохи**

Тип				
Блочные серии	Кирпичные серии		Панельные серии	
Много-секционная конфигурация	Точечная конфигурация	Много-секционная конфигурация	Точечная конфигурация	Многосекционная конфигурация

Следующий тип жилья пришел на смену домам прошлой эпохи, и ими стали панельные брежневки, или улучшенные хрущевки [4]. С 1965 г. до конца 1980-х гг. разрабатывались и строились различные проекты, в том числе продолжилось усовершенствование хрущевок, они стали выше (9–12 этажей), изменилось объемно-планировочное решение дома, но массовой застройки кварталов уже не было. Другая серия, появившаяся в 1970-е, – дома-корабли. Такое прозвище они получили благодаря оформлению фасадов, окна в квартирах располагались очень высоко от пола (перекрытия), приобретая прямоугольную вытянутую форму, что подчеркивалось цветом наружных стен, которые чередовались в виде цветных и белых полос. Конфигурация дома была либо в виде вытянутого параллелепипеда, либо точечные, редко встречаются поворотные секции. В этот период можно встретить редкие варианты кирпичных серий, в том числе вариант секции-вставки между другими панельными корпусами, отдельно стоящие точечные дома, а также блочного типа общежития (табл. 6).

В период с 1980-х по конец 1990-х гг. продолжается разработка серий, созданных еще в 1970-е г. А также в лидеры строительного производства на незастроенных территориях города выходит

«Гатчинский ДСК», который по настоящее время развивает свою серию узнаваемых панельных домов.

Таблица 6

**Типы домов брежневской эпохи**

Тип					
Кирпичные серии			Панельные серии		
Точечные (включая бывшие общежития)	Точечные (вставки между секциями)	Много-секционные	Прототип хрущевки, 9–12 этажей	Корабли	
				Точечные	Много-секционные

Строительный рынок в этот момент завершает начатые проекты, но новых разработок пока не было. Продолжает меняться под разными конфигурациями 137 серия, которая отличается лишь цветовым решением фасадов из района в район, облицованная мозаикой или без нее (табл. 7).

Таблица 7

**Дома периода перестройки**

Тип	
Различные конфигурации 137 серии	Дома Гатчинского ДСК

На этом заканчивается целая эпоха жилищного домостроения в Санкт-Петербурге. Получившийся образ районов приобретает похожие очертания с современным мегаполисом.

Далее строительство становится коммерческим проектом, частные организации разрабатывают новые виды проектов с применением современных технологий в угоду выгоде от возведения жилья. Выгода от проданных метров преобладает над художественно-архитектурной составляющей домов. Вперед выходит иной тип, монолитное строительство – технология возведения зданий и сооружений из железобетона, которая позволяет в короткие сроки возводить дома



практически любой этажности и формы. Такое строительство домов подразумевает использование нескольких вариантов каркасов: с несущими продольными стенами, с несущими поперечными стенами, с перекрытиями на несущих колоннах. Монолитные дома бывают двух видов: монолитно-каркасные и кирпично-монолитные. При строительстве кирпично-монолитных домов в основе монолитный каркас, а его внешние стены выполнены из утеплителя и кирпича. В монолитно-каркасных домах сначала собирают монолитный каркас, а затем выполняют внутренние и наружные стены из более легких конструкций. Однако панельный тип застройки не сошел на нет, все еще строятся дома этого типа, только немного измененной конфигурации (больше кухня, лоджии и балконы, просторнее комнаты и разнообразнее планировка).

Таблица 8

**Типы современного жилья**

Типы домов										
Кирпично-монолитные			Монолитно-каркасные				Панельные			
Точечный		Много-секционный	Точечный		Много-секционный		Много-секционный			
Дома повышенной этажности (от 20 эт.)	Дома средней этажности (5–19 эт.)		Малозэтажные дома (до 4 эт.)			Дома повышенной этажности (от 20 эт.)	Дома средней этажности (5–19 эт.)		Малозэтажные дома (до 4 эт.)	Дома повышенной этажности (от 20 эт.)
Дома средней этажности (5–19 эт.)	Малозэтажные дома (до 4 эт.)		Дома повышенной этажности (от 20 эт.)	Дома средней этажности (5–19 эт.)		Малозэтажные дома (до 4 эт.)			Дома повышенной этажности (от 20 эт.)	
Малозэтажные дома (до 4 эт.)	Дома повышенной этажности (от 20 эт.)		Дома средней этажности (5–19 эт.)		Малозэтажные дома (до 4 эт.)			Дома повышенной этажности (от 20 эт.)	Дома средней этажности (5–19 эт.)	
Дома повышенной этажности (от 20 эт.)	Дома средней этажности (5–19 эт.)		Дома повышенной этажности (от 20 эт.)	Дома средней этажности (5–19 эт.)		Малозэтажные дома (до 4 эт.)			Дома средней этажности (5–19 эт.)	
Дома средней этажности (5–19 эт.)	Малозэтажные дома (до 4 эт.)		Дома повышенной этажности (от 20 эт.)	Дома средней этажности (5–19 эт.)		Малозэтажные дома (до 4 эт.)			Дома средней этажности (5–19 эт.)	
Малозэтажные дома (до 4 эт.)	Дома повышенной этажности (от 20 эт.)		Дома средней этажности (5–19 эт.)		Малозэтажные дома (до 4 эт.)			Дома средней этажности (5–19 эт.)	Малозэтажные дома (до 4 эт.)	
Дома повышенной этажности (от 20 эт.)	Дома средней этажности (5–19 эт.)		Дома повышенной этажности (от 20 эт.)	Дома средней этажности (5–19 эт.)		Малозэтажные дома (до 4 эт.)			Дома средней этажности (5–19 эт.)	
Дома средней этажности (5–19 эт.)	Малозэтажные дома (до 4 эт.)		Дома повышенной этажности (от 20 эт.)	Дома средней этажности (5–19 эт.)		Малозэтажные дома (до 4 эт.)			Дома средней этажности (5–19 эт.)	
Малозэтажные дома (до 4 эт.)	Дома повышенной этажности (от 20 эт.)		Дома средней этажности (5–19 эт.)		Малозэтажные дома (до 4 эт.)			Дома средней этажности (5–19 эт.)	Малозэтажные дома (до 4 эт.)	

Типология жилого фонда Санкт-Петербурга весьма разнообразна и широко представлена в каждом из этапов строительства того или иного времени.

В результате, выделены типы жилья Санкт-Петербурга, обозначены самые распространённые типы застройки, в которых проживает значительная часть петербуржцев, эти данные далее позволяют определить соответствие типов жилья принципам устойчивого развития, выявить наиболее перспективные типы жилья с точки зрения устойчивого развития.

#### Литература

1. Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию: указ Президента РФ № 440 от 01 апреля 1996 г. // Сайт НП «Научно-информационное агентство «Наследие Отечества». URL: <http://old.nasledie.ru/> (дата обращения 30.09.2020).
2. *Митягин С. Д.* Градостроительство эпоха перемен. СПб.: Зодчий, 2016. 279 с.
3. *Есаулов Г. В.* Устойчивая архитектура как проектная парадигма (к вопросу определения) // Устойчивая архитектура: настоящее и будущее: труды международного симпозиума. 17–18 ноября 2011 г. Научные труды Московского архитектурного института (государственной академии) и группы КНАУФ СНГ. М.: МАРХИ, 2012. 648 с.
4. *Мойзер Ф., Задорин Д.* К типологии советского типового домостроения. Индустриальное жилищное строительство в СССР 1955–1991. Berlin: Dom-publishers, 2014. 448 с.

## СТРОИТЕЛЬСТВО

---

**УДК 624.21.016**

*Дарья Николаевна Наборщикова,*  
студент

*Евгения Алексеевна Зорина,*  
студент

*Глеб Александрович Аверченко,*  
ассистент

(Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого)

*E-mail: darya\_naborschikova@mail.ru,*  
*zorina.ea@edu.spbstu.ru,*  
*rusbim.com@ya.ru*

*Darya Nikolaevna Naborschikova,*  
student

*Evgeniya Alekseevna Zorina,*  
student

*Gleb Aleksandrovich Averchenko,*  
Assistant

(Peter the Great  
St. Petersburg

Polytechnic University)

*E-mail: darya\_naborschikova@mail.ru,*  
*zorina.ea@edu.spbstu.ru,*  
*rusbim.com@ya.ru*

### **УСИЛЕНИЕ ПЕРЕКРЫТИЙ И ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРОЙ ПОД АВТОМОБИЛЬНУЮ НАГРУЗКУ**

#### **REINFORCEMENT OF BRIDGE FLOORS AND SPANS WITH FIBERGLASS REINFORCEMENT FOR AUTOMOBILE LOADING**

На сегодняшний день клееная древесина достаточно широко применяется в строительной отрасли. Основным требованием для ее эффективного использования является снижение материалоемкости.

В статье рассматриваются несущая способность и характер распределения нормальных и касательных напряжений по длине клееных балок. Также анализируется эффект от использования наклонных предварительно напряженных элементов (стеклопластиковой арматуры), прикрепленных через уступы в приопорных зонах. Результаты исследования показывают, что данный способ позволяет в полной мере использовать прочность клееной древесины по нормальным и касательным напряжениям и тем самым снизить материалоемкость.

*Ключевые слова:* несущая способность, касательные напряжения, инженерные сооружения, строительство, клееная древесина, предварительно напряженные элементы.

Currently, in the construction industry, glued wood has a fairly wide application. The main requirement for the effective use of this material is to reduce the material consumption. The article discusses the load-bearing capacity, the nature of the distribution of normal and tangential stresses along the length of glulam beams.

The effect of the use of inclined, prestressed elements, namely fiberglass reinforcement, attached through the ledges in the supporting zones, was also analyzed. The conclusion is that this method allows to fully use the strength of glulam wood under normal and tangential stresses and thereby reduce the material consumption.

*Keywords:* bearing capacity of beam, tangential stresses, engineering structures, construction, glulam timber, prestressed elements.

Важной частью прогресса, в том числе и в строительной сфере, является поиск новых эффективных решений, которые помогут улучшить полученные конструкции [1–4]. Таким решением является применение армированных балок из клееной древесины, такие балки имеют меньший вес, являясь при этом прочным и долговечным материалом. В отличие от натурального дерева, обладая всеми преимуществами древесных материалов, клееный материал имеет меньшую влажность, в ней используется чередование направления волокон, а также из нее удаляют все пороки древесины, что увеличивает срок службы конструкций. Кроме того, для клееных балок не нужен цельный кусок древесины. Однако основным недостатком этих балок является излишняя материалоемкость, которая, в свою очередь, увеличивает массивность сечения, а этим и монтажную массу. Данные балки применяются в перекрытиях и пролетных строениях мостов.

В статье [5] мы уже писали, что «для уменьшения материалоемкости клееной древесной балки необходимо полное использование прочности древесины по нормальным и касательным напряжениям».

Данная задача может быть подремонтирована с помощью конструкции клееной древесной балки. Схема представлена на рис. 1.

Балка состоит из досок, горизонтально расположенных и оклеенных между собой в пакет, к которому в приопорной зоне прикреплены через упоры наклонные предварительно наряженные элементы. Материалом для элементов может служить стеклопластиковая высокопрочная низко модульная арматура, применение которой

позволяет снизить потери от усадки и набухания древесины, стабилизировать усилия преднапряжения в процессе эксплуатации [6, 7].

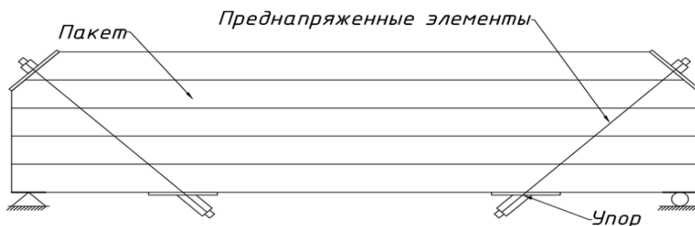


Рис. 1. Схема клееной деревянной балки, усиленной затяжкой из стеклопластиковой арматуры

Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил под действием равномерно распределенной нагрузки  $q$  на деревянную балку прямоугольного сечения изображены на схеме (рис. 2) [8, 9].

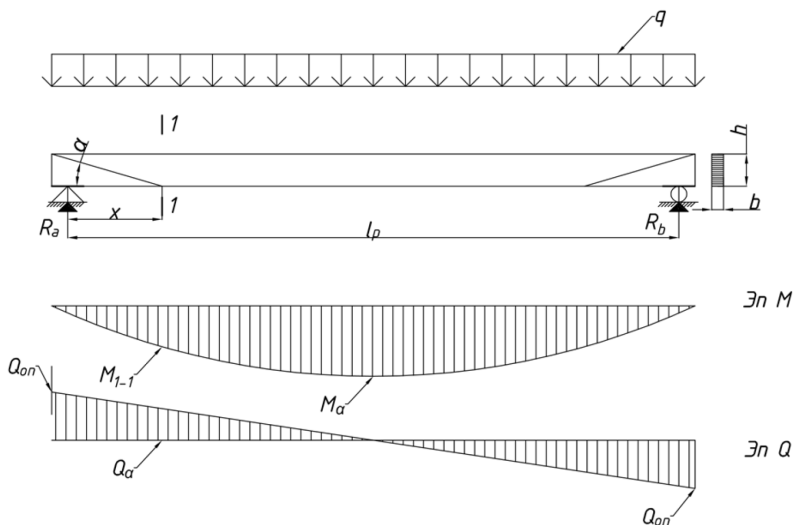


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов и поперечных сил в балке прямоугольного сечения под действием равномерно распределенной нагрузки  $q$

Из условия прочности по нормальным сечениям (определяется из выражения) определим оптимальную высоту балки:

$$h_{\text{оп}} = \sqrt{\frac{6M_x^p}{m \cdot R_{xb} \cdot b}}, \quad (1)$$

где  $6M_x^p$  – расчетный изгибающий момент;  $m$  – коэффициент условной работы;  $R_{xb}$  – расчетное сопротивление при изгибе;  $b$  – назначенная конструктивная или технологическая ширина балки.

Проверка касательных напряжений требует выполнения следующего условия:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{3Q_d}{2bh} \leq m_a \cdot R_{xaf}, \quad (2)$$

где  $m_a$  – коэффициент условий работы при сколе вдоль волокон;  $R_{xaf}$  – расчетное сопротивление древесины на скалывание при изгибе.

При равенстве касательных напряжений и расчетных сопротивлений сколу  $R_{xaf}$ , то поперечная сила будет иметь значение:

$$Q_x = \frac{2bhR_{xaf}}{3}. \quad (3)$$

Из равенства найденного значения  $Q_x$  выражению для поперечной силы в общем виде:

$$Q_x = \frac{ql}{2} - qx \quad (4)$$

определяется сечение:

$$x = \frac{3ql - 4m_a R_{xaf} bh}{6q}, \quad (5)$$

для которого  $\tau_{\text{max}} = R_{xaf}$ .

Определим возникающее в затяжке усилие, на которую необходимо передать часть поперечной силы  $Q_{\text{оп}} - Q_x$  на участке от опоры до сечения  $x$ :

$$N_3 = \frac{Q_{\text{оп}} - Q_x}{\sin \alpha}, \quad (6)$$

где  $Q_{оп}$  – поперечная сила на опоре,  $\infty$  – угол наклона затяжки к продольной оси балки.

Площадь затяжки определяется по выражению:

$$A_3 = \frac{N_3}{\sigma_{рmax} - \sum \sigma_{п}}, \quad (7)$$

где  $\sigma_{рmax}$  – контролируемое напряжение в арматуре,  $\sum \sigma_{п}$  – сумма потерь предварительного напряжения.

Искривление сечений клееной балки происходит под действием касательных напряжений, которые определяются в зависимости от величины поперечной силы в конкретном сечении:

$$\Delta^{\delta} = \frac{Q y_B^3}{3G_{\delta} I}, \quad (8)$$

где  $Q$  – поперечная сила в интересующем сечении,  $G_{\delta}$  – модуль упругости второго рода для древесины,  $I$  – момент инерции балки.

Схема искривления деревянной балки под действием касательных напряжений представлена на рис. 3.

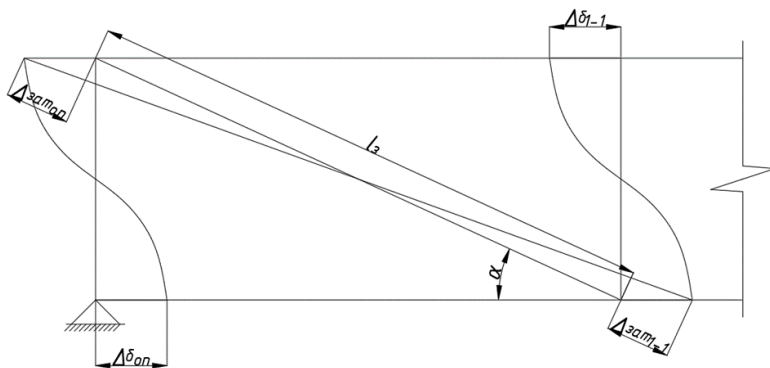


Рис. 3. Схема искривления балки

В силу того, что в пределах участка  $x$  поперечная сила ограничена величиной  $Q_x$  по (\*), смещение  $\Delta^{\delta}$  составит

$$\Delta^{\delta} = \frac{m_a R_{\alpha af} h}{3G_{\delta}}. \quad (9)$$

При этом затяжка получит удлинение исходя из условия

$$\Delta_{1-1}^{\text{зат}} + \Delta_{\text{оп}}^{\text{зат}} = 2\Delta^{\delta} \cos \alpha, \quad (10)$$

в связи с чем в затяжке возникает усилие самонатяжения, определяемое по формуле

$$N_{\text{сн}} = \frac{2m_a R_{\alpha af} \cdot h \cdot E_S \cdot A_S \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{3 \cdot G_{\delta} \cdot l_3}. \quad (11)$$

Эффект предлагаемого способа усиления можно проследить на эпюрах (рис. 4).

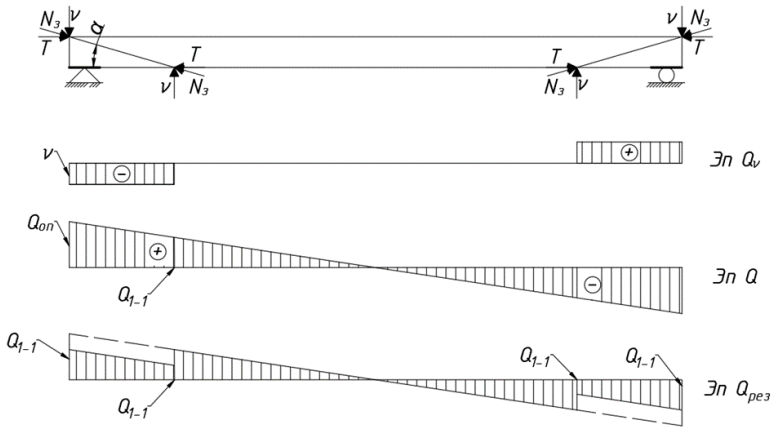


Рис. 4. Эпюры поперечных усилий в балке

Графики поперечных сил, построенные с учетом влияния усилий в затяжке, указывают на разгружающее действие последней на работу балки по касательным напряжениям в приопорных зонах. То есть затяжки из стеклопластиковой арматуры позволяют увеличить допустимую нагрузку на рассматриваемую балку из клееной древесины без увеличения ее материалоемкости, что приводит к повышению прочности рассматриваемой балки.



Таким образом, можно сделать вывод, что усиление стеклопластиковой арматурой помогает решить основную проблему клееных деревянных балок – уменьшение материалоемкости без потери прочности путем его полного использования по нормальным и касательным напряжениям. Также с помощью затяжек из стеклопластиковой арматуры удалось снизить поперечные усилия в приопорных зонах. Все это позволяет в полной мере усилить перекрытия и пролетные строения мостов под автомобильную нагрузку.

### Литература

1. *Аверченко Г. А., Мухаррямов И. Р.* Опыт строительства автомобильных дорог в Швеции // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № S10(11). С. 6–16.
2. *Mukharryamov I., Averchenko G.* Improvement of analysis and design of road pavements using nepheline sludge // Architecture and Engineering. 2020. V. 5. No. 3. P. 63–69. DOI: 10.23968/2500-0055-2020-5-3-63-69.
3. Приспособление для монтажа защитной сетки из полимерных материалов: патент на полезную модель 140522 Рос. Федерация. № 2013159198/13 / Ермошин Н. А., Букатов Д. С., Никоноров А. Н., Егошин А. М., Толстиков А. Н., Новик А. Н., Уколов С. А., Чернышов А. Г., Строгонов А. В., Алексеев С. В.; заявл. 30.12.2013; опубл. 10.05.2014, Бюл. № 13. 2 с.
3. *Барабанчиков Ю. Г., Бегич Я. Э., Черкашин А. В., Шерстобитова П. А., Герасимова Т. Ю.* Влияние аморфной фибры на физико-механические свойства бетона с крупным заполнителем // Неделя науки СПбУ: Материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч. СПб., 2019. С. 198–201.
4. *Аверченко Г. А., Зорина Е. А., Ким Д. У., Наборщикова Д. Н.* Увеличение несущей способности мостовых балок из клееной древесины // StudNet. 2020. Т. 3. № 11. С. 142.
5. *Аверченко Г. А., Кирьян И. В.* Выбор маршрута и пропуск сверхнормативных нагрузок по автодорожным мостам // StudNet. 2020. Т. 3. № 2. С. 392–401.
6. *Аверченко Г. А., Кириллова Д. Ю.* Исследование работы стеклопластобетонных балок // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, Инженерно-строительный институт. В 3 ч.; отв. ред. Н. Д. Беляев, В. В. Елистратов. СПб., 2019. С. 42–44.
7. *Ермошин Н. А., Исмаилов А. М.* Долговечность и качество // Автомобильные дороги. 2021. № 1(1070). С. 94–97.
8. *Лазарев Ю. Г., Новик А. Н., Шибко А. А., Алексеев С. В., Ворончихин Н. В., Змеев А. Т., Уколов С. А., Трепалин В. А., Дахин С. В., Колесников В. Т., Симонов Д. Л.* Строительство автомобильных дорог и аэродромов. СПб.: Изд-во ВА МТО им. А. В. Хрулева, 2013. 528 с.

УДК 624.05

*Маграм Икрамович Бабаев,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: magram.babaev@yandex.ru*

*Magram Ikramovich Babaev,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: magram.babaev@yandex.ru*

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ  
МОДУЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ.  
МИРОВОЙ И РОССИЙСКИЙ ОПЫТ**

**MODERN TRENDS IN THE DEVELOPMENT  
OF MODULAR ARCHITECTURE.  
WORLD AND RUSSIAN EXPERIENCE**

Постоянная нехватка жилой площади является актуальной проблемой мирового масштаба, поэтому строительство – перспективная отрасль развития экономики любого государства. Наиболее остро сегодня стоит вопрос доступности жилья для различных категорий граждан. В стремлении снизить стоимость квадратного метра и не потерять привлекательность архитектурного образа разрабатываются различные способы возведения зданий. Индустриализация жилищного строительства в середине XX в. существенно повлияла на развитие модульной архитектуры. Модульное строительство позволило возводить многоэтажные здания в короткие сроки, что в полной мере отвечало сложившейся в мире экономической и демографической ситуации. Однако возникла проблема архитектурной выразительности модульного домостроения, порождавшего однотипные районы и даже города. За рубежом подобные здания впоследствии претерпевали значительные изменения и подвергались реконструкции. В России же данный вопрос пока находится на стадии дискуссии.

*Ключевые слова:* архитектурный образ, модульное строительство, доступность жилья, выразительность, возведение зданий.

The constant shortage of living space is an urgent problem on a global scale. Construction is a promising branch of the economy of any state. The issue of housing affordability for various categories of citizens is currently one of the most acute ones. In an effort to reduce the cost per square meter of housing and not lose the attractiveness of the architectural image, various methods of building construction were developed. The industrialization of housing construction in the mid-twentieth century significantly influenced the development of modular architecture.

“Modular construction” allowed the construction of multi-storey buildings in a short time, which fully corresponded to the current economic and demographic situation in the world. But there was a problem of architectural expressiveness of modular housing construction. The rapid construction of modular buildings gave rise to featureless and uniform neighborhoods and even cities. Abroad, such buildings have undergone significant changes and underwent reconstruction. In Russia, this issue is under discussion.

*Keywords:* architectural image, modular construction, housing affordability, expressiveness, construction of buildings.

В августе 2020 г. для г. Москвы и Московской области был принят график расселения домов, которые участвуют в новой программе реновации. Дома с изношенными коммуникациями, низкими потолками и небольшими комнатами считают не пригодными для жилья.

Программа реновации затронула не только Москву. В Санкт-Петербурге нет такого массового сноса всех зданий, часть зданий преходит этап реконструкции.

Модульный тип зданий помогает удовлетворить множество актуальных потребностей:

- экономичность;
- экологичность;
- энергоэффективность;
- быстровозводимость;
- архитектурный облик;
- динамичность.

*Экономичность* модульных зданий учитывает факторы формирования себестоимости 1 м<sup>2</sup> жилья, такие как:

- затраты на инженерную подготовку места возведения;
- цены на строительные материалы;
- периодические остановки строительства;
- организации строительного процесса.

*Экологичность* модульного здания обеспечивается набором показателей высококачественных и экологических материалов. Возможно применение эковаты, в качестве утеплителя. Она состоит из вторичной обработки в пределах 80 %. Характеристика целлюлозы и структура эковаты позволяет судить, что данный утеплитель в период

долгой эксплуатации (более 100 лет) не разлагается. При правильной установке вата не подвержена просадкам и конденсации влаги.

*Энергоэффективность* может достигаться тем же внедрением экваты.

*Быстровозводимость* является главным преимуществом модульных конструкций. Потому что такие здания не требуют использования тяжёлого кранового оборудования. Ускоренные темпы возведения эффективны во многих областях.

Такой фактор как *динамичность* включает в себя возможности быстрой сборки-разборки и передислокации конструкции. Возможна трансформация и адаптации к определённым условиям.

Сравнение, в котором наглядно отражены недостатки и достоинства разных подходов, модульного строительства с капитальным приведено в табл. 1 [1].

Таблица 1

**Сравнение капитального и модульного строительства**

Критерий	Модульное строительство	Капитальное строительство
Фундамент	Не обязательно	Заглубленный фундамент
Сезонность	Всесезонность	Ограничение по сезонам
Мобильность	Многоплановая	Недвижимое
Долговечность	До 50 лет	До 150 лет
Инженерное оборудование	Готовые коммуникации	Проведение коммуникаций
Стоимость	Невысокая	Высокая
Сроки возведения	Быстровозводимые	Длительное время

Прототипами модульной архитектуры можно назвать юрты, вивгамы и шалаши. Они относятся к быстровозводимым, но не являются достаточно надежными.

Рассмотрим наиболее интересные примеры модульного домостроения разных временных периодов и конструктивных решений.

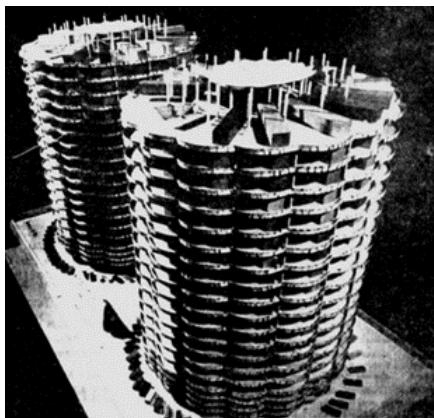


Рис. 1. Макет проекта

Идеи мобильных домов стали актуальны с 1960-х гг. Элмер Фрай предложил проект жилья для г. Милуоки (Висконсин, США) [2]. Введя в обиход понятие «дом на колёсах», он разрабатывал башню, похожую на многоуровневую парковку. Идея Фрая заключалась в возведении двух одинаковых башен (рис. 1) в общем на 1008 модулей. В здании запроектированы рестораны на верхних этажах и общественное пространство у основания. Проект был отмечен на правительственном уровне и получил высокую оценку профессионалов как «динамичный проект, отвечающий вызовам будущего».

Появление модульных домов обусловлено необходимостью инфраструктуры в разных уголках страны. Такие дома были наподобие бытовок, где могло располагаться небольшое количество персонала.

На эту проблему обратил внимание архитектор Жан Маневаль и сумел возвести пластмассовый дом в 1956 г. Его себестоимость была в три раза меньше себестоимости бетонного. Дом состоял из шести пластиковых раковин, соединяющихся вокруг центрального ядра (рис. 2) [3]. В 1968 г. французская фирма *Batiplastique* стала серийно выпускать этот дом.



Рис. 2. Посёлок из пластмассовых домов



Рис. 3. Экспериментальный дом в Ленинграде, на ул. Торжковской

В Ленинграде, на Торжковской улице, в глубине квартала между домами 24 к. 1 и 24 к. 2 провели уникальный строительный эксперимент. Был построен небольшой особняк, уникальность которого заключалась не в ярком архитектурном облике или в том, что среди домов построен особняк, а в том, что он был сделан из пластмассы (рис. 3, 4).

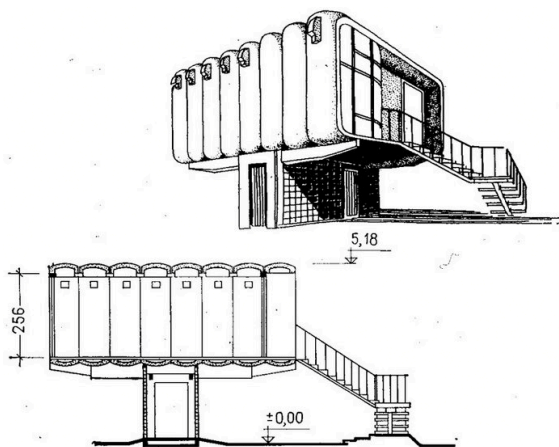


Рис. 4. Вид ленинградского особняка

Авторами этого экспериментального пластмассового дома были архитектор А. П. Щербенок и инженер Л. Г. Левинский. Максимальная толщина стен достигала 140 мм. В доме запроектировали однокомнатную квартиру с кухней, санузлом, кладовкой и небольшой террасой. К сожалению, до наших дней пластмассовый дом не дожил.

Были попытки и сферического домостроения. Дом в виде сферы – своеобразная «навязчивая идея» Дриса Крейкамп, голландского архитектора. С 1965 г. он только и делает, что дома в виде шара (рис. 5). А в 1984 г. государственная программа финансирования экспериментального жилья позволила ему построить целый квартал из сферических домов в Хертогенбосе, родном городе Иеронима Босха. И люди там до сих пор живут [3].



Рис. 5. Сферические дома



Сферическая форма здания не подходит для многоквартирных домов. Теоретически это возможно, но резко падает количество полезной жилплощади. Поэтому в дальнейшем модульное строительство использовало разработанные блок-модули прямоугольного сечения (рис. 6). Именно по такому принципу и выстраивались большинство жилых домов в СССР и европейских странах в середине XX в. Подобное домостроение было очень эффективно, но не создавало гармоничной архитектурной среды, поэтому архитекторы искали способы разнообразить внешний облик жилых домов.



Рис. 6. Модульная застройка

Теперь рассмотрим примеры разнообразных архитектурных объемно-планировочных решений.

Выдающейся демонстрацией первого примера модульной архитектуры является жилой комплекс «Хабитат 67» в Монреале (рис. 7). Его спроектировал архитектор Моше Сафди в 1966–1967 гг. [4]. Основой этого строения является куб. 354 куба, наращенных друг на друга, позволили создать это серое по цвету здание со 146 квар-

тирами. Квартиры имеют личные сады на соседской крыше снизу. Минус такого домостроения – не реализовано всё полезное пространство под застройку и жилплощадь. Но выглядит достаточно футуристично.



Рис. 7. ЖК «Хабитат 67»

Еще одним ярким примером модульного строительства из объемных блоков другого конструктивного типа является башня Накагин в Токио, построенная в 1972 г. по проекту архитектора Кисе Курокавы (рис. 8). На сегодняшний день объект представляет собой смешанную структуру. Блок-модули  $2,5 \times 4,0 \times 2,5$  м из железа на одну жилую ячейку, прикреплены высокопрочными болтами к железобетонному стволу. По идее автора, капсулы могут объединяться и даже меняться по мере необходимости. Здесь мы наблюдаем уже высотное модульное строительство, но выглядит достаточно серо.



Рис. 8. Башня Накагин

**Изола, Словения. 2006 г.** Жилой комплекс служит примером социального жилья, в котором соединились минимальные затраты, эстетичность и функциональность. Возможность сохранения привлекательного внешнего вида и полезной площади квартир, стала настоящей находкой для архитекторов (рис. 9). Целью было создание недорогого социального жилья для молодых семей. Требовалось спроектировать 30 квартир различных размеров: от небольших студий до апартаментов с тремя спальнями. На каждом этаже находятся две однокомнатных, две двухкомнатных и две трехкомнатных квартиры. Важным преимуществом всех этих квартир стало то, что несущими являются лишь внешние стены, поэтому внутренняя планировка всегда может изменяться вместе с потребностями жителей [5].



Рис. 9. Архитектурный вид

**Бруклин, Нью-Йорк, США 2016 г.** В американском Бруклине построен самый высокий в мире модульный дом, автором которого стало бюро *SHoP Architects* (рис. 10). Здание в 32 этажа составляют 930 модулей, созданных и полностью укомплектованных в бруклинской военно-морской верфи [6]. Новые башни содержат разнообразные типы квартир, от роскошных апартаментов на четыре спальни с общей площадью 143 м<sup>2</sup>, до 59-метровых квартир с двумя спальнями. Всего в комплексе 42 тыс. м<sup>2</sup> общей площади приходится на 505 квартир [7].

На рубеже XX–XXI вв. в современной архитектуре сохраняется тенденция к модульному домостроению. Все так же актуален вопрос доступности жилья для населения, дефицит земельных ресурсов для строительства, особенно в мегаполисах. Мировой тенденцией в XXI в. стало освоение водных и прибрежных пространств крупных городов мира.

Лидером в области модульного строительства на сегодняшний день является Великобритания. На территории страны расположено несколько десятков предприятий, выпускающие блоки-модули,

которые широко применяются. Поскольку модульный дом лёгкий и достаточно простой в установке, его можно установить и на воде. Так как такой дом не является недвижимостью, то для его установки не нужны дополнительные разрешения. А устанавливаются такие дома на понтон – плавучую платформу.

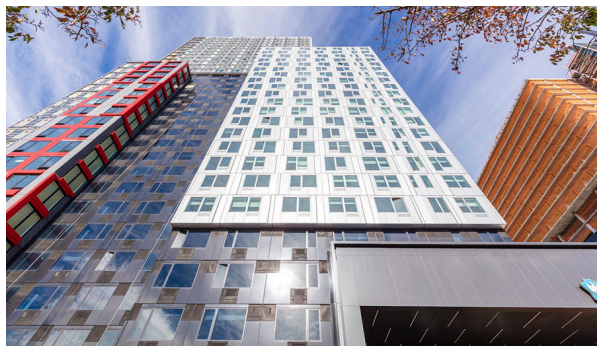


Рис. 10. Модульная многоэтажка

Продолжая развитие модульного строительства, стоит разработать серию оригинальных элементов модульной конструкции, для возможности многоквартирного моделирования гармоничного архитектурного облика с учётом новейших технологий производства.

Всё большую популярность в наши дни приобретает такая тенденция в архитектуре, как карготектура. *Cargo* в переводе с английского означает «груз», а карготектура – это возведение зданий из грузовых контейнеров. Современные архитекторы заявляют, что данное направление будет лишь развиваться и находить свое применение по всему миру. Они утверждают, что эти дома экономичны, могут быть хорошо продуманы, и в них комфортно жить.

Сфера, как архитектурная форма, используется человеком с доисторических времен и, несмотря на преимущества прямоугольной формы, заключающиеся в простоте расчетов и планирования, реализуется все с большей популярностью в проектах частных домов и общественных зданиях различного назначения. Объяснение этому кроется в определенных преимуществах формы, а также в воз-

возможностях, которые предоставляет строительной индустрии век новых материалов и технологий производства работ.

Новым направлением в строительстве является «печать» зданий с помощью промышленного 3D-принтера. Компанией *Dus Architects* разработан проект по печати жилого здания на 3D-принтере из биопластика [8].

Стоимость квадратного метра жилья зависит от множества факторов, к ключевым из них относятся: локация строительства, конструктивная система, строительная база региона и технология возведения здания.

Современные технологии модульного строительства с применением креативных идей и новейших материалов позволяют не только сделать шаг навстречу решению жилищных проблем социально не защищенных слоев населения, но и разнообразить архитектурную среду жилых районов, решают экологические, экономические и демографические проблемы, не забывая об эстетической составляющей архитектурного облика здания.

### Литература

1. *Дмитриева Н. О., Беляева А. Ю., Рукосуева Е. А.* Модульное строительство как современное направление возведения малоэтажного жилья // Молодой ученый. 2017. № 15(149). С. 366–370.
2. Мобильные модульные дома: от прошлого к настоящему. URL: <http://www.architime.ru/news/aluhouse/alpod.htm#1.jpg> (дата обращения: 20.03.2021).
3. Пластмассовый дом в Ленинграде. URL: <https://masterok.livejournal.com/2955274.html> (дата обращения: 20.03.2021).
4. *Хубаев А. О., Саакян С. С., Макаев Н. В.* Мировая практика в области модульного строительства // Construction and geotechnics. 2020. Том 11. № 2. С. 99–108.
5. *Ермакова А. В., Шахова И. Е.* Вопросы социального жилища в зарубежном опыте проектирования // Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы (поиск). 2020. № 1. С. 205–207.
6. Топ-10 модульных зданий мира. URL: [https://www.architime.ru/specarch/top\\_10\\_modular\\_buildings/modular\\_buildings.htm](https://www.architime.ru/specarch/top_10_modular_buildings/modular_buildings.htm) (дата обращения: 20.03.2021).
7. Многоэтажки теперь модульные – рекорды по высоте и скорости. URL: <https://taratutenko.ru/mnogotazhki-tepery-modulyne-v-rekord-po-vsote-i-skorosti.html> (дата обращения: 20.03.2021).
8. *Сидоренко Д., Шибалева В.* Инновационные технологии в современном строительстве // Региональные архитектурно-художественные школы. 2017. № 1. С. 63–68.

**УДК 624.72**

*Алёна Алексеевна Чеглакова,*  
студент  
*Анастасия Николаевна Подольская,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: cheglakova.alena@gmail.com,*  
*Pod.Anastasi2001@yandex.ru*

*Alena Alekseevna Cheglakova,*  
student  
*Anastasia Nikolaevna Podolskaya,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: cheglakova.alena@gmail.com,*  
*Pod.Anastasi2001@yandex.ru*

**ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГИИ НА КОНСТРУКТИВНЫЕ  
РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ  
И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОРНЫХ ТОННЕЛЕЙ  
(НА ПРИМЕРЕ ГОТАРДСКОГО БАЗИСНОГО ТОННЕЛЯ)**

**INFLUENCE OF GEOLOGY ON THE CONSTRUCTIVE  
SOLUTIONS DURING DESIGNING AND BUILDING  
MOUNTAIN TUNNELS (ON THE EXAMPLE  
OF THE GOTTHARD BASIC TUNNEL)**

Проанализирован опыт проектирования и строительства сложного инженерно-технического сооружения – Готтардского базисного тоннеля, что даёт общее понимание о критериях и показателях, которые необходимо учитывать при проектировании и строительстве горных тоннелей. Раскрыта важность геологических изысканий на стадии проектирования. Описаны все трудности, с которыми столкнулись проектировщики и строители.

Проектирование Готтардского тоннеля длилось более 50 лет. Только развитие техники и технологий позволило поэтапно реализовать задуманные планы и завершить строительство уже в XXI в. Существенное влияние на успешную реализацию проекта оказали не только особенности массива горных пород, но и другие важные факторы: гидрогеологические условия, температура в недрах горных пород и т. п.

*Ключевые слова:* тоннели, проектирование, строительство, геология, Готтардский базисный тоннель.

In this article, the importance of geological surveys at the stage of designing mountain tunnels is revealed on the example of the difficult engineering and technical structure of the Gotthard basic tunnel. All the difficulties were described which designers and builders faced. The designing of the Gotthard tunnel lasted for more

than fifty years. And only the development of modern technologies and technics allowed step by step to realize plans and finish the building of this unique object in the 21st century. Except the features of the massif, other important factors such as hydrogeological conditions, temperature in the bosom of rocks had a significant influence of the successful implementation of the project. In this article, experience of the designing and building of the Gotthard tunnel was analyzed. And it allows to form a common understanding of the criteria and indicators which should be considered during designing and building mountain tunnels.

*Keywords:* tunnels, designing, building, geology, Gotthard basic tunnel.

Прокладка транспортных тоннелей – одно из древнейших направлений в строительных технологиях, уходящее корнями в доисторические времена. Ученые даже затрудняются назвать дату появления первого тоннеля. В наше время строительство тоннелей широко применяется во многих сферах человеческой жизнедеятельности: от железных дорог и автострад до энергосистем и разведки недр.

Не везде можно строить тоннели и при проектировании необходимо учитывать геологические особенности местности. Существуют различные постоянно развивающиеся технологии для борьбы с геологическим многообразием пород и почв.

В данной статье освещается этот вопрос на примере одного из самых масштабных горных тоннелей мира – Готардского базисного тоннеля под перевалом Сен-Готард в Альпах, Швейцария (рис. 1).



Рис. 1. Готардский тоннель на карте (схематичное изображение)



Готардский базисный тоннель – самый длинный и глубокий железнодорожный тоннель в мире. Его длина превышает 57 км, он проходит сквозь толщу гор на глубине 2,3 км.

Первый эскиз тоннеля был сделан еще в 1947 г. инженером Карлом Эдуардом Грюнером. И только лишь в 1993 г. начались первые работы. Почти пятьдесят лет потребовалось на создание проекта, так как необходимо было создать сложную инженерную конструкцию, которая к тому же была очень дорогостоящей.

1 июня 2016 г. состоялось официальное открытие самого большого в мире железнодорожного тоннеля [1].

В процессе подготовки к проектированию и строительству тоннелей необходимо провести инженерно-геологические изыскания и комплексный системный анализ конкретных инженерно-геологических условий, чтобы получить необходимую информацию о массиве горных пород для выбора оптимального проектного и технологического решения [2].

При строительстве Готардского тоннеля строители столкнулись с рядом геологических особенностей.

Одна из этих особенностей – это массив горных пород. Он представляет собой сложный объект исследования, особенно если просчитать возможность тех изменений в его состоянии, которые произойдут в процессе строительства и эксплуатации подземных сооружений.

На строительство Готардского тоннеля непосредственное влияние оказали геологические особенности самих Альп (этот горный хребет является результатом столкновения двух дрейфующих литосферных плит: Африканской и Евразийской; медленный геологический процесс сформировал горы, являющие собой сэндвич из разнообразных пород европейского и африканского происхождения.). На пути строителей встретилось около трех десятков слоев горных пород с разными свойствами. Траектория тоннеля в виде растянутой латинской *S*, положенной горизонтально, была подобрана так, чтобы обойти большинство проблемных геологических зон.

Условия проходки тоннелей зависят, в основном, от состояния горных пород, их происхождения и от горного давления, передава-

емого ими на обделку тоннеля (обделка – строительная конструкция, которая возводится вокруг горной выработки при строительстве подземного сооружения) [3]. Причинами проявления горного давления могут быть механические и химические повреждения.

Отрицательная роль трещин в любых породах очень велика, так как с ними непосредственно связано наличие большого количества воды в тоннельных выработках.

При строительстве Готардского тоннеля из-за высокого давления происходила усадка породы, и обычный способ увеличения размеров сечения выемки грунта, позволяющий горе «выпустить пар», не использовался. В тех критических зонах Готардского базисного тоннеля, где стабильность не могла быть достигнута, просто благодаря деформации, использовали телескопически скользящие кольца (рис. 2).

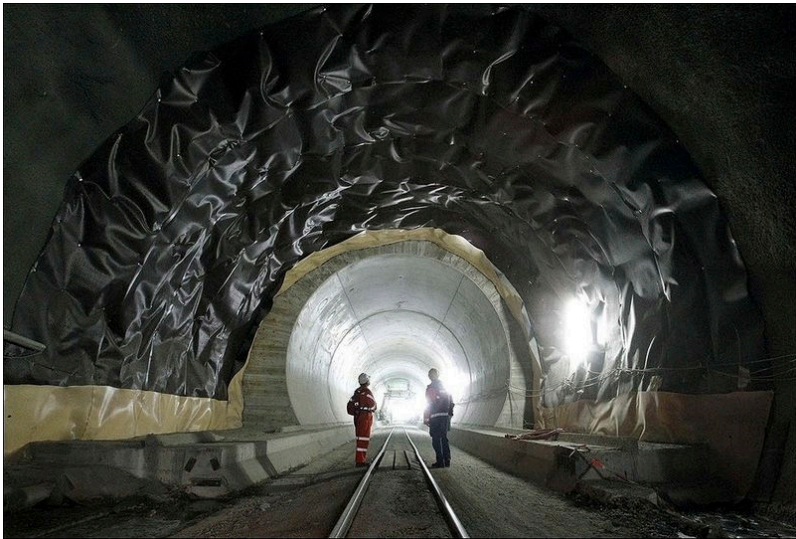


Рис. 2. Система из телескопически скользящих колец

Доставка людей и оборудования на глубину проведения работ – это серьезная и сложная задача. Для этого была прорыта 800-метровая

вертикальная шахта, через которую спускали людей. Для создания тоннеля использовались буровзрывные работы и несколько тоннелепроходческих комплексов (ТПК), которые сами по себе являются уникальными и технически сложными машинами (только на сборку одной машины уходило 3 месяца!), а длина одной из таких буровых установок составляет четыре футбольных поля (рис. 3) [4].



Рис. 3. Тоннелепроходческий комплекс (ТПК)

Помимо геологических особенностей, существуют и иные факторы, влияющие на проектирование и строительство горных тоннелей.

1. *Химические повреждения горных пород* вызваны изменением состава пород в результате химических реакций минералов с водой, которая поступает в пустоты между минеральными частицами по трещинам и сбросам.

Примерами таких явлений служат:

- воздействие дождевой воды приводит к химическому выветриванию;
- воздействие восходящих потоков теплой воды – к гидротермическому изменению;
- выветривание выражается в разложении химически нестойких составляющих пород и в переходе в раствор растворимых;

- химическая агрессивность воды разрушающе влияет на породы, а также на бетон и металл.

2. *Гидрогеологические условия* имеют весьма важное значение как при постройке тоннелей, так и во время их эксплуатации.

Еще одной проблемой для инженеров стала потенциальная угроза прорыва грунтовых вод. Пробные бурения скважин в долине Валь Пиора показали, что доломит и трасса тоннеля нигде не пересекаются. Но при этом проблему подземных вод необходимо было решить. «Для этого нам пришлось прибегнуть к так называемому „методу зонтика“, – рассказывает инженер Фабиана Хенке. – Своды туннелей были герметизированы, а в нижней части расположились системы стока, приема, сбора и отвода вод под железнодорожным полотном к южному или северному порталам туннеля».

Помимо этого, вода с Альпийский ледников, составляющая 6 % пресной воды в мире, сочилась в тоннель. По расчетам геологов, в сутки в тоннель попадало 17 л. Для решения этой проблемы были сделаны отверстия по стенам тоннеля, а вниз проложены дренаж и труба, по которой вода вытекает из тоннеля. Стены также были закрыты водонепроницаемой пленкой, а после арматурой.

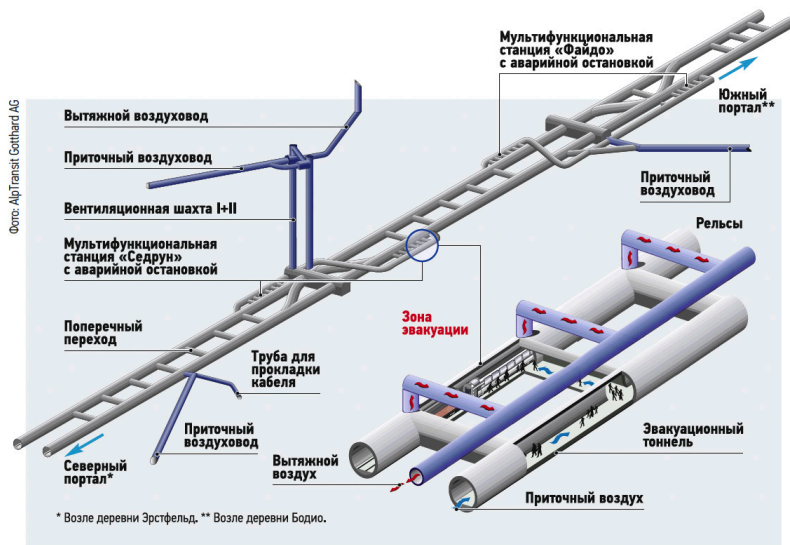
3. *Температура* также является важным инженерно-геологическим фактором. Необходимо обеспечить оптимальный температурный режим для проведения строительных работ и эксплуатации тоннеля.

Тоннель строился на рекордной глубине, в некоторых местах превышающей 2000 м, поэтому температура была крайне высокой. Для обеспечения работы ТПК специальные вентиляционные системы охлаждали воздух с 45 до примерно 28 °С.

Помимо этого, вентиляционные системы были объединены с уникальной аварийной системой (рис. 4): были построены дополнительно два тоннеля и шахты с мощнейшими турбинами, которые вытягивают воздух из основного тоннеля.

Таким образом, Готардский базисный тоннель стал инженерным и техническим прорывом в строительстве тоннелей.

Проведенный анализ его проектирования и сложностей, возникших при строительстве, позволяет сформулировать некоторые рекомендации для создания подобных строительных объектов:



❖ Схема Готтардского тоннеля

Рис. 4. Схема аварийной системы

1) не существует одинаковых горных массивов, поэтому перед началом проектирования необходимо брать пробы грунта согласно с требованиями СП 122.13330.2012 «Тоннели железнодорожные и автодорожные (*Railways and highway tunnels*)»; данная информация повлияет на выбор технического оснащения строительства;

2) на способ проходки тоннелей влияет почвенный состав массива горных пород, поэтому необходимо проектировать тоннель в тех местах, где нет мягких пород;

3) чем глубже расположен тоннель, тем выше температура в нем, поэтому важная роль отводится вентиляционным системам для обеспечения комфорта людям и качественной работы технического оборудования;

4) вода – один из главных врагов тоннелей, именно поэтому необходимо тщательно продумывать дренажную систему отвода воды из тоннеля.

**Литература**

1. Длинною в 20 лет. Самый протяженный тоннель в мире открывается 1 июня в Швейцарии. URL: <https://news.tut.by/world/498691.html> (дата обращения: 15.03.2021).
2. Пашкин Е. М. Инженерно-геологические исследования при строительстве туннелей. СПб.: Группа компаний «Геореконструкция», 2013. 240 с.
3. Геологические условия заложения тоннелей и методы инженерно-геологических исследований. URL: <http://ctcmetar.ru/tonneli/484-geologicheskie-usloviya-zalozheniya-tonneley-i-metody-inzhenerno-geologicheskikh-issledovaniy.html> (дата обращения: 20.03.2021).
4. Pioneering underground together. URL: <https://www.herrenknecht.com/en/references/referencesdetail/gotthard-base-tunnel/> (дата обращения: 17.03.2021).

УДК 624.131

*Анна Александровна Рыбак,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: anna\_rybak\_19@mail.ru*

*Anna Aleksandrovna Rybak,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: anna\_rybak\_19@mail.ru*

## **РАСЧЕТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОГРАЖДЕНИЙ КОТЛОВАНОВ**

### **DESIGN JUSTIFICATION OF GEOMETRIC AND MECHANICAL PARAMETERS OF PIT FENCING**

При новом строительстве и реконструкции в условиях плотной городской застройки актуальным вопросом является проектирование ограждений котлованов. Ограждающие конструкции должны характеризоваться безопасностью, надежностью и при этом иметь оптимальную сметную стоимость. Несмотря на это, в технических регламентах и иной нормативной литературе отсутствуют конкретные указания и рекомендации по проектированию ограждений и подбору основных геометрических и механических параметров.

В статье приведен сравнительный анализ результатов расчета шпунтового ограждения котлована аналитическим, полуаналитическим и численным методами, а также предложена упрощенная методика расчета.

*Ключевые слова:* котлован, шпунт, ограждение котлована, расчет ограждения, городская застройка.

Nowadays, in conditions of dense urban development during both new construction and reconstruction, the design of pit fences is a very urgent issue. Fences should be designed safe, reliable and reasonable from the economic perspective. Despite this, technical regulations and other reference documents do not contain specific instructions and recommendations for the design and selection of their basic geometric and mechanical parameters. This article provides a comparative analysis of the results of the calculation of pit fencing obtained using analytical, semi-analytical and numerical methods, as well as a simplified calculation method.

*Keywords:* pit, tongue, pit fencing, fence calculation, urban development.

Расчет ограждения производился на примере тестовой задачи. Был принят котлован глубиной 5 м, в верхней толще которого за-

легают пески пылеватые маловлажные, которые подстилаются полутвердыми глинами. На бровке котлована действует равномерно распределенная нагрузка 20 кН/м. Основные характеристики грунтов представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Характеристики грунтов**

№ ИГЭ	Тип грунта	$g$ , кН/м <sup>3</sup>	$j$ , град.	$c$ , кПа
1	Песок	19	30	1
2	Глина	21	20	25

Вначале было рассмотрено графоаналитическое решение методом упругой линии Блюма – Ломейера. Последовательность расчета следующая: на первом этапе строятся эпюры пассивного и активного давлений. Далее эпюры разделяются на расчетные участки, в пределах каждого из которых определяются равнодействующие, строится силовой и веревочный многоугольники (рис. 1).

Графоаналитический метод позволяет определить глубину заделки ограждения, а также рассчитать максимальный изгибающий момент, действующий в сечении стенки. По этому моменту в соответствии с указаниями СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» вычисляется требуемый момент сопротивления металлического шпунта и подбирается его сечение. Выполняется расчет на устойчивость по отношению удерживающего момента к опрокидывающему, исходя из статической схемы относительно точки О.

Далее было рассмотрено полуаналитическое решение в программе *Scad*. Шпунтовое ограждение моделируется прямоугольным элементом с эквивалентной жёсткостью, вычисленной исходя из геометрических характеристик металлического сечения. Активное давление грунта задано трапециевидной нагрузкой, а пассивный отпор через коэффициенты упругого основания по моделям Винклера (Пастернака). В ходе расчетов были получены усилия в ограждении, а также его горизонтальное перемещение (рис. 2).



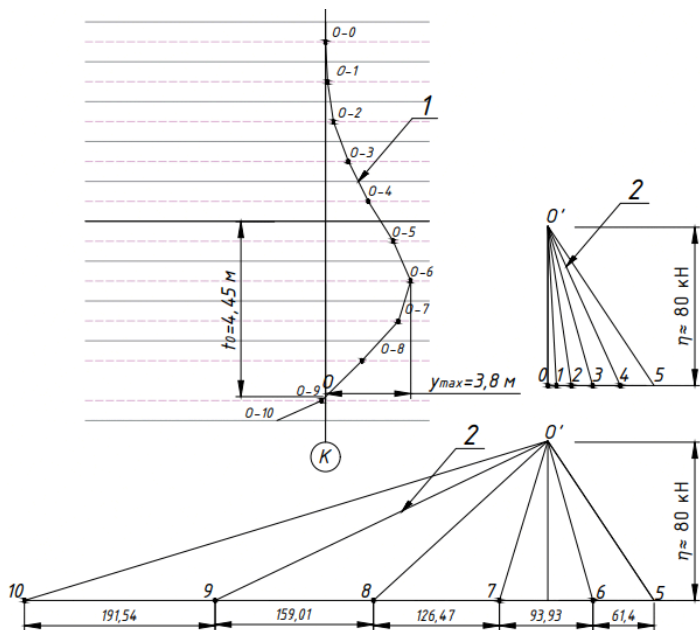


Рис. 1. Графоаналитический метод упругой линии: 1 – веревочный многоугольник; 2 – силовой многоугольник

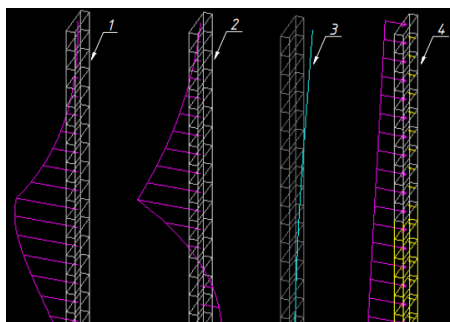


Рис. 2. Результаты расчета в ПК Scad: 1 – эпюра изгибающих моментов; 2 – эпюра поперечных сил; 3 – горизонтальные перемещения; 4 – активное давление грунта (слева) и коэффициент упругого основания (справа)

Стоит отметить, что рассмотренные выше методы не в полной мере отражают реальное напряженно-деформированное состояние, так как фактически на НДС влияют перемещения стенки и разгрузка котлована [1–5].

В качестве альтернативы всем приведенным выше методам можно рекомендовать упрощенную методику, по которой заранее назначается длина ограждения и глубина его заделки. По формулам (1), (2) вычисляется опрокидывающий и удерживающий моменты (рис. 2). Контролируется выполнение условия: удерживающий момент должен быть больше, чем опрокидывающий.

$$M_p = \frac{2}{3} l_z \left\{ \begin{array}{l} \frac{\gamma_{ocp} \cdot l_z^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45 + \frac{\Phi_{ocp}}{2} \right) + \\ + 2c_{ocp} \cdot l_z \cdot \operatorname{tg} \left( 45 + \frac{\Phi_{ocp}}{2} \right) \end{array} \right\}, \quad (1)$$

$$M_a = \frac{2}{3} \left( L + \frac{q}{\gamma_{ocp}} \right) \left\{ \begin{array}{l} \frac{\gamma_{ocp} \cdot L^2}{2} \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\Phi_{ocp}}{2} \right) - \\ - 2c_{ocp} \cdot L \cdot \operatorname{tg} \left( 45 - \frac{\Phi_{ocp}}{2} \right) + \\ + \frac{2c_{ocp}^2}{\gamma_{ocp}} \end{array} \right\}. \quad (2)$$

Далее по значениям нагрузки в уровне дна котлована (3) (рис. 3) с использованием стандартных формул строительной механики (4)–(6), отталкиваясь от условий прочности и деформативности, определяются требуемые параметры металлического или железобетонного ограждения.

$$\sigma_{q+k} = \sigma_q + \sigma_k = q \left( \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_{ocp}}{2} \right) \right) + \gamma_{ocp} \cdot l_k \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi_{ocp}}{2} \right); \quad (3)$$

$$R_s \cdot W > \frac{(2\sigma_q + \sigma_k) \cdot l_k^2}{6} \text{ — условие прочности метал. ограждения; } (4)$$

$$R_s \cdot A_s \cdot h > \frac{(2\sigma_q + \sigma_k) \cdot l_k^2}{6} \text{ — условие прочности ж/б ограждения; } (5)$$

$$EI > \frac{(11\sigma_q + 4\sigma_k) \cdot l_k^4}{12} \text{ — условие деформативности. } (6)$$

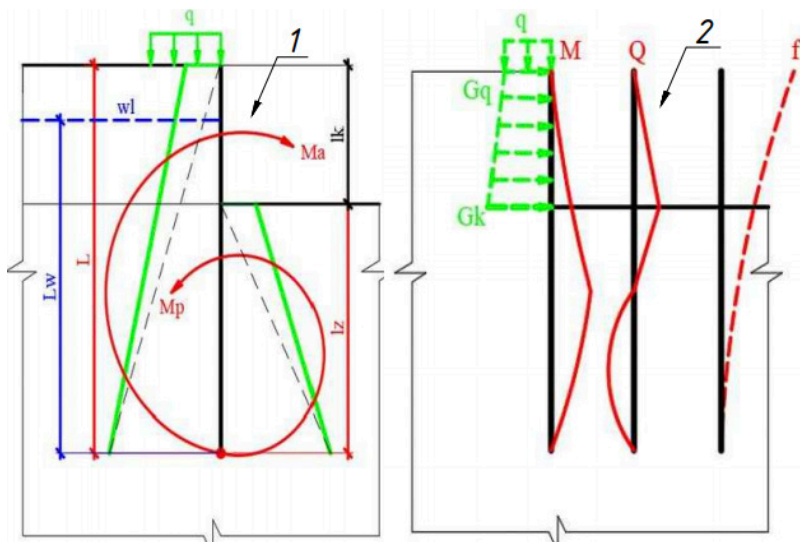


Рис. 3. Схемы для расчета по упрощенной методике:  
 1 – схема для расчета момента активных и пассивных сил;  
 2 – схема приложения нагрузки в уровне дна котлована

Также был рассмотрен расчет в программном комплексе *GEO5*. Метод, заложенный в расчет, основан на нелинейном анализе, то есть величина давлений, действующих на конструкцию, зависит от ее деформаций. В качестве исходных данных было задано подобранное ранее сечение шпунта, его глубина заделки, полная длина, параметры котлована и грунты. В результате расчета получены значения внутренних усилий, перемещение и коэффициент запаса устойчивости (рис. 4).

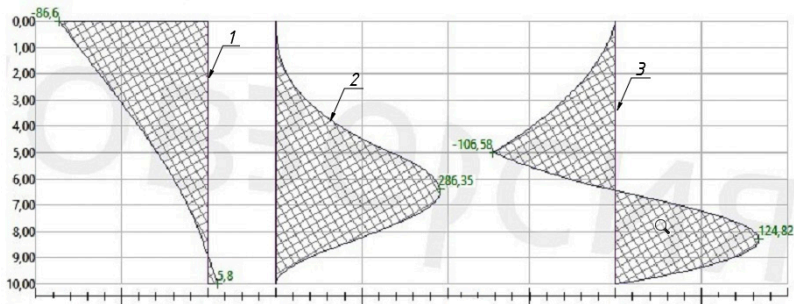


Рис. 4. Результаты расчета в ПК *GEO5*: 1 – горизонтальные перемещения; 2 – эпюра изгибающих моментов; 3 – эпюра поперечных сил

Более комплексный и точный расчет позволяет осуществить программный комплекс *Plaxis 2D*. Вычислив предварительно по упрощенным формулам параметры ограждающей конструкции, длину и глубины заделки, моделируется задача, в результате которой определяется устойчивость, прочность, деформативность ограждения путем численного моделирования (рис. 5).

Результаты расчетов, представленные в табл. 2, обладают достаточно хорошей сходимостью, несмотря на использование разных методик расчета.

В заключении стоит отметить, что каждый из рассмотренных методов имеет свои преимущества и недостатки. Графоаналитический метод упругой линии является самым сложным и трудоемким, но при этом классическим последовательным решением.

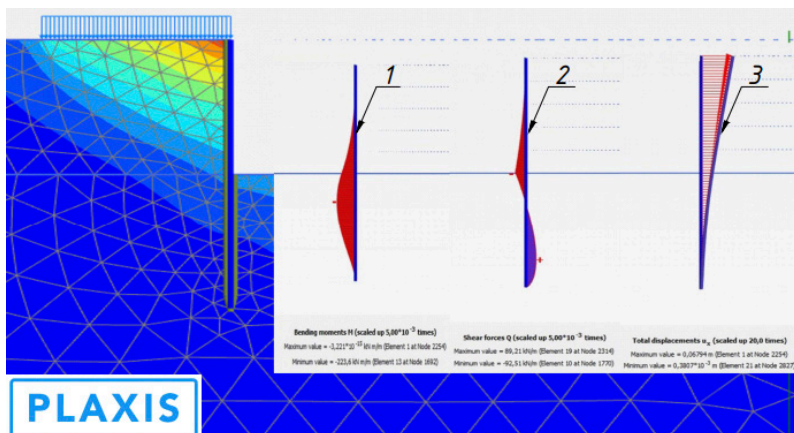


Рис. 5. Численный расчет в ПК *Plaxis 2D*: 1 – эпюра изгибающих моментов; 2 – эпюра поперечных сил; 3 – горизонтальные перемещения

Таблица 2

### Сравнительный анализ результатов расчетов

Параметр	Метод упругой линии	Полуаналитический расчет в <i>Scad</i>	Упрощенный аналитический расчет	Расчет в ПК <i>GEO5</i>	Расчет в <i>Plaxis 2D</i>
$K_{st}$	1,24	–	1,57	2,4	1,5
$M_{max}$ , кНм	304	243	222	286	224
$Q_{max}$ , кН	–	121	117	125	93
$f_{max}$ , м	–	0,05	0,08	0,09	0,07

Полуаналитический метод расчета в *Scad* является приближенным решением, основанным на законе Мора – Кулона и винклеровском основании. Также стоит отметить, что в настоящее время в технических регламентах нет конкретных указаний по проектированию ограждений котлованов и подбора их основных геометрических и механических параметров. Упрощенный метод позволяет оперативно назначить основные геометрические и механические

параметры ограждения для последующего численного моделирования. Численное моделирование ограждения в программе *Plaxis2D* является наглядным и наиболее достоверным, так как в нем учитывается влияние перемещений ограждения на активное, пассивное давления и внутренние усилия, то есть расчет производится по деформированной схеме.

#### Литература

1. Мангушев Р. А., Никифорова Н. С., Конюшков В. В., Осокин А. И., Сатин Д. А. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах: учеб. пособие. М.: АСВ, 2016. 256 с.
2. Верстов В. В., Гайдо А. Н., Иванов Я. В. Технологии устройства ограждений котлованов в условиях городской застройки и акваторий: учеб. пособие СПб.: Издательство «Лань», 2014. 368 с.
3. Мангушев Р. А., Карлов В. Д., Сахаров И. И. Механика грунтов. М.: АСВ, 2011. 264 с.
4. Мангушев Р. А., Карлов В. Д., Сахаров И. И., Осокин А. И. Основания и фундаменты: учебник. М.: АСВ; СПб: СПбГАСУ, 2011. 392 с.
5. Ильичев В. А., Мангушев Р. А. и др. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: АСВ, 2016. С. 665–674.

**УДК 624.131**

*Сабина Наилевна Сулейманова,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: sabina.syl@mail.ru*

*Sabina Nailevna Suleymanova,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: sabina.syl@mail.ru*

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА  
УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS  
FOR CALCULATING SLOPE STABILITY**

При возведении гражданских, промышленных и гидротехнических сооружений перед инженером-геотехником стоят важные и ответственные задачи: проектирование котлована и оценка устойчивости его откосов. Основная цель статьи – сравнительный анализ результатов расчета устойчивости аналитическими, полуаналитическими и численными методами. Рассмотрены следующие способы оценки устойчивости: аналитический расчет методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС), полуаналитический расчет с применением программных комплексов *Scad-Откос* и *GEO5*, расчет по упрощенному методу, численное моделирование в программе *Plaxis 2D*.

*Ключевые слова:* устойчивость откоса, аналитический метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС), численное моделирование, программный комплекс, различные сочетания нагрузок, коэффициент запаса устойчивости.

In the construction of civil, industrial and hydraulic structures, the important and responsible tasks facing the geotechnical engineer are the design of pits and the assessment of the stability of its slopes. The main goal was to perform a comparative analysis of the results of calculating the stability of various analytical and numerical methods of calculation to determine the simplest, correct and fastest solution to this problem. Within the framework of the study, the following methods of assessing stability were considered: analytical calculation by the method of circular-cylindrical sliding surfaces (CCS), semi-analytical calculation of slope stability using the Scad-Slope and GEO5 software systems, calculation of slope stability using a simplified method and numerical modeling in Plaxis 2D software.

*Keywords:* slope stability, analytical method of circular cylindrical sliding surfaces (CCS), numerical modeling, software package, various combinations of loads, safety factor.

## Введение

У современного инженера-геотехника большие возможности по аналитическим и численным методам расчета устойчивости. Однако применение каждого метода ограничено предпосылками, допущениями, а также возможными недостатками. В рамках настоящей статьи проведен сравнительный анализ существующих методов оценки устойчивости для характерного откоса с углом заложения  $\alpha = 30^\circ$ , состоящего из пылеватого песка со следующими прочностными характеристиками (рис. 1):

- удельный вес  $\gamma = 18 \text{ кН/м}^3$ ;
- угол внутреннего трения  $\varphi = 30^\circ$ ;
- удельное сцепление  $c = 4 \text{ кПа}$ .

Расчеты выполнялись при следующих сочетаниях нагрузок:

- от собственного веса грунтовой призмы скольжения;
- собственного веса призмы скольжения и гидродинамического давления воды;
- собственного веса призмы скольжения, гидродинамического давления воды и временной нагрузки;
- собственного веса призмы скольжения, гидродинамического давления воды, временной нагрузки и сеймики.

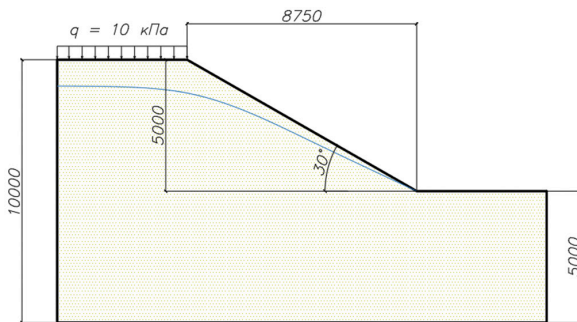


Рис. 1. Исходные данные для определения коэффициента запаса устойчивости

Аналитический метод расчета методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС) наиболее распространен. Однако



данный метод обладает существенным ограничением – длительностью по времени выполнения расчета. Учитывая множество сечений откосов или склонов на реальных объектах, это ограничение существенно затрудняет его применение на практике.

### Метод испытаний

Кратко опишем метод. Строится грунтовая призма обрушения и затем разбивается на отдельные отсеки, в каждом из которых прикладываются действующие силы:

$$G_i = (h_i + h_s) \cdot b_i \cdot \gamma; \quad (1)$$

$$N_i = G_i \cdot \cos \alpha_i; \quad (2)$$

$$Q_i = G_i \cdot \sin \alpha_i; \quad (3)$$

$$T_i = N \cdot \operatorname{tg} \alpha_i = G_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (4)$$

$$S_i = c \cdot l_i = c \cdot l_i / \cos \alpha_i, \quad (5)$$

где  $G_i$  – собственный вес отсека и эквивалентного слоя грунта;  $N_i$  и  $Q_i$  – составляющие силы  $G_i$ , действующие соответственно по нормали и касательной к поверхности скольжения;  $T_i$  и  $S_i$  – соответственно силы трения и сцепления по поверхности скольжения.

Если на бровке котлована приложена нагрузка, её заменяют эквивалентным слоем грунта, толщину которого определяют по следующей формуле:

$$h_s = \frac{q}{\gamma}. \quad (6)$$

Фильтрационную силу подземной воды определяют по следующей формуле:

$$D_i = l_i \cdot S_i \cdot \gamma_w, \quad (7)$$

где  $S_i$  – площадь поперечного сечения в  $i$ -м отсеке, ограниченная кривой депрессии, имеющей в этом отсеке средний уклон  $I_p$ , и основанием отсека.

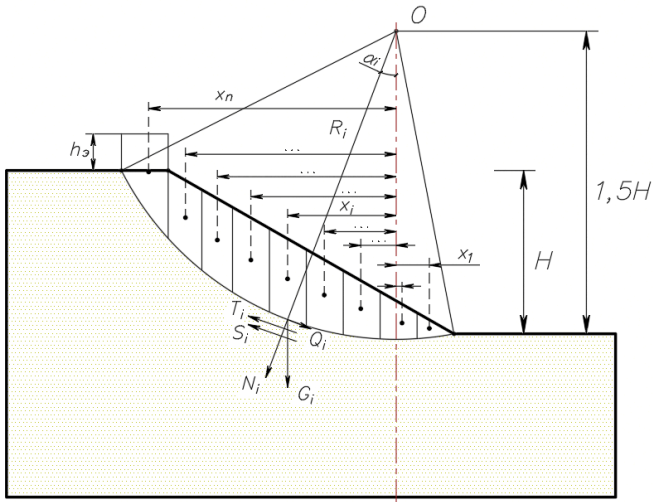


Рис. 2. Расчетная схема откоса для аналитического метода КЦПС

Учет сейсмического воздействия землетрясения производится путем введения коэффициента  $\mu$ , который зависит от сейсмической балльности района и находится в долях от ускорения свободного падения  $g$ . Зная собственный вес каждого отсека и используя формулу (10), определяем сейсмическую силу:

$$Q_{c,i} = \mu \cdot G_i. \quad (8)$$

В общем случае коэффициент запаса устойчивости равен отношению суммы моментов сил, удерживающих откос в равновесии, к сумме моментов, стремящихся вывести его из равновесия (10):

$$K_{st} = \frac{M_{уд}}{M_{сл}} = \frac{\sum_{i=1}^m Q_i R + \sum_{i=1}^n (T_i + S_i) R}{\sum_{i=m+1}^n (Q_i R + D_i + Q_{c,i})}, \quad (9)$$

где  $m$  – число отсеков, расположенных слева от центра вращения (где сила  $Q_i$  является удерживающей);  $n$  – общее число отсеков.

Метод КЦПС является классическим последовательным решением, позволяет самостоятельно строить призмы скольжения и определять наименьшее значение коэффициента запаса устойчивости, но при этом является весьма трудоемким.

Для альтернативной оценки устойчивости вышеописанного откоса были выполнены полуаналитические расчеты в программных комплексах *Scad-Откос* и *GEO5*. На рис. 3, 4 приведены результаты расчетов.



Рис. 3. Призма скольжения в откосе, построенная в ПК *Scad-Откос*, от собственного веса грунтовой призмы, гидродинамического давления воды, временной нагрузки на бровке котлована и сеймики ( $K_{st} = 0,972$ )

Так как в рамках статьи привести все результаты, полученные в программных комплексах, не представляется возможным, далее будут приведены только те значения коэффициентов, которые были вычислены с учетом совместного действия всех нагрузок. Так, на рис. 3 приведена призма скольжения при расчете характерного откоса от собственного веса с учетом гидродинамического давления воды, временной нагрузки на бровке котлована ( $q = 10$  кПа) и сейсмического воздействия (7 баллов по шкале *MSK-64*).

На рис. 4 приведена призма обрушения, полученная в программном комплексе *GEO5* с учетом нагрузок и воздействий, указанных в граничных условиях решаемой задачи.

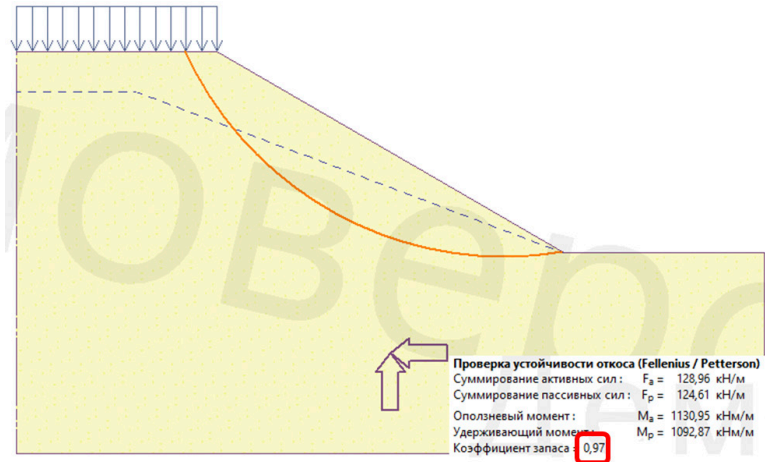


Рис. 4. Призма обрушения, полученная в ПК *GEO5*

Полуаналитические расчеты в программных комплексах *Scad-Откос* и *GEO5* являются простыми и быстрыми, но данные способы расчета не дают возможности самостоятельно строить призму скольжения и оценивать ее влияние на устойчивость. Применение данных программ больше напоминает пользование калькулятором без детальной аналитической оценки напряженно-деформированного состояния откоса.

Наиболее простым и достаточно достоверным методом расчета является упрощенный метод, который позволяет при наличии листка, ручки и калькулятора быстро вычислить коэффициент запаса устойчивости при различных сочетаниях нагрузок и сделать вывод о состоянии равновесия откоса.

На рис. 5 приведена методика Н. Н. Маслова по определению центра вращения, относительно которого происходит обрушение откоса. Стоит отметить, что графические построения в этом случае ограничиваются нахождением всего трех точек.

Как и в предыдущих методах расчета, коэффициент запаса устойчивости определяется отношением удерживающих сил к сдвигающим, только в этом случае все действующие на откос нагрузки заменяются эквивалентными углами. Тогда формула коэффициента устойчивости принимает следующий вид:

$$K_{st} = \frac{\left[ \operatorname{tg} \varphi + \left( \frac{L \cdot c}{G \cdot \cos \theta} \right) \right]}{\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \omega + \operatorname{tg} \eta + \operatorname{tg} \delta}, \quad (10)$$

где  $\theta$  – равнодействующий угол, относительно которого происходит обрушение откоса под действием собственного веса;  $\omega$  – угол, эквивалентный гидродинамическому давлению воды при ее фильтрации через тело откоса;  $\eta$  – угол, эквивалентный воздействию внешней нагрузки на бровке котлована;  $\delta$  – угол, учитывающий сейсмическое воздействие;  $G = A\gamma$  – собственный вес призмы скольжения на 1 пог. м в поперечном направлении, кН/м;  $A$  – площадь призмы скольжения, м<sup>2</sup>;  $\gamma$  – удельный вес грунта призмы скольжения, кН/м<sup>3</sup>.

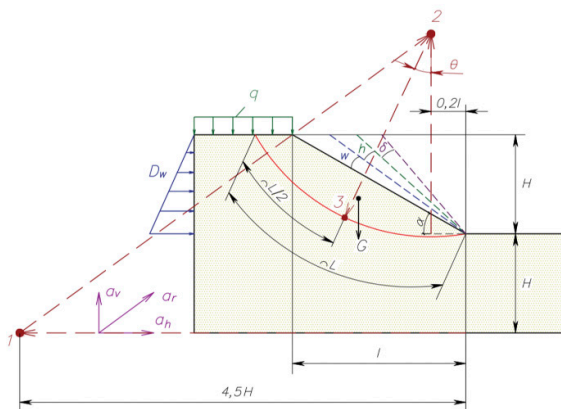


Рис. 5. Расчетная схема откоса с эквивалентными углами, учитывающими последовательно в сумме: собственный вес грунтовой призмы, гидродинамическое давление воды, временную нагрузку на бровку и сейсмическое воздействие при землетрясении ( $K_{st} = 1,56$ ;  $K_{st} = 1,18$ ;  $K_{st} = 1,07$ ;  $K_{st} = 1,01$ )

В рамках исследования также было выполнено численное моделирование в программном комплексе *Plaxis 2D*. Данная программа позволяет наиболее достоверно оценить напряженно-деформированное состояние откоса, так как расчет производится поэтапно с учетом исходных природных напряжений и деформаций. Также программа дает возможность последовательно учитывать степень влияния таких факторов, как фильтрация подземных вод, временные нагрузки, сейсмические колебания и т. д. И это несомненно является главным преимуществом данного способа оценки устойчивости откоса. На рис. 6 представлена призма обрушения, полученная в программном комплексе *Plaxis 2D*, при расчете характерного откоса от собственного веса с учетом гидродинамического давления воды, временной нагрузки на бровке котлована и сейсмического воздействия.

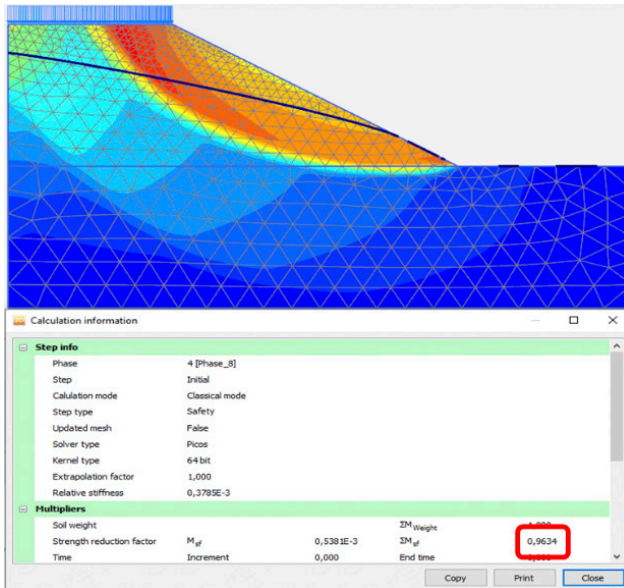


Рис. 6. Призма скольжения в откосе, построенная в ПК *Scad-Откос*, от собственного веса грунтовой призмы, гидродинамического давления воды, временной нагрузки на бровке котлована и сеймики ( $K_{st} = 0,963$ )

## Результаты

В табл. 1 приведены значения коэффициентов запаса устойчивости при соответствующих сочетаниях нагрузок, полученные различными аналитическими и численными методами расчета. Несмотря на то, что каждый метод имеет свои достоинства и недостатки, а главное – ограничения и допущения, получена хорошая сходимость результатов расчета.

Таблица 1

### Сравнение результатов расчета коэффициента запаса устойчивости различными аналитическими и численными методами

Этапы расчета	Аналитический метод КЦПС	Полу-аналитический метод <i>Scad-Откос</i>	Полу-аналитический метод <i>GEO5</i>	Упрощенный метод УМ	Численный метод <i>Plaxis</i>
Устойчивость от собственного веса призмы скольжения	1,61	1,57	1,57	1,56	1,67
Устойчивость от собственного веса призмы скольжения и гидродинамического давления воды	1,26	1,33	1,27	1,18	1,17
Устойчивость от собственного веса призмы скольжения, гидродинамического давления воды и временной нагрузки	1,17	1,24	1,20	1,07	1,13
Устойчивость от собственного веса призмы скольжения, гидродинамического давления воды, временной нагрузки и сеймики	1,01	0,97	0,97	1,01	0,96

В результате проделанного анализа можно сделать вывод, что у каждого метода расчета есть свои достоинства и недостатки. Например, метод КЦПС является самым сложным и длительным по трудозатратам расчетчика, но благодаря этим особенностям специалист может детально разобраться с основными принципами механики грунтов. Полуаналитические методы в программах *Scad-Откос* и *GEO5* достаточно простые и быстрые, но в этом кроется их недостаток: не вникая в суть расчетов, заложенных в этих программах, специалист мгновенно получает результат, но при этом зачастую до конца не понимает, на чем основаны алгоритмы этих методов. Упрощенный метод расчета устойчивости позволяет учитывать все нагрузки и воздействия, является простым и достаточно достоверным и может служить в качестве предварительного поверочного расчета устойчивости откосов с назначением основных геометрических параметров и вычисления коэффициентов устойчивости при различных сочетаниях нагрузок и воздействий. Численное моделирование откосов в программе *Plaxis* позволяет наиболее достоверно оценить напряженно-деформированное состояние откоса, так как расчет производится поэтапно с учетом исходных природных напряжений, осадок в упругопластической стадии расчета и последующим расчетом коэффициента устойчивости.

#### Литература

1. Заручевных И. Ю., Невзоров А. Л. Механика грунтов в схемах и таблицах: учебное пособие. СПб.: Недра, 2006. 112 с.
2. Конюшков В. В. Инженерная защита территорий от склоновых процессов с учётом природных условий и техногенных воздействий // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 2. С. 137–142.
3. Конюшков В. В., Владимирова Е. И. Анализ и прогноз устойчивости склона в природном состоянии, на строительный и эксплуатационный периоды // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 6. С. 107–113.
4. Шахуняц Г. Н. Железнодорожный путь. М.: Транспорт, 1987. 479 с.
5. Мангушев Р. А., Карлов В. Д., Сахаров И. И., Осокин А. И. Основания и фундаменты: учебник. М.: Изд-во АСВ, 2011. 392 с.
6. Яковлева Т. Г., Карпущенко Н. И., Клинов С. И., Путря Н. Н., Смирнов М. П. Железнодорожный путь / под ред. Т. Г. Яковлевой. М.: Транспорт, 1999. 405 с.



**УДК 624.05**

*Тимур Маратович Сухов,*  
студент  
*Елизавета Эдуардовна Тумашевская,*  
студент  
*Андрей Владимирович Бояринцев,*  
аспирант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: sutima031199@yandex.ru,*  
*etumashevskaja@gmail.com,*  
*Andrey\_Boyarintsev@mail.ru*

*Timur Maratovich Sukhov,*  
student  
*Elizaveta Eduardovna Tumashevskaja,*  
student  
*Andrey Vladimirovich Boyarintsev,*  
postgraduate student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: sutima031199@yandex.ru,*  
*etumashevskaja@gmail.com,*  
*Andrey\_Boyarintsev@mail.ru*

**ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ШЕРОХОВАТОСТИ  
ПОВЕРХНОСТИ МАТЕРИАЛА КОМПОЗИТНОЙ  
СВАИ ПРИ ЕЕ ВДАВЛИВАНИИ В ГРУНТ**

**THE CHANGE IN THE SURFACE PROPERTIES  
OF THE COMPOSITE PILES DURING  
ITS PRESSING INTO THE GROUND**

Несущая способность сваи по грунту – одна из основных характеристик свайного фундамента, отвечающая за его взаимодействие с грунтом. Она зависит от многих факторов: гранулометрического состава грунта, его влажности, консистенции, текстуры, а также от вида и свойств материала сваи. К важнейшим параметрам материала сваи относится шероховатость её поверхности. Во многих исследованиях отмечалась зависимость угла трения грунта по материалу сваи от величины шероховатости, однако при этом не учитывалась возможность её изменчивости в процессе погружения сваи в грунт. Эта цель и поставлена в рамках настоящего исследования.

При помощи стандартного прибора одноплоскостного среза моделировалось прохождение композитной сваей расстояния 0,5 м вдоль слоя грунта, расположенного на глубине 10 м. Перед испытанием и после него измерялись параметры шероховатости поверхности при помощи прибора «Сейтроник ПШ8-1(С.С.)». Результаты показали, что после испытания шероховатость стеклопластиковой пластины, выполненной на основе полиэфирной смолы методом пуллузии, уменьшилась на 44,4 %.

*Ключевые слова:* геотехника, сваи, шероховатость, несущая способность, боковое давление.

The bearing capacity of piles on the ground is one of the main characteristics of pile foundations, it is responsible for its interaction with the soil. This characteristic depends on many factors: the granulometric composition of the soil, moisture, consistency, texture, as well as the type and properties of the pile material.

One of the main characteristics of the pile material is roughness of its surface. Many studies have observed dependence of the angle of friction of soil against material on the pile surface roughness. At the same time, no attention was paid to the possibility of its variability in the process of driving the pile into the ground. This purpose was set as the part of this study.

Using a standard direct shear box, the passage of a composite pile at a distance of 0.5 m at depth of 10 m was simulated. Before and after the test, the surface roughness parameters were measured using the irregularity measuring device. The result showed that after the test, the roughness of the fiberglass plate made on the basis of polyester resin by the pultrusion method decreased by 44,4 %.

*Keywords:* geotechnics, piles, roughness, load-bearing capacity, lateral pressure.

## 1. Введение

Основные виды свай, которые используются в России – железобетонные и стальные [1, 2]. В прошлом, примерно до XX в., также активно использовались деревянные, но со временем они были вытеснены железобетонными сваями сплошного сечения. Однако железобетонные сваи обладают рядом серьезных недостатков: они очень тяжелые, что увеличивает трудоемкость установки, а также очень слабы к коррозионным процессам.

В настоящее время разрабатывается новый тип свай – сваи на основе композитных материалов, которые лишены недостатков обычных свай. Они гораздо легче при той же прочности, обладают высокой коррозионной прочностью, низкой теплопроводностью. В данное время используются шпунтовые композитные сваи для укрепления береговой линии, искусственных каналов и водоемов, строительства причалов и пирсов.

Основное свойство свай – несущая способность [3]. Композитные сваи появились относительно недавно, поэтому их несущая способность изучена недостаточно, чтобы активно применять данные сваи на практике [4, 5]. Существует ряд исследований на тему факторов, влияющих на несущую способность свай, в которых говорится о такой характеристике, как шероховатость. В исследованиях также

говорится о том, что с точки зрения шероховатости композитные сваи превосходят стальные и сравнимы с бетонными [6–9]. Однако так как композит – новый материал, мы не можем говорить о том, что его свойства постоянны, и не изменяются при технологическом воздействии, в частности при погружении сваи в грунт. При погружении возникает поверхностное трение. Поверхностное, или как его еще называют контактное, трение (трение 1-го рода) – это сопротивление относительно перемещению соприкасающихся тел, возникающее в месте их соприкосновения. Оно зависит в основном от свойств свай, а также от вида и влажности грунта.

Основываясь на указанных работах, можно сделать вывод, что силы сцепления свай зависят от множества факторов, в том числе и от шероховатости. Чем выше шероховатость поверхности сваи, тем больше частичек грунта как бы «застревает» в неровностях материала, что приводит к увеличению сил сцепления боковой поверхности.

Проведенный анализ литературы позволяет говорить об отсутствии исследований, связанных с взаимодействием композита с грунтом. Существует ряд работ, лишь косвенно касающихся рассматриваемой темы. Чаще всего вопрос поверхностного трения затрагивается в проблемах машиностроения, а именно в качестве трения между шинами и грунтом. В статьях [10, 11] рассматривается зависимость шероховатости поверхности от состава композита, а в работе [12] – трибологическое исследование о проверке композита на трение.

Таким образом, научная новизна исследования заключается в отсутствии каких-либо масштабных исследований на тему конкретных свойств композитных свай, в частности их шероховатости.

Целью исследования является изучение изменения шероховатости поверхности композитных свай, а также установление зависимости изменения шероховатости сваи при моделировании процесса вдавливания сваи в грунт. В рамках работы была поставлена задача определить изменяется ли шероховатость поверхности композитной сваи при ее вдавливании в грунт, что в свою очередь может повлиять на снижение ее несущей способности боковой поверхности.

## 2. Метод испытаний

### 2.1. Грунт

Для испытаний была выбрана супесь пластичная слоистая. Характеристики грунта приведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Характеристики грунта

Наименование грунта	$W$	$W_L$	$W_p$	$I_L$	$I_p$ , д. е.	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	$e$	$v$
Супесь слоистая пластичная	0,28	0,317	0,234	0,54	0,083	1,89	2,63	0,78	0,35

### 2.2. Материалы образцов

В качестве модели сваи для исследования использовались композитные плашки из стеклопластика. Для сравнительных характеристик и увеличения чистоты эксперимента также использовались плашки из стали, бетона и стеклопластика с повышенной шероховатостью поверхности, созданной посредством нанесения песчаного покрытия (рис. 1).

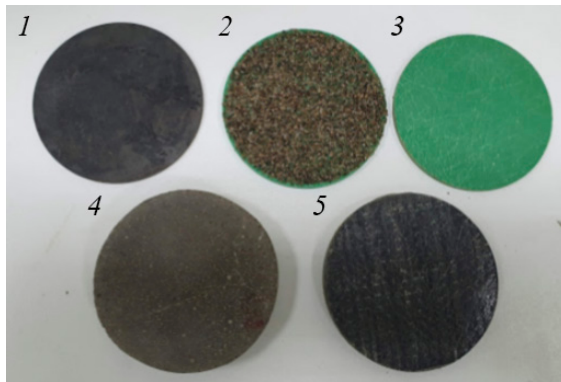


Рис. 1. Опытные образцы: 1 – сталь; 2 – стеклопластик с песчаным покрытием; 3 – зеленый стеклопластик; 4 – бетон; 5 – черный стеклопластик

### 2.3. Метод испытания

Методика опытов основана на знаниях о напряжениях в грунтах. Как видно на эпюре напряжений от собственного веса (рис. 2), напряжения в грунте увеличивается с глубиной. Следовательно, чем глубже вдавливается свая, тем большее давление на нее оказывает грунт.

В рамках опыта длина сваи принята равной 10 м. Толща грунта разбивается на элементарные слои по 1 м (рис. 2). Значения эпюры напряжения на 1 м были заменены средним значением, с трапеции на прямоугольник, что позволило рассматривать нагрузку грунта как постоянную характеристику с сохранением значения общей нагрузки.

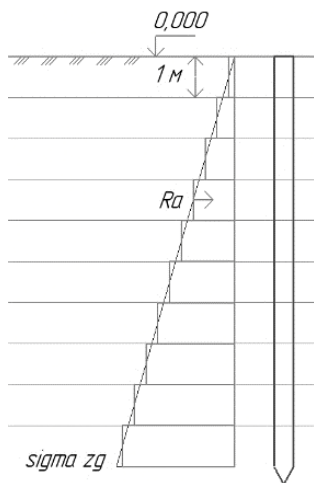


Рис. 2. Эпюра напряжений собственного веса грунта

Для моделирования процесса погружения сваи в грунт был использован прибор одноплоскостного среза (сдвиговой прибор, Россия, «Геотек», 2017) по [13].

### 2.4. Измерение шероховатости

Перед началом испытания определялась шероховатость материалов. Для этого использовался профилометр «Сейтроник ПШ8-1 С.С.».

Результатом опыта является усредненный параметр, характеризующий не только количественные, но и качественные показатели неровности и шероховатости поверхности.

Так как плашка из стеклопластика с песчаным покрытием обладает слишком большими перепадами, прибор оказался неприменим в данном случае, материал пришлось исключить из опыта. Для остальных образцов были определены исходные показатели и графики  $R_a/R_z$ .

### 3. Результаты

В рамках исследования около 70 сдвигов по плашке из стеклопластика (1 сдвиг = 7,15 мм) при нагрузке от 100 кПа. Общий сдвиг составил около 500 мм. На рис. 3 и 4 представлены профилограммы шероховатости материала до и после испытания. При сравнении показателей можно сделать вывод, что шероховатость после сдвигов уменьшилась на 44,4 %.

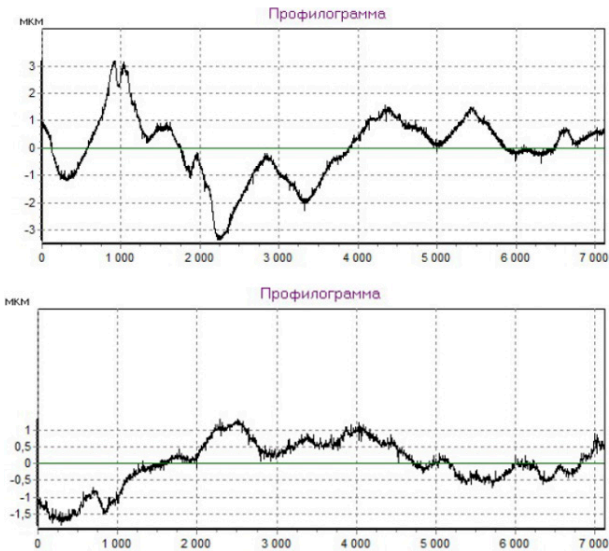


Рис. 3. Профилограмма шероховатости стеклопластика:  
1 – до испытания; 2 – после

Боковое давление было вычислено по формулам:

$$\sigma_3 = \xi \sigma_{zg} = 0,538 \cdot 18,54 \cdot 10 \approx 100 \text{ кН}; \quad (1)$$

$$\xi = \frac{\nu}{1 - \nu} = \frac{0,35}{1 - 0,35} = 0,538. \quad (2)$$

За один раз прибор сдвигает плашку относительно образца грунта максимум на 10 мм, следовательно, чтобы сдвинуть плашку на 1 м, необходимо повторять один и тот же опыт 100 раз. Сдвиг на 1 м требует 9 ч. Таким образом, полное завершение эксперимента займет более 90 ч непрерывной работы приборов, что является нерациональным.

Для оптимизации и дальнейшего проведения опыта разработана схема установки (рис. 4). Данная установка позволяет вращать опытный образец относительно грунта под необходимой нагрузкой. Неподвижное кольцо оснащено вертикальными пластинами по внутренней поверхности для препятствия проворачивания грунта. 1 полный поворот плашки соответствует 20 см сдвига. Таким образом, 1 поворот позволяет сократить около 4 ч работы.

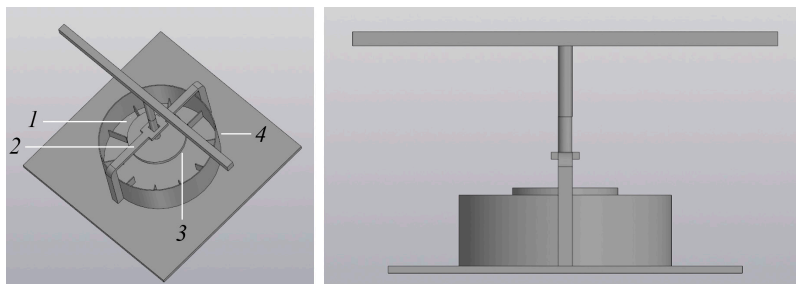


Рис. 4. Схема установки (3D-вид): 1 – неподвижное кольцо; 2 – вертикальные пластины; 3 – плашка; 4 – поворотная рукоять

### Литература

1. Мангушев Р. А., Ершов А. В., Осокин А. И. Современные свайные технологии. М.: АСВ, 2010. 240 с.

2. *Бояринцев А. В.* Репрезентативный анализ опыта строительства фундаментов на многолетнемерзлых грунтах // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2019. Т. 10. № 1. С. 57–68. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.1.06.
3. СП 24.13330.2012. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. М.: Стройиздат, 2011. 90 с.
4. *Boyarintsev A. V.* Polymer and composite piles. International and Russian experience // Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 57. No. 5. 2020. P. 415–421. DOI 10.1007/s11204-020-09686-9.
5. *Zyka K., Mohajerani A.* Composite piles: A review // Construction and building materials. 107. 2016. P. 394–410. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.01.013.
6. *Aksoy H. S., Gör M., İnal E.* A new design chart for estimating friction angle between soil and pile materials // Geomechanics and Engineering. 2016. Vol. 10. No. 3. P. 315–324.
7. *Almallah A., Sadeghian P., El Naggar H.* Enhancing the Interface Friction between Glass Fiber-Reinforced Polymer Sheets and Sandy Soils through Sand Coating // Geomechanics and Geoengineering. 2020. Vol. 15. P.186–202.
8. *Shaia H. Al-Asadi A., Ramadan S.* Evaluation of the interface friction between fiber-reinforced polymers and granular materials using modified shear apparatus // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). 2018. Volume 9. Issue 13. P. 1017–1026.
9. *Giraldo J., Rayhani M. T.* Load transfer of hollow fiber-reinforced polymer (FRP) piles in soft clay // Transportation Geotechnics. 2014. Vol. 1. Issue 2. P. 63–73. Doi.org/10.1016/j.trgeo.2014.03.002.
10. *Сюсюкина В. А., Шаповалова Е., Коротченко Н. М., Курзина И. А.* Особенности структурно-фазового состояния и поверхностных свойств композиционных материалов на основе полилактида и гидроксипапатита // Журнал прикладной химии. 2017. № 1. С. 114–120.
11. *Дьяченко А. Г., Савостина Т. П., Саед Б. И.* Влияние объема древесных опилок на механические свойства композитного материала // Вестник Донского государственного технического университета. 2018. № 3. С. 300–305.
12. *Аникина М. Д., Азоян А. И.* Сравнительная оценка износостойкости композитов с наполнителями по результатам ресурсных испытаний // Транспорт: наука, образование, производство: сб. научных трудов. Ростов н/Д., 2019. С. 256–259.
13. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: Стандартинформ. 2012. 82 с.



УДК 624.07

*Ксения Андреевна Назарова,*  
аспирант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: nazarovaks@bk.ru*

*Kseniya Andreevna Nazarova,*  
postgraduate student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: nazarovaks@bk.ru*

## **НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО ПЕРЕКРЫТИЯ**

### **NATURAL EXPERIMENTAL STUDIES OF STEEL-REINFORCED CONCRETE SLAB**

При замене перекрытий во время реконструкции зданий в последнее время все большую популярность приобретают сталежелезобетонные перекрытия, представляющие собой железобетонные плиты небольшой толщины, которые опираются на металлические балки. Одной из главных задач при возведении таких перекрытий является обеспечение совместной работы плиты и балки. При проектировании она уже учитывается в расчетах, однако при расчете прочности и деформативности уже существующего перекрытия возникает задача проверки ее обеспечения. В статье рассмотрены испытания балок и проведено сравнение опытных прогибов и прогибов, полученных по результатам расчета с учетом совместной работы железобетонной плиты и металлической балки. Предложены два критерия, позволяющие спрогнозировать поведение балок под действием проектных нагрузок.

*Ключевые слова:* сталежелезобетонное перекрытие, прогиб балки, металлическая балка, совместная работа плиты и балки, экспериментальные исследования перекрытия.

With the replacement of slab during the reconstruction of a building, steel reinforced concrete slabs have recently become increasingly popular. They are reinforced concrete slabs of small thickness, which rest on metal beams. One of the main tasks in the construction of such floors is to ensure that the slab and the beam work together. When designing, joint work is already taken into account in the calculation. However, when calculating the strength and deformability of an existing overlap, the task of checking the provision of joint work arises. For this, tests of beams were considered and a comparison was made of the experimental deflections and deflections obtained from the results of the calculation, taking into account the joint

work of a reinforced concrete slab and a metal beam. Also, two criteria were proposed that allow predicting the behavior of beams under the action of design loads.

*Keywords:* steel reinforced concrete slab, deflection of a beam, steel beam, joint work of a slab and a beam, experimental studies of slab.

В последнее время широкое распространение получают стале-железобетонные перекрытия. Их популярность обусловлена тем, что при обследовании и реконструкции зачастую существующее перекрытие демонтируется из-за непригодности к дальнейшей эксплуатации, а по металлическим балкам устлавается железобетонная плита. В этом случае одной из главных задач становится обеспечение совместной работы стальной балки и плиты перекрытия.

На стадии проектирования совместная работа уже учитывается при расчете. Однако при расчете прочности и деформативности уже существующего такого перекрытия возникает задача проверки обеспечения совместной работы.

Рассмотрим на примере испытаний балок перекрытия пятого этажа здания по адресу г. Санкт-Петербург, ул. Коли Томчака, д. 10. Схема расположения балок представлена на рис. 1. Существующее перекрытие было демонтировано, и по металлическим балкам была заново устроена железобетонная плита толщиной 10 см.

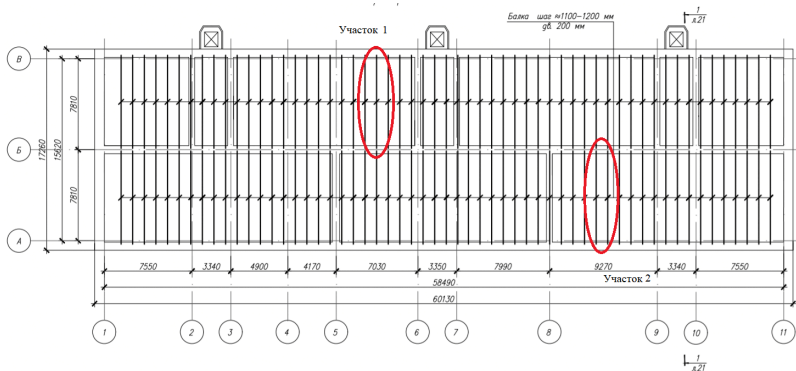


Рис. 1. Схема расположения балок перекрытия

Целью наших испытаний была оценка несущей способности перекрытия при действии проектных нагрузок. Для этого были отобраны балки на двух участках со средним шагом 1,21 м на участке 1 и 1,57 м на участке 2 (рис. 2).



Рис. 2. Расположение приборов и вид балки снизу

Прогиб фиксировался с помощью нивелира в трех точках: опорных и в середине пролета. На участке 1 нагружение проводилось в два этапа с 20-минутной выдержкой. Схема нагружения представлена на рис. 3. На первом этапе нагружались поддоны с нагрузкой, соответствующие половине эквивалентной (217 кг/м), на втором этапе – полной нагрузкой (435 кг/м). Затем нагрузка оставалась на перекрытии в течении суток; после замера прогибов выполнялась разгрузка с 20-минутной выдержкой и вновь замерялись прогибы.

На участке 2 при определении начального прогиба балки установлено отсутствие совместной работы плиты с балкой. Значение опытного прогиба балки соответствует расчетному, что свидетельствует о том, что прочность балки при полном загрузении будет обеспечена. Поэтому дальнейшее испытание было признано нецелесообразным.

Расчетная схема балки приведена на рис. 4. Сбор нагрузок сведен в табл. 1.

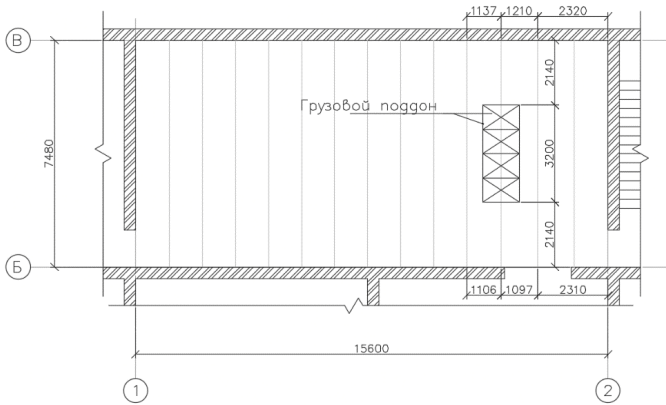


Рис. 3. Схема нагружения балки на участке 1

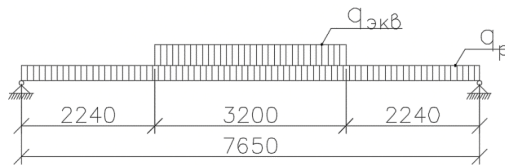


Рис. 4. Расчетная схема балки

Определение эквивалентной нагрузки:

$$M^n = \frac{q l_0^2}{8}; \quad (1)$$

$$M_{\text{экр}} = \frac{q_{\text{экр}}}{8} (l^2 - 4a^2); \quad (2)$$

$$\frac{q l_0^2}{8} = \frac{q_{\text{экр}}}{8} (l^2 - 4a^2); \quad (3)$$

$$q_{\text{экр}} = \frac{q^n l_0^2}{l_0^2 - 4a^2}. \quad (4)$$

С учетом принятой схемы (рис. 4):

$$q_{\text{экр}} = \frac{(q^n - q_{pl}^n) b l_0^2}{l_0^2 - 4a^2} = \frac{(502 - 250) 1,14 \cdot 7,65^2}{7,65^2 - 4 \cdot 2,24^2} = 435,2 \text{ кг/м}, \quad (5)$$

где  $q^n = 502 \text{ кг/м}^2$ ;  $q_{pl} = 250 \text{ кг/м}^2$ ;  $b = 1,14 \text{ м}$ .

Таблица 1

**Сбор нагрузок на балку**

№ П/П	Вид нагрузок	Нормативная, кг/м <sup>2</sup>	$\gamma_f$	Расчетная, кг/м <sup>2</sup>
I	Постоянная			
1	Ж/б плита ( $t = 10 \text{ см}$ )	250	1,1	275
2	ЦП стяжка ( $t = 1,5 \text{ см}$ )	30	1,3	39
3	Паркет	10	1,1	11
4	Подвесной потолок	12	1,1	13,2
		$g^n = 302$		$g = 338,2$
II	Временная			
5	Перегородки	50	1,3	65
6	Полезная	150	1,3	195
		$v^n = 200$		$v = 260$
	ВСЕГО	$q^n = 502$		$q = 598,2$

**Расчет металлической балки без учета совместной работы с плитой перекрытия**

**Участок 1.** Характеристики балки I20 Германского нормального сортамента:  $A = 33,5 \text{ см}^2$ ;  $I_x = 2140 \text{ см}^4$ ;  $W_x = 214 \text{ см}^3$ ;  $q_b = 26,3 \text{ кг/м}$ ;  $R_y = 2350 \text{ кг/см}^2$ ;  $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ .

Расчетный пролет балки:

$$l_0 = l + \frac{2}{3} a = 748 + \frac{2}{3} 25 = 765 \text{ см}. \quad (6)$$

Изгибающий момент в балке:

- нормативный:

$$M^n = \frac{(q^n b + g_b^n) l_0^2}{8} = \frac{(502 \cdot 1,14 + 26,3) 7,65^2}{8} = 4,379 \cdot 10^3 \text{ кгм} = 4,379 \cdot 10^5 \text{ кгсм}; \quad (7)$$

- расчетный:

$$M = \frac{(qb + g_b \gamma_f) l_0^2}{8} = \frac{(598,2 \cdot 1,14 + 26,3 \cdot 1,05) \cdot 7,65^2}{8} = 5,18 \cdot 10^3 \text{ кгм} = 5,18 \cdot 10^5 \text{ кгс} \cdot \text{м}, \quad (8)$$

где  $b = [(1,31 + 1,137)0,5 + (1,097 + 1,106)0,5]0,5 = 1,14 \text{ м}$ .

Проверка несущей способности [1]:

$$\frac{M}{W_x R_y \gamma_c} = \frac{5,18 \cdot 10^5}{214 \cdot 2350 \cdot 0,9} = 1,14 > 1. \quad (9)$$

Прочность балки не обеспечена.

Проверка прогиба балки:

$$f = \frac{5M^n l_0^2}{48 \cdot E \cdot I_x} = \frac{5 \cdot 4,375 \cdot 10^5 \cdot 7,65^2}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 1240} = 5,1 \text{ см}; \quad (10)$$

$$\frac{f}{l_0} = \frac{5,1}{748} = \frac{1}{147} > \left[ \frac{f}{l} \right] = \frac{1}{213}. \quad (11)$$

Прогиб балки превышает нормативный в 1,4 раза.

**Участок 2.** Характеристики балки I20 Германского нормального сортамента:

$A = 33,5 \text{ см}^2$ ;  $I_x = 2140 \text{ см}^4$ ;  $W_x = 214 \text{ см}^3$ ;  $q_b = 26,3 \text{ кг/м}$ ;  $R_y = 2350 \text{ кг/см}^2$ ;  $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ .

Изгибающий момент в балке:

- нормативный:

$$M^n = \frac{(q^n b + g_b^n) l_0^2}{8} = \frac{(502 \cdot 1,38 + 26,3) 7,65^2}{8} =$$

$$= 5,28 \cdot 10^3 \text{ кгм} = 5,28 \cdot 10^5 \text{ кгсм};$$
(12)

- расчетный:

$$M = \frac{(qb + g_b \gamma_f) l_0^2}{8} = \frac{(598 \cdot 1,38 + 26,3 \cdot 1,05) \cdot 7,65^2}{8} =$$

$$= 6,27 \cdot 10^3 \text{ кгм} = 6,27 \cdot 10^5 \text{ кгс} \cdot \text{м},$$
(13)

где  $b = [(1,572 + 1,157)0,5 + (1,589 + 1,208)0,5]0,5 = 1,38 \text{ м}$ .

Проверка несущей способности [1]:

$$\frac{M}{W_x R_y \gamma_c} = \frac{6,27 \cdot 10^5}{214 \cdot 2350 \cdot 0,9} = 1,39 > 1.$$
(14)

Прочность балки *не обеспечена*.

Проверка прогиба балки:

$$f = \frac{5M^n l_0^2}{48EI_x} = \frac{5 \cdot 5,28 \cdot 10^5 \cdot 7,65^2}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 2140} = 7,2 \text{ см};$$
(15)

$$\frac{f}{l_0} = \frac{7,2}{748} = \frac{1}{96} > \left[ \frac{f}{l} \right] = \frac{1}{213}.$$
(16)

Прогиб балки *превышает нормативный более чем в 2 раза*.

### Расчет металлической балки с учетом совместной работы с плитой перекрытия

**Участок 1.** Расчетное сечение балки представлено на рис. 5.

Определяем геометрические характеристики приведенного сечения [2].

Приведенная к металлу площадь плиты:

$$A_{pl} = b_{pl} \cdot h_{pl} \cdot \frac{E'_b}{E_s} = 114 \cdot 10 \cdot \frac{1}{24} = 47,5 \text{ см}^2,$$
(17)

где  $E'_b = \frac{E_b}{1 + \varphi_{cr}} = \frac{306\,000}{1 + 2,5} = 87\,430 \text{ кг/см}^2 [3]; \alpha = \frac{E_s}{E'_b} = \frac{2,1 \cdot 10^6}{87\,430} = 24;$

$\varphi_{cr}$  – коэффициент ползучести [4].

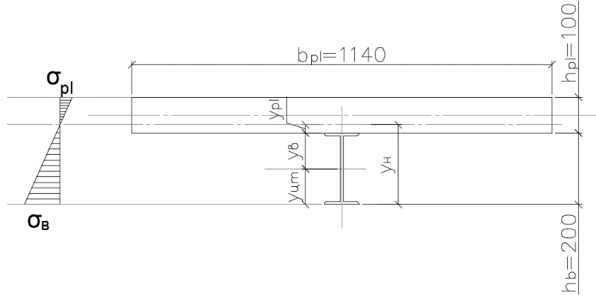


Рис. 5. Расчетное сечение балки на участке 1

Приведенная площадь сечения Б-1:

$$A_{red} = A_b + A_{pl} = 33,5 + 47,5 = 81 \text{ см}^2. \quad (18)$$

Определяем положение центра тяжести приведенного сечения:

$$y_{ит} = \frac{S_{red}}{A_{red}} = \frac{1523}{81} = 18,8 \text{ см}, \quad (19)$$

где  $S_{red} = S_b + S_{pl} = 335 + 1188 = 1523 \text{ см}^3; S_b = A_b \cdot \frac{h_b}{2} = 33,5 \cdot 10 =$

$$= 268 \text{ см}^3; S_{pl} = A_{pl} \left( h_b + \frac{h_{pl}}{2} \right) \frac{1}{\alpha} = (1140 \cdot 25) \frac{1}{24} = 1188 \text{ см}^3.$$

Приведенный момент инерции:

$$I_{red} = \frac{I_{pl}}{\alpha} + \frac{A_s \cdot y_{pl}^2}{\alpha} + I_b + A_b y_b^2 =$$

$$= \frac{114 \cdot 10^3}{12 \cdot 24} + \frac{114 \cdot 10 \cdot 6,2^2}{24} + 2140 + \quad (20)$$

$$+ 33,5 \cdot 8,8^2 = 396 + 1826 + 2140 + 2594 = 6956 \text{ см}^4.$$



Проверка несущей способности:

$$\frac{M}{W_{red} R_y \gamma_c} = \frac{5,18 \cdot 10^5}{386 \cdot 2350 \cdot 0,9} = 0,64 < 1, \quad (21)$$

где  $W_{red} = \frac{I_{red}}{y_{b1}} = \frac{6956}{18,8} = 386 \text{ см}^3$ .

Прочность балки *обеспечена*.

Определение прогиба балки:

- от железобетонной плиты:

$$f_1 = \frac{5M_{pl}^n l_0^2}{48EI_{red}} = \frac{5 \cdot 2,28 \cdot 10^5 \cdot 765^2}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 6956} = 0,95 \text{ см}, \quad (22)$$

где  $M_{pl}^n = \frac{(250 \cdot 1,14 + 26,3) 7,65^2}{8} = 2,28 \cdot 10^5 \text{ кгс} \cdot \text{м}$ .

- от полной нагрузки без нагрузки ж/б плиты:

$$f_2 = \frac{5M_d^n l_0^2}{48EI_{red}} = \frac{5 \cdot 2,29 \cdot 10^5 \cdot 765^2}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 6956} = 0,95 \text{ см}, \quad (23)$$

где  $M_{pl}^n = \frac{[(504 - 250) 1,14 + 26,3] 7,65^2}{8} = 2,29 \cdot 10^5 \text{ кгс} \cdot \text{м}$ .

Полный прогиб:

$$f_1 + f_2 = 0,95 + 0,95 = 1,9 \text{ см}; \quad (24)$$

$$\frac{f}{l} = \frac{1,9}{750} = \frac{1}{395} < \left[ \frac{f}{l} \right] = \frac{1}{213}. \quad (25)$$

Условие соблюдается ( $f < [f]$  в 1,85 раз).

**Участок 2.** Расчетное сечение представлено на рис. 6. Определим его геометрические характеристики [2].

Приведенная площадь сечения:

$$A_{red} = A_b + A_{pl} = 47,5 + 33,5 = 91 \text{ см}^2. \quad (26)$$

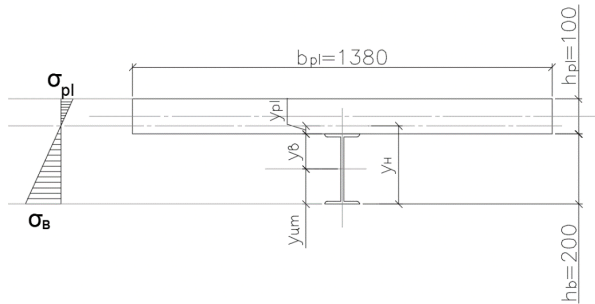


Рис. 6. Расчетное сечение балки на участке 2

Определяем положение центра тяжести приведенного сечения:

$$y_{\text{цт}} = \frac{S_{\text{red}}}{A_{\text{red}}} = \frac{1897,5}{96} = 19,8 \text{ см}, \quad (27)$$

где  $S_{\text{red}} = S_b + S_{pl} = 335 + 1437,5 = 1772,5 \text{ см}^3$ ;  $S_b = A_b \cdot \frac{h_b}{2} = 33,5 \cdot 10 = 335 \text{ см}^3$ ;  $S_{pl} = A_{pl} \left( h_b + \frac{h_{pl}}{2} \right) \frac{1}{\alpha} = (1380 \cdot 25) \frac{1}{24} = 1437,5 \text{ см}^3$ .

Приведенный момент инерции:

$$\begin{aligned} I_{\text{red}} &= \frac{I_{pl}}{\alpha} + \frac{A_s \cdot y_{pl}^2}{\alpha} + I_b + A_b y_b^2 = \\ &= \frac{138 \cdot 10^3}{12 \cdot 24} + \frac{138 \cdot 10 \cdot 5,5^2}{24} + 2140 + 33,5 \cdot 9,5^2 = \\ &= 479 + 1739,4 + 2140 + 3023,4 = 7382 \text{ см}^4. \end{aligned} \quad (28)$$

Проверка несущей способности:

$$\frac{M}{W_{\text{red}} R_y \gamma_c} = \frac{6,27 \cdot 10^5}{378 \cdot 2350 \cdot 0,9} = 0,78 < 1, \quad (29)$$

где  $W_{\text{red}} = \frac{I_{\text{red}}}{y_{b_1}} = \frac{7382}{19,5} = 378 \text{ см}^3$ .

Прочность балки обеспечена.

Определение прогиба балки:

- от железобетонной плиты:

$$f_1 = \frac{5M_{pl}^n l_0^2}{48EI_{red}} = \frac{5 \cdot 2,73 \cdot 10^5 \cdot 765^2}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 7382} = 1,08 \text{ см}, \quad (30)$$

где  $M_{pl}^n = \frac{(250 \cdot 1,38 + 26,3)7,65^2}{8} = 2,73 \cdot 10^5 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$

- от полной нагрузки без нагрузки ж/б плиты:

$$f_2 = \frac{5(M_q^n - M_{pl}^n)l_0^2}{48EI_{red}} = \frac{5 \cdot 2,54 \cdot 10^5 \cdot 765^2}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 7382} = 1,02 \text{ см}, \quad (31)$$

где  $M_q^n = \frac{(502 - 250)765^2}{8} = 2,54 \cdot 10^5 \text{ кгс} \cdot \text{м}.$

Полный прогиб:

$$f = f_1 + f_2 = 1,08 + 1,02 = 2,1 \text{ см}; \quad (32)$$

$$\frac{f}{l} = \frac{2}{750} = \frac{1}{375} < \left[ \frac{f}{l} \right] = \frac{1}{213}. \quad (33)$$

Условие соблюдается [5] ( $f < [f]$  в 1,76 раз).

Результаты, полученные опытным путем и по расчетам, сведены в табл. 2.

Исходя из проведенных расчетов были определены два критерия, которые позволили спрогнозировать поведение балок под действием проектных нагрузок.

Определяем максимальный прогиб балки от плиты перекрытия (существующее положение), при значении которого при полной проектной нагрузке будет обеспечена несущая способность.

Определяем среднее расстояние между балками при действии проектной нагрузки:

$$M = \frac{(qb_{cp} + g_b \gamma_f)l_0^2}{8}. \quad (34)$$

Прогибы балки

Участок	Тип балки Германского нормального сортамент	По физио- логическим требованиям		Эстетико-психологические требования									
		Нормы, мм	Расчет, мм	Нагрузка						Выдержка 24 ч		Разгрузка	Нормы
				Плита		$1/2 q_{экр}$		$q_{экр}$		Опыт	Расчет		
				Опыт	Расчет*	Опыт	Расчет	Опыт	Расчет*				
1	I20	34	17,5	11	10	11	12,7	12	15,9	16	19	11	37
					35,7				59,4				
2	I20	37	72	36	10,5	-	-	-	20,4	-	-	-	37
					36				72				

\* В числителе – прогибы балки с учетом совместной работы с плитой по-  
рекрития; в знаменателе – без учета.

Несущая способность балки:

$$M_n = W_x R_y \gamma_c \quad (35)$$

Приравняв  $M = M_n$ , определим  $b_{cp}$ :

$$b_{cp} = \frac{8W_x R_y \gamma_c}{l_0^2 q} - \frac{g_b \gamma_f}{q} \quad (36)$$

$$\frac{8 \cdot 2350 \cdot 0,9 \cdot 214}{765^2 \cdot 0,06} - \frac{0,263 \cdot 1,05}{0,06} = 98,52 \text{ см.}$$

В этом случае прогиб балки от плиты составляет

$$f_{pl}^{\max} = \frac{5(250 \cdot 0,985 + 26,3)0,01 \cdot 765^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 2140} = 2,7 \text{ см.} \quad (37)$$

Прочность балок при расчетной проектной нагрузке обеспечена при

$$f_{pl} \leq f_{pl}^{\max} = 2,7 \text{ см.} \quad (38)$$

Прогибы балок при нормативной проектной нагрузке обеспечены при

$$f_{pl} \leq \frac{[f]}{1+k} = \frac{3,5}{1+0,91} = 1,83 \text{ см,} \quad (39)$$

$$\text{где } k = \frac{(q^n - g_{pl}^n)}{g_{pl}^n + g_b^n} = \frac{(502 - 250)}{250 + 26,3} = 0,91; [f] = \frac{l}{213} = \frac{748}{213} = 3,5 \text{ см.}$$

### Выводы

1. По результатам испытаний и выполненных расчетов предложены два критерия оценки прочности балок перекрытия на проектные нагрузки по величине прогибов от нагрузки перекрытия (существующее положение).

2. Критерий по прочности балки от проектных нагрузок предусматривает существующий прогиб:

$$f_{pl} \leq 2,7 \text{ см.}$$

3. Критерий по пригодности к нормальным условиям эксплуатации предусматривает существующий прогиб:

$$f_{pl} \leq 1,83 \text{ см.}$$

4. Балка Б1 на участке 1 соответствует этим критериям  $f_{pl} = 1 \text{ см} \leq 1,83 \text{ см}$ . Прочность и деформативность ее при проектных нагрузках обеспечена.

5. Балка Б2 на участке 2 не соответствует ни одному из них  $f_{pl} = 3,6 \text{ см} \leq \begin{cases} 2,7 \text{ см} \\ 1,83 \text{ см} \end{cases}$ , т. е. прочность ее при проектных нагрузках не обеспечена.

6. Балки, в которых прогиб находится в пределах допустимого по условиям прочности, но выходит за пределы по условиям деформациям ( $1,83 \text{ см} < f_{pl} \leq 2,7 \text{ см}$ ) при наличии подвесного потолка пригодны для эксплуатации.

7. Участки перекрытий, где прогиб балок ( $f_{pl} > 2,7 \text{ см}$ ) необходимо усиливать по специально разработанному проекту.

### Литература

1. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. М.: Стандартинформ, 2017. 146 с.
2. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования. М.: Стандартинформ, 2017. 130 с.
3. Пособие по проектированию и бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52-101-2003). М.: ЦНИИПРОМЗДАНИЙ; НИИЖБ, 2005. 214 с.
4. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. СНиП 52-01-2003. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2018. 124 с.
5. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. М.: Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации, 2016. 95 с.

**УДК 624.9**

*Сергей Валерьевич Осыков,*  
аспирант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: osykovvv@gmail.com*

*Sergey Valerievich Osykov,*  
postgraduate student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: osykovvv@gmail.com*

## **РАСЧЕТ МОНОЛИТНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ КВАЗИСТАТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

### **DINAMYC INCREASE FACTORS FOR NONLINEAR STATIC PROGRESSIVE COLLAPSE ANALYSIS OF RC FRAMES**

При выполнении статических расчетов на прогрессирующее обрушение динамические эффекты, возникающие из-за внезапной потери несущего элемента, учитываются при помощи коэффициентов динамичности. Их численные значения зависят как от характеристик отдельных конструктивных элементов, так и от вида самой конструкции. В статье на основе численного эксперимента показан вклад работы перекрытий в устойчивость монолитного балочного каркаса против прогрессирующего обрушения. Проведено сравнение значений коэффициентов динамичности, полученных опытным путем, и по американским нормам. Результаты позволяют сделать вывод о существенной роли плит перекрытий в отклике конструкций в случае внезапного удаления элементов.

*Ключевые слова:* прогрессирующее обрушение, коэффициент динамичности, закон сохранения энергии, нелинейный статический расчет, балочные монолитные перекрытия.

When conducting nonlinear static progressive collapse analysis, dynamic effects caused by sudden column loss are considered by using dynamic increase factors. The values of the dynamic factors depend both on the characteristics of individual structural elements and on the type of the structure itself. Based on a numerical example, the contribution of floor slabs to the progressive collapse-resistant ability of reinforced concrete frame structures is shown. The comparison of the dynamic increase factors values obtained experimentally with the values obtained according to American standards is conducted. The results confirm the significant role of floor slabs in the progressive collapse resistance of the whole structure.

*Keywords:* progressive collapse, dynamic increase factor, energy conservation principle, nonlinear static analysis, two-way slab.

Особое внимание при выполнении расчетов на прогрессирующее обрушение уделяется влиянию динамических эффектов, возникающих в конструкциях при внезапном выключении одной из опор. В статических расчетах, этот фактор учитывается с помощью системы коэффициентов динамичности  $k_d$  [1]. Определению  $k_d$  посвящено множество работ [2–5]. Особенностью данных исследований является то, что они проводились с использованием численных моделей каркасов без плит перекрытий – плиты заменялись в них погонной нагрузкой, приложенной к ригелям. В работе [5] проанализировано влияние перекрытий на значение  $k_d$  при удалении внутренней колонны в стальном рамном каркасе. Для модели с перекрытиями значение  $k_d$  получилось существенно больше, чем для варианта без них – 1,42 и 1,12 соответственно.

Как видно, игнорирование работы плит возможно в случае сборных перекрытий, но в каркасах со сталежелезобетонными перекрытиями приводит к существенной недооценке стойкости всей конструкции к внезапным отказам элементов. Предполагается, что и в монолитных каркасах перекрытия могут повышать жесткость каркаса и, следовательно, увеличивать диапазон его упругой работы, что приводит к возрастанию величины  $k_d$ . Целью данной работы является показать вклад работы перекрытий в сопротивление прогрессирующему обрушению монолитных каркасов с балочными перекрытиями, выраженный в значении  $k_d$ .

Одним из способов определения  $k_d$  может быть подход, базирующийся на энергетическом балансе системы [6]. В данном методе работа внешних сил  $W$  динамической системы с нагрузкой  $P_d$  равна энергии деформации статической системы  $U$  с нагрузкой  $P_s$ , т. е.  $W=U$ . В этом случае коэффициент динамичности по нагрузке

$$k_d = P_s/P_d. \quad (1)$$

Для определения  $k_d$  на первом этапе выполняют статический нелинейный расчет и строят диаграмму, связывающую значения внешней нагрузки (или значение несущей способности) и прогиба. Далее полученная диаграмма аппроксимируется до билинейной зависимости (рис. 1). Значение нагрузки  $P_d$  определяется из равенства площадей фигур  $ABCD$  и  $AEFD$  или, по-другому, из равенства  $W$  и  $U$ .



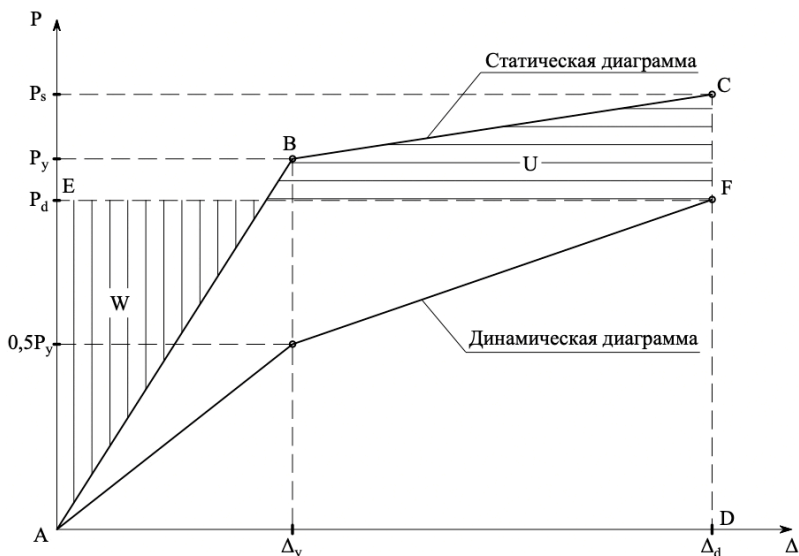


Рис. 1. К определению  $k_d$  энергетическим методом

На рис. 1  $P_y$  – нагрузка, соответствующая началу текучести продольной растянутой арматуры ригеля,  $\Delta_y$  – предельный упругий прогиб, при достижении которого ригель переходит в пластическую стадию работы,  $\Delta_d$  – предельный прогиб, после которого наступит разрушение элемента. Значение  $0,5P_y$  принимается равным половине  $P_y$ , основываясь на том, что при упругой работе системы без демпфирования коэффициент динамичности равен 2 [6].

Для численной проверки описанной выше методике выполним в ПК *SAP2000* статический и динамический нелинейный расчет монолитного 4-х этажного рамного каркаса в двух вариантах: в первом случае расчетная модель будет без перекрытий (модель А), во втором будет включать плиты перекрытий в виде нелинейных многослойных оболочек (модель Б). Высота этажей составляет 3,5 м, шаг колонн – 6 м. Схема армирования перекрытий показана на рис. 2, характеристики перекрытия приведены в табл. 1.

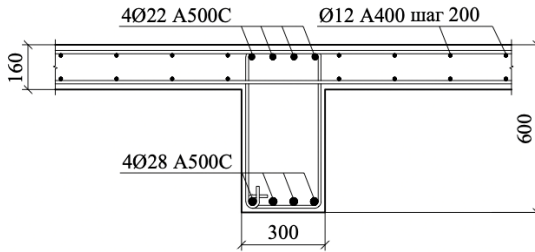


Рис. 2. Армирование конструкций перекрытия

Таблица 1

**Характеристики элементов перекрытия**

Элементы	$m_s$ , %	Класс бетона	Класс арматуры	$R_{bd}$ МПа	$R_{sd}$ МПа	$e_{b2}$	$e_{s2}$
Балки	2,37	B40	A500C	34,8	550	0,0035	0,025
Перекрытие		B30	A400	26,4	464		

В качестве локального отказа рассмотрим удаление внутренней колонны первого этажа. Статический и динамический расчет выполняется согласно рекомендациям [1]. Комбинация нагрузок включает нормативные значения постоянных и временных нагрузок, равные 11 и 2 кН/м<sup>2</sup>, соответственно.

Пластические деформации в балках и колоннах учитываются с помощью фибровых шарниров. В балках они устанавливаются по обоим концам и в середине, в колоннах – в местах соединения с балками. Длина пластической зоны в колоннах равна половине высоты сечения, в балках – определяется по методике, изложенной в [7]. Плиты перекрытий моделировались нелинейными многослойными оболочками.

После выполнения расчетов для обеих моделей были построены аппроксимированные графики зависимостей перемещений верхнего узла удаленной колонны от уровня нагрузки (рис. 3, 4) и найдено значение  $k_d$  по формуле (1).

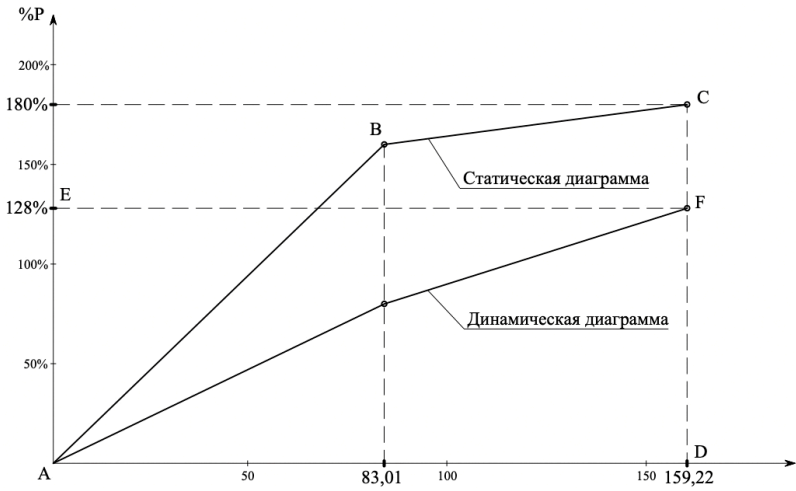


Рис. 3. Диаграммы энергетического метода для модели А

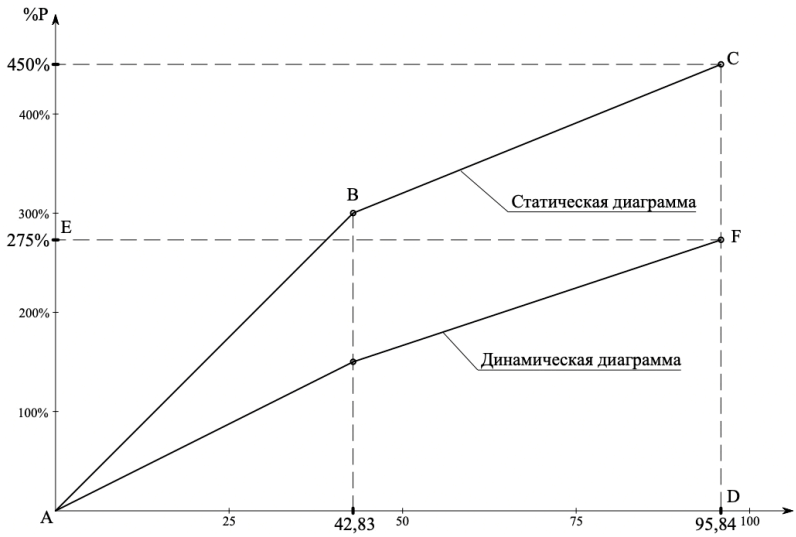


Рис. 4. Диаграммы энергетического метода для модели Б

В дополнение к численному исследованию выполним расчет *DIF* по формуле для ЖБ рамных конструкций из [1]:

$$k_d = 1,04 + \frac{0,45}{\theta_{\text{пра}} + 0,48} \cdot \theta_y \quad (2)$$

Значения коэффициентов динамичности, полученные различными методами, приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Значения коэффициентов динамичности  $k_d$**

Модели	По энергетическому методу	По результатам численного исследования	По методике [1]
А	1,41	1,29	1,17
Б	1,64	1,72	–

Как и в исследовании [5], значение  $k_d$  для модели Б получилось выше, чем для модели А – 1,29 и 1,72 соответственно. Это отличие вызвано большей жесткостью каркаса с монолитными перекрытиями по сравнению с вариантом без них.

Применение энергетического подхода только как графического метода, т. е. при построении динамической диаграммы на основе статической, дает погрешности, вызванные сложностью аппроксимации криволинейных диаграмм деформирования.

Методика [1] в рассматриваемом примере для модели А дает несколько заниженное здание  $k_d$  по сравнению с опытом. В случае же модели Б, как и предполагалось, она не отражает реального отклика конструкции с монолитными перекрытиями при отказе элемента.

### Литература

1. UFC-4-023-03 (Including Change 3, 1 November 2016) Unified Facilities Criteria. Design of Building to Resist progressive collapse, July, 2009. URL: [https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ufc\\_4\\_023\\_03\\_2009\\_c3.pdf](https://www.wbdg.org/FFC/DOD/UFC/ufc_4_023_03_2009_c3.pdf) (accessed on: 25.04.2021).

2. *Liu M.* A new dynamic increase factor for nonlinear static alternate path analysis of building frames against progressive collapse // *Engineering Structures*. 2013. No. 48. P. 666–673.

3. *Li Y., Lu X., Guan H., Ye L.* An energy-based assessment on dynamic amplification factor for linear static analysis in progressive collapse design of ductile RC frame structures // *Advances in Structural Engineering*. 2014. No. 17(8). P. 1217–1225.

4. *Mahmoudi M., Teimoori T.* Presenting displacement-based nonlinear static analysis method to calculate structural response against progressive collapse // *International Journal of Civil Engineering*. 2015. Vol. 13. No. 4. P. 478–485.

5. *Shi F., Wang L., Dong S.* Progressive collapse assessment of the steel moment-frame with composite floor slabs based on membrane action and energy equilibrium // *The Open Construction and Building Technology Journal*. 2017. No. 11. P. 200–215.

6. *Тур А. В.* Сопротивление изгибаемых железобетонных элементов при внезапном приложении нагрузки // *Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура*. 2012. № 1(73). С. 150–159.

7. *Попов Н. Н., Расторгуев Б. С., Забегаев А. В.* Расчет конструкций на динамические специальные нагрузки: учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 1992. 319 с.

УДК 519.81

*Валентин Андреевич Алфимов,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: alfimov.valentine@gmail.com*

*Valentin Andreevich Alfimov,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: alfimov.valentine@gmail.com*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К ПОДКРЕПЛЕНИЮ К ЗАДАЧЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ФИНАНСОВОМ РЫНКЕ**

### **APPLICATION OF REINFORCEMENT LEARNING TO THE PROBLEM OF MAKING DECISIONS ON THE FINANCIAL MARKET**

Область искусственного интеллекта «обучение с подкреплением» начала бурно развиваться относительно недавно, однако уже достигнут определенный успех при применении данного аппарата адаптации к различным практическим задачам, таким как автоматизированное управление, автопилотирование, рекомендательные системы и др. Вопрос принятия решений в условиях сред с недетерминированным откликом представляет собой особый исследовательский интерес. Алгоритмы уже успешно доказали свой потенциал в играх *Atari*, демонстрируя показатели, превосходящие данные среднего человека, и в 2016 г. обыграли чемпиона мира по игре в го. В данной работе рассматривается применение алгоритмов обучения с подкреплением к принятию решений в условиях риска на примере дилинга на финансовом рынке.

*Ключевые слова:* обучение с подкреплением, машинное обучение, искусственный интеллект, процесс принятия решений, финансовый рынок, трейдинг.

Reinforcement learning, as a field of artificial intelligence, has begun its rapid development just recently, but it already shows particular success in the application of this adaptation mechanism to various practical tasks, such as automated control, autopilot systems, recommendation systems and etc. A decision-making process in environments with a non-deterministic response is of particular research interest. Such algorithms have already successfully shown their potential in “Atari” games by surpassing the average person and in 2016 have beaten the world champion in the game of Go. This paper examines the application of reinforcement learning algorithms to decision making under risk using the example of dealing in financial markets.

*Keywords:* reinforcement learning, machine learning, artificial intelligence, decision-making process, financial market, trading.

Обучение с подкреплением базируется на марковском процессе принятия решений (МППР), поэтому для формулирования любой задачи необходимо задать кортеж:  $(S, A, P, R)$ , где  $S$  – конечное множество состояний;  $A$  – конечное множество действий из состояния  $s$ ;  $P(s, s')$  – вероятность того, что действие  $a$  в состоянии  $s$  в момент времени  $t$  приведет в состояние  $s'$  в момент времени  $t + 1$ ;  $R(s, s')$  – вознаграждение, получаемое после перехода в состояние  $s'$  из состояния  $s$  с вероятностью перехода  $P$ .

Процесс принятия решений происходит следующим образом. В начальный момент времени  $t_0$  начальное состояние среды  $s_0$  считается фиксированным (что не отрицает возможности его задать). На основании заложенной или случайно инициализированной вероятности принимается решение совершить действие  $a$ , в ответ на что высчитывается награда  $r$ , корректируется распределение вероятностей и генерируется снимок следующего состояния среды  $s_1$ . Далее процесс идет итеративно до терминального состояния (с вероятностью  $p = 1$  предпринять какое-либо действие невозможно), либо до бесконечности.

Рассматривая задачу принятия решений на финансовом рынке, можно исходить из того, что определенным состояниям рынка соответствует некоторый уровень желательности выполнения определенных действий. Определим эти действия:

- $B$  – покупка актива (действие *buy*);
- $S$  – продажа актива (действие *sell*);
- $H_1$  – ожидание вне сделки;
- $H_2$  – удержание актива, ожидание в сделке;
- $C$  – закрытие торговой позиции и возвращение в состояние «вне сделки»;
- $I$  – начальная позиция, позиция «вне сделки».

Исходя из этого зададим марковскую цепь с переходными вероятностями, где *Imm.* означает мгновенный однозначный переход (рис. 1).

В качестве примера, вероятности переходов для любого из действий заданы равными и в последствии корректируются одним из способов, например функцией  $V(s)$ , которая принимает состояние среды  $s$  и возвращает среднюю вероятность выигрыша при этом со-

стоянии, т. е. выдает оценку кумулятивной будущей награды при событии  $s$ . На основе заданной марковской цепи составляется программный модуль среды.

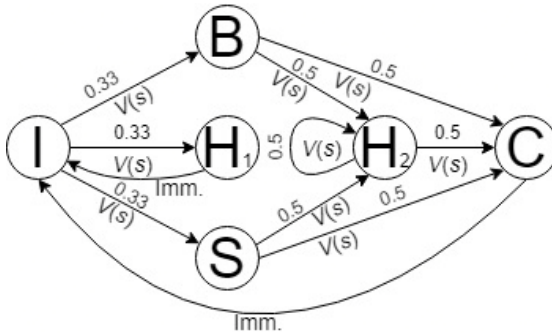


Рис. 1. Марковская цепь для задачи финансового диллинга

После утверждения в научном сообществе двух принципов к организации систем обучения с подкреплением ( $Q$ -learning [1] и  $Policy$  optimization [2]), стало очевидным шагом их объединение. Так появился комбинированный подход под названием  $Actor-Critic$  [2]. Идеологически в нем стремятся соединить преимущества  $Q$  и  $Policy$  алгоритмов за счет разделения задачи обучения цельной  $RL$ -системы на вычисление действия (на основе наблюдения  $s$  с помощью  $Policy$ -блока) и оценки выхода  $Policy$ -блока  $action$ -value функцией  $Q$  (рис. 2).

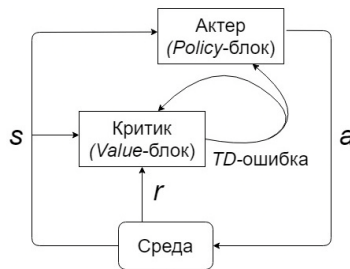


Рис. 2. Принцип функционирования алгоритмов  $Actor-Critic$



Актер реагирует на состояние среды, действуя согласно политике  $\pi$ . Таким образом, он и контролирует итоговое действие агентной системы, и проводит поиск оптимальной политики  $\pi^*(\theta)$ . Обновление политики описывается формулой (1). В свою очередь, критик оценивает действие актера *action-value* функцией  $Q$ .

$$\Delta\theta = \alpha \nabla_{\theta} (\log \pi_{\theta}(s, a)) \tilde{Q}(s, a), \quad (1)$$

где  $\tilde{Q}(s, a)$  – приближение функции  $Q(s, a)$ .

Объединенная работа двух алгоритмов оказалась более продуктивной, чем их использование в обособленном виде, потому что действия жадного на действия актера сдерживаются или поощряются критиком, и, по мере нарастания опыта, система обучения с подкреплением заключает в себе достаточно развитую систему реагирования на разного рода наблюдения среды.

Описанный в статье [3] алгоритм *A2C* представляет собой попытку стабилизировать выход при *Actor-Critic* подходе. Суть метода заключается в декомпозиции *action-value* функции  $Q(s, a)$  (2) на *value*-функцию  $V(s)$  и функцию преимущества  $A(s, a)$  (3). Одновременное использование *value* и *action-value* функций приводит к дополнительной вычислительной нагрузке. Поэтому вместо *action-value* функции  $Q$  используется *TD*-ошибка (4). В итоге имеем функцию преимущества  $A$ , состоящую только из *value*-функций  $V$  (5) на текущий период ( $V(s)$ ) и в будущий момент времени ( $V(s')$ ) с дисконтирующим параметром  $\gamma$ .

$$Q(s, a) = E[R' + \gamma V(s')]; \quad (2)$$

$$A(s, a) = Q(s, a) - V(s); \quad (3)$$

$$Q(s, a) = r + \gamma V(s'); \quad (4)$$

$$A(s, a) = r + \gamma V(s') - V(s). \quad (5)$$

Предполагается, что функция  $A(s, a)$  содержит информацию о том, насколько предпринятое действие лучше или хуже потенциально возможных действий в данном состоянии  $s$ . В зависимости от знака вычисленной функции преимущества, градиент меняет свое направление в сторону повышения кумулятивного ожидаемого воз-

награждения. *Value*-функция же содержит информацию о том, насколько выгодно находиться в текущем состоянии  $s$ . В итоге, вместо оптимизации функции  $Q$ , целью является узнать не только насколько выгодно данное действие, но и выяснить, при помощи функции  $A(s,a)$ , может ли оно быть лучше, что теоретически понижает дисперсию *Policy*-алгоритма. Вклад каждого отдельного агента сохраняется и преумножается благодаря совместной работе нескольких независимых пар *actor-critic*. Когда все рабочие пары заканчивают свое обучение, параметры глобальной сети обновляются (6).

$$\begin{aligned} \nabla_{\theta} J(\theta) &\sim \sum_{t=0}^{T-1} \nabla_{\theta} \log \pi_{\theta}(a_t | s_t)(r_{t+1} + \gamma V(s_t) - V(s_t)) = \\ &= \sum_{t=0}^{T-1} \nabla_{\theta} \log \pi_{\theta}(a_t | s_t) A(s_t, a_t). \end{aligned} \quad (6)$$

*ACKTR (Actor-Critic using Kronecker-factored Trust Region)* также является алгоритмом типа *Actor-Critic*, разработанный совместно исследователями университета Торонто, Нью-Йорка и компании *OpenAI* [4]. Метод сочетает в себе архитектуру, похожую на *A2C* с применением факторизации Кронекера [5] при оптимизации актера и критика. За счет использования такого типа приближений сложность вычислений значительно падает.

В целях рационализации временных затрат, в период тестирования алгоритмов использовался дневной таймфрейм (рис. 3) с разделением обучающей и тестовой выборок в отношении 5 к 1.

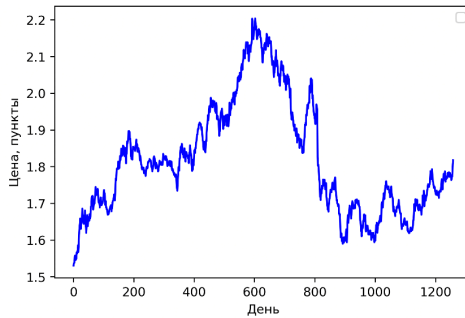


Рис. 3. Финансовый временной ряд

На рис. 4 показаны результаты обученных на 2,5 млн семплов алгоритмов *A2C* и *ACKTR*.

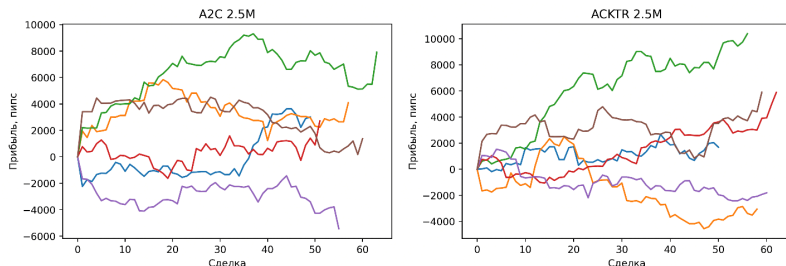


Рис. 4. Динамика прибыли обученных алгоритмов

Стоит отметить, что приведенные графики демонстрируют работу одной обученной агентной системы для каждого алгоритма при независимых запусках на одних и тех же тестовых данных без учета комиссионных издержек и манипулирования логотности проводимых сделок.

Математическое ожидание итоговой прибыли за тестовый период у обученных моделей составляет:

- 2432 пипса на 59 сделок для *ACKTR* (41 пипс на сделку);
- 2281 пипс на 57 сделок для *A2C* (40 пипсов на сделку).

Случайные оптимистичные исходы запусков показали следующие значения прибыли (рис. 5):

- 10381 пипс за 58 сделок у агента на основе *ACKTR*;
- 7921 пипс за 65 сделок у *A2C* агента.



Рис. 5. Математическое ожидание и пример оптимистичных сценариев работы алгоритмов

**Литература**

1. *Watkins C.* Q-learning. Technical Note // Machine learning. 1992. № 8. P. 279–292.
2. *Саттон Р. С., Барто Э. Дж.* Обучение с подкреплением: Введение. 2-е изд. / пер. с англ. А. А. Слинкина. – М.: ДМК Пресс, 2020. 552 с.
3. *Volodymyr M., Puigdomanech B., Mehdi M.* Asynchronous Methods for Deep Reinforcement Learning // PMLR. 2016. № 48. P. 1928–1937.
4. *Wu Yuhuai, Mansimov E., Liao Shun.* Scalable trust-region method for deep reinforcement learning using Kronecker-factored approximation // NIPS. 2017. P. 5285–5294.
5. *Martens J., Grosse R.* Optimizing Neural Networks with Kronecker-factored Approximate Curvature // PMLR. 2015. № 37. P. 2408–2417.

УДК 004.925

*Никита Валерьевич Баланков,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: nikkbalsea@gmail.com*

*Nikita Valeriyevich Balankov,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: nikkbalsea@gmail.com*

## **ФРЕЙМВОРК ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ БОТОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПОВЕДЕНИЯ**

### **FRAMEWORK FOR BOT DETECTION BASED ON BEHAVIOUR ANALYSIS**

Боты – это автоматизированные программы, которые могут оказывать различные негативные воздействия в сферах, где применяются. Например, в сфере машинного обучения боты могут портить разметку данных, затрудняя обучение сетей глубокого обучения. В игровой сфере они дают одним игрокам колоссальное преимущество над другими. В результате честные игроки со временем отстают от игроков, пользующихся ботами, из-за чего теряют интерес к игре, перестают покупать предметы за реальные деньги и в конце концов уходят из проекта. Расходы на переобучение сетей глубокого обучения, на восстановление репутации компании, возвращение игроков и их интереса к игре составляют огромные финансовые и временные затраты для компаний, поэтому обнаружение ботов становится особенно важным и актуальным.

*Ключевые слова:* детекция ботов, анализ последовательностей поведения, система автоитерации, мутации ботов, классификация пользователей.

Bots are automated programs that, depending on the scope of application, may have different negative effects on the area in which they are used. For example, in the field of machine learning, bots can spoil the markup of data, thereby making it difficult to train deep learning networks. In the gaming sphere, bots give some players a huge advantage over others. Honest players eventually lag behind players who use bots, which is why they lose interest in the game, stop buying items for real money, and eventually leave the project. The cost of retraining deep learning networks, restoring the company's reputation, and getting players back and interested in the game are all huge costs for companies, both in time and economically. Therefore, the detection of game bots becomes especially important and relevant.

*Keywords:* bot detection, behavior sequence analysis, auto-iteration system, bot mutations, user classification.

Исследования по обнаружению игровых ботов можно разделить на три категории: на стороне клиента, на стороне сети и на стороне сервера. Обнаружение игрового бота на стороне клиента основано на сигнатуре, то есть он отслеживает аномалии клиентской машины и отправляет снимки экрана клиента на игровой сервер [1]. Кроме того, обнаружение ботов на стороне клиента вызывает конфликты в операционной системе, что доставляет неудобства пользователям. По этим причинам обнаружение игровых ботов на стороне клиента в настоящее время не является предпочтительным. Обнаружение на стороне сети выявляет различные реакции игровых ботов и игроков-людей при изменении сетевого трафика или сетевых пакетов [2]. Боты демонстрируют частые поступления пакетов и отправляют меньше информации, чем пользователи-люди [3]. Однако обнаружение ботов на стороне сети может вызвать ее перегрузку и задержку времени, что значительно ухудшит процесс взаимодействия пользователя с платформой.

Учитывая недостатки методов поиска ботов на стороне клиента и на стороне сети, обнаружение ботов на стороне сервера является наиболее востребованным методом для компаний. Этот метод использует данные журнала пользователей, собранные с сервера, и применяет методы интеллектуального анализа данных [4], поскольку боты демонстрируют схожие модели поведения, отличные от поведения пользователей-людей. Следовательно, обнаружение ботов на стороне сервера не вызывает никаких побочных эффектов и упрощает работу компаний без развертывания дополнительных программ.

В данной статье рассматривается комплексный фреймворк (рис. 1), который позволяет обнаруживать ботов на стороне сервера, анализируя данные из журналов пользователей, что обеспечивает высокую точность и эффективность за счет заранее определенных алгоритмов обнаружения.

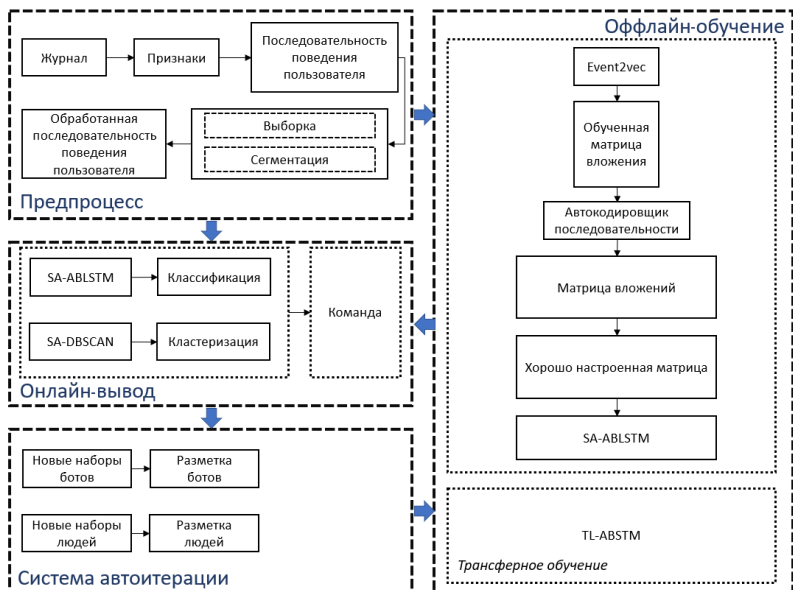


Рис. 1. Схема фреймворка

Фреймворк состоит из четырех блоков:

- 1) **предпроцесс**: отвечает за получение высококачественных наборов данных из необработанных данных в два этапа: выборка и сегментация;
- 2) **оффлайн обучение**: отвечает за обучение моделей в оффлайн режиме;
- 3) **онлайн вывод**: предоставляет онлайн сервис для обнаружения ботов;
- 4) **система автоитерации**: собирает онлайн-данные на каждой фазе цикла для восстановления обучающего набора и выполнения краткосрочных и долгосрочных автоитераций.

Учитывая, что для разных задач необходимы разные модели сегментации, в фреймворк встроена система расширений, которая позволяет создавать собственные паттерны для сегментации, что позволит получать еще более качественные наборы данных.

В фреймворк уже встроены следующие паттерны для краудсорсинговой платформы по разметке данных:

- для **просмотра видео** проводится сегментация данных по событию начала просмотра и событию окончания просмотра;
- для **ежедневных задач** проводится сегментацию последовательностей данных поведения пользователей по дням;
- для **разметки изображений** проводится сегментация по уровню доверия.

В системе автоитераций происходит извлечение новых записей о пользователях-людях и повторное их группирование с помощью метода выборки. Работа по повторной выборке человеческого набора данных помогает моделям адаптироваться к изменениям поведения в реальном времени.

Для обнаружения ботов производится анализ последовательностей поведения пользователей. Каждый слот представляет собой некое событие, и разным событиям присваиваются разные цвета, чтобы различать их (рис. 2).

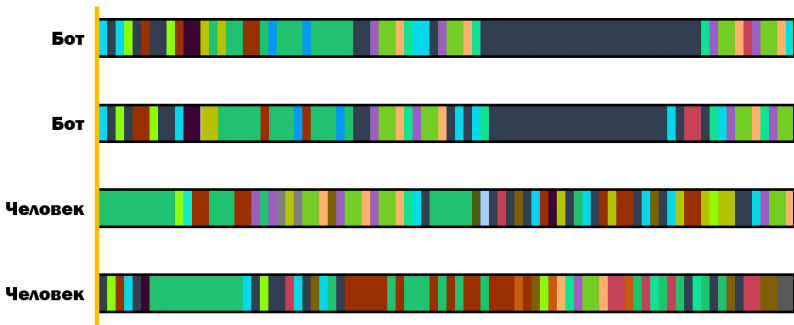


Рис. 2. Сравнение паттернов поведения пользователей-людей и ботов

Как видно из рис. 2, последовательности поведения ботов сильно отличаются от человеческих. Последовательности поведения пользователей-людей более сложны и непредсказуемы, чем последовательности поведения ботов, что позволяет моделям, встроенным в фреймворк, правильно классифицировать пользователей.



Огромной проблемой в обнаружении ботов является мутация ботов. Мутация – обновление в программном коде ботов, которое влечет за собой изменение паттернов поведения бота в различных ситуациях. Системы, которые основаны только на алгоритме кластеризации и/или классификации, зачастую не успевают приспособиться к мутациям ботов, что позволяет ботам быть незамеченными системой защиты [5].

В продемонстрированном фреймворке за решение этой проблемы отвечает механизм автоитерации, который на каждой итерации цикла получает наборы данных с новыми неизвестными ботами. После этого на их основе переучивает последние слои нейронной сети, которые отвечают за тонкую настройку сети.

Новые неизвестные боты обнаруживаются с помощью плотного алгоритма кластеризации *DBSCAN*. Данный подход значительно ускоряет адаптацию системы к мутациям ботов.

Разработанный фреймворк может быть использован как в игровой сфере, где боты ежегодно приносят разработчикам огромные экономические убытки, так и в любой другой сфере, которая тесно связана с машинным обучением: социальные сети, краудсорсинговые платформы и т. д. Особенно если эти сферы тесно связаны с сетями глубокого обучения, где любой сбой в разметке данных для обучения ведет к колоссальной потере времени.

### Литература

1. *Yampolskiy R. V., Govindaraju V.* Embedded Noninteractive Continuous Bot Detection. *Comput. Entertain.* 2007. V. 5. No. 4. P. 77–89.
2. *Kuan-Ta Chen, Jhih-Wei Jiang, Polly Huang* and others. Identifying MMORPG Bots: A Traffic Analysis Approach // *EURASIP J. Adv. Signal Process.* 2009. P. 40–62.
3. *Ah R. K., Seong H. J., Aziz M.* Multimodal game bot detection using user behavioral characteristics. *Springer Plus* 5, 2016. 523 p.
4. *Kyung H., Eunjo Lee.* Show Me Your Account: Detecting MMORPG Game Bot Leveraging Financial Analysis with LSTM. *Data Center NCSOFT Seongnam, Republic of Korea*, 2019. 10 p.
5. *Ahmad K., Rosil B.* Botnet detection techniques: review, future trends, and issues. *Department of Computer Science, University of Bradford, Bradford BD7 1DP, UK*, 2019. 41 p.

**УДК 517.9**

*Дмитрий Владимирович Гриник,*  
студент  
*Валерия Сергеевна Митрофанова,*  
студент

*Анжелика Владимировна Шишацкая,*  
студент

(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)

*E-mail: likashishatskaya@gmail.com*

*Dmitrii Vladimirovich Grinik,*  
student  
*Valeria Sergeevna Mitrofanova,*  
student

*Anzhelika Vladimirovna Shishatskaya,*  
student

(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)

*E-mail: likashishatskaya@gmail.com*

**КРИТЕРИИ ГЛОБАЛЬНОЙ АСИМПТОТИКИ  
СИСТЕМ НЕПРЯМОГО УПРАВЛЕНИЯ  
С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ НЕЛИНЕЙНОСТЯМИ**

**CRITERIA FOR GRADIENT-LIKE BEHAVIOR  
OF INDIRECT CONTROL SYSTEMS  
WITH PERIODIC NONLINEARITIES**

Рассматриваются системы управления, описываемые интегро-дифференциальными уравнениями Вольтерра с периодическими нелинейными функциями и обладающие счетным множеством положений равновесия. Методом априорных интегральных оценок В. М. Попова устанавливаются частотно-алгебраические условия стремления любого решения уравнения к какому-либо положению равновесия при стремлении аргумента-времени к бесконечности. Используются типы функционалов Попова, специально разработанные для периодических нелинейностей. Показано, что частотно-алгебраические критерии могут быть распространены на системы с малым параметром при старшей производной, а также на системы с ограниченным внешним воздействием. Полученные результаты дают эффективные оценки областей устойчивости в пространстве параметров систем синхронизации с запаздывающим аргументом.

*Ключевые слова:* системы фазовой синхронизации, интегро-дифференциальные уравнения Вольтерра, метод априорных интегральных оценок, глобальная асимптотическая устойчивость, метод нелокального сведения.

This paper considers the control systems, which have infinite set of equilibria and are described by integro-differential Volterra equations with periodic nonlinear functions. By Popov method of a priori integral indices frequency-algebraic conditions for the convergence of any solution to a certain equilibrium are estab-

lished. Special types of Popov functionals elaborated for periodic nonlinearities are used. The article demonstrates that the frequency-algebraic criteria can be extended to systems with small parameter at the highest derivative as well as to systems with bounded external disturbances. The criteria give effective estimates for stability regions in the space of parameters for synchronization systems with time-delay.

*Keywords:* phase synchronization system, integro-differential Volterra equations, method of a priori integral indices, gradient-like behavior, nonlocal reduction method.

Статья посвящена исследованию асимптотического поведения систем управления с периодическими нелинейностями и неединственным положением равновесия. Такие системы могут описываться как обыкновенными дифференциальными уравнениями, так и уравнениями с запаздывающим аргументом. Они могут содержать звенья, описываемые уравнениями в частных производных. Их математическое описание в общем виде может быть представлено интегро-дифференциальным уравнением Вольтерра:

$$\sigma(t) = b(t) + \rho(\varphi(t-h)) - \int_0^t \gamma(t-\tau)\varphi(\sigma(\tau))d\tau \cdot (t > 0), \quad (1)$$

где  $h \geq 0, \rho \in R; \varphi: R \rightarrow R; \gamma, b: [0, +\infty) \rightarrow R$ .

Предполагается, что выполнены условия:

1) функция  $b(t)$  непрерывна, функция  $\gamma(t)$  кусочно-непрерывна;

2)  $\gamma(t)e^{rt}, b(t)e^{rt} \in L_2[0, +\infty), (r > 0)$ ;

3) функция  $\varphi(\sigma)$  непрерывно дифференцируема,  $\Delta$  – периодична, имеет два нуля на периоде.

Уравнения типа (1) являются уравнениями так называемого «непрямого управления», так как выражают связь между входом  $\varphi$  и производной выхода  $\sigma$ . Системы непрямого управления с периодической нелинейностью часто называют системами синхронизации или маятниковыми системами, так как именно такими уравнениями описываются колебания математического маятника и переходные процессы в системах фазовой синхронизации. Уравнениями типа (1) описываются также системы дальней связи, электрические и вибрационные машины, биологические системы.

Системы синхронизации (1) обладают множеством положений равновесия. Ими являются нули функции  $\varphi$ . Положения равновесия

могут быть как устойчивыми в малом, так и неустойчивыми. Но для систем синхронизации устойчивость отдельных положений равновесия неважна. Важно, как ведет себя система в целом. Основная математическая задача, решаемая в связи с системами синхронизации – это стремление любого решения уравнения (1) к какому-либо положению равновесия. Такое поведение системы называется глобальной асимптотической устойчивостью или глобальной асимптотикой (*gradient-like behavior*).

Начало изучения устойчивости систем синхронизации восходит к 1933 г., когда вышла в свет статья [1], посвященная уравнению математического маятника:

$$\ddot{\sigma} + a\dot{\sigma} + \varphi(\sigma) = 0 \cdot (a > 0); \quad (2)$$

$$\varphi(\sigma) = \sin \sigma - \beta \cdot (\beta \in (0, 1)). \quad (3)$$

Уравнению (2) посвящено много работ (подробную библиографию см. в [2]). Оно было исчерпывающе изучено к началу 70-х гг. XX в.

За изучением уравнения (2) последовало изучение многомерных систем:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = Ax + b\varphi(\sigma), \\ \dot{\sigma} = c^T x + \rho\varphi(\sigma). \end{cases} \quad (A \in R^{n \times n}; b, c \in R^n, x = x(t) \in R^n). \quad (4)$$

Применялись численные, качественно-численные, качественные методы. Среди последних ведущее место занял прямой метод Ляпунова. Но оказалось, что стандартные функции Ляпунова вида «квадратичная форма плюс интеграл от нелинейности»

$$V(x) = x^T Hx + \chi \int_0^{\sigma} \varphi(\zeta) d\zeta \quad (H^T = H \in R^{n \times n}, \chi \in R) \quad (5)$$

не дают результата для систем синхронизации. Потребовались новые типы ляпуновских функций.

Было предложено два новых класса функций Ляпунова, специально предназначенных для систем синхронизации. Первый класс

представляет собой функцию (5), в которой нелинейность  $\varphi(\sigma)$  заменяется на нелинейность  $\psi$  с нулевым интегральным средним на периоде:

$$V(x) = x^T Hx + v \int_0^{\sigma} \psi(\sigma) d\sigma; \quad (6)$$

$$\psi(\sigma) = \varphi(\sigma) - v \frac{\int_0^{\Delta} \varphi(\sigma) d\sigma}{\int_0^{\Delta} |\varphi(\sigma) d\sigma|}. \quad (7)$$

Этот класс был предложен в статье [3] для систем третьего порядка и распространен на системы произвольного порядка в монографии [4]. Переход к новой нелинейности наложил на функцию Ляпунова дополнительные алгебраические условия.

В монографии [4] был предложен еще один класс функций Ляпунова для систем (4). Функции Ляпунова этого класса содержат в своем составе траектории устойчивой системы синхронизации второго порядка

$$\begin{cases} \dot{z} = -az - \varphi(\sigma) \\ \dot{\sigma} = z \end{cases} \quad (a > 0). \quad (8)$$

Система (8) эквивалентна уравнению

$$F \frac{dF}{d\sigma} + aF + \varphi(\sigma) = 0 \quad (F(\sigma) = \dot{\sigma} = z). \quad (9)$$

Оно имеет решения  $F_k(\sigma)$  обладающие свойствами

$$\begin{aligned} F_k(\sigma_2 + \Delta k) &= 0; F_k(\sigma) \neq 0, \\ \sigma &\neq \sigma_2 + \Delta k; F_k(\sigma) \xrightarrow{\sigma \rightarrow \pm\infty} \pm\infty, \end{aligned}$$

где  $\sigma_2$  – неустойчивый нуль функции  $\varphi(\sigma)$ . Эти решения и вводятся в состав функций Ляпунова:

$$V(x) = x \cdot Hx - \frac{1}{2} F_k^2(\sigma). \quad (10)$$

К стандартным требованиям к функциям Ляпунова добавляется требование глобальной асимптотики системы (8).

Оба класса функций Ляпунова позволяют получать эффективные оценки области устойчивости в пространстве параметров системы.

От многомерных систем (5) изучение устойчивости систем перешло к бесконечномерным системам, описываемым уравнением (1). Устойчивость интегральных и интегро-дифференциальных уравнений Вольтерра, как правило, изучают методом априорных интегральных оценок, с помощью функционалов Попова [5]. Однако стандартные функционалы Попова оказались нерезультативными для систем синхронизации. Они были модифицированы теми же двумя приемами, какими были модифицированы функции Ляпунова.

Введем в рассмотрение передаточную функцию

$$K(p) = -\rho e^{-ph} + \int_0^{\infty} \gamma(t) e^{-pt} dt \cdot (p \in C)$$

и функцию

$$\pi(p) \equiv \operatorname{Re} \left\{ \chi K(p) - \varepsilon |K(p)|^2 - \tau (K(p) + \alpha_1^{-1} p) (K(p) + \alpha_2^{-1} p) \right\},$$

где (\*) – комплексное сопряжение.

Пусть  $\mu_1 \leq \varphi'(\sigma) \leq \mu_2$ , ( $\mu_1 \mu_2 < 0$ ).

*Теорема 1* [6]. Пусть существуют такие числа  $\chi, \varepsilon, \delta, \tau > 0$ ;  $\alpha_1 \leq \mu_1$ ;  $\alpha_2 \leq \mu_2$ , что выполнены условия

$$\begin{aligned} 1) \pi(i\omega) > \delta, \forall \omega \in R; \\ 2) 4\varepsilon\delta > \chi^2 v^2. \end{aligned} \tag{11}$$

Тогда (1) – глобально асимптотически устойчиво.

*Теорема 2* [6]. Пусть существуют такие числа  $\chi, \varepsilon, \delta > 0$ ;  $0 < \lambda < r$ ;  $\alpha_1 \leq \mu_1$ ;  $\alpha_2 \geq \mu_2$ , что выполнены условия

$$\begin{aligned} 1) \pi(i\omega - \lambda) \geq 0, \forall \omega \in R, \\ 2) \text{ все решения уравнения } \ddot{\sigma} + 2\sqrt{\lambda\varepsilon\delta} + \varphi(\sigma) = 0 \text{ ограничены} \end{aligned} \tag{12}$$

при  $t \in [0; +\infty)$ .

Тогда все решения (1) ограничены при  $t \in [0; +\infty)$ .

Теоремы 1 и 2 дают хорошие оценки истинных областей устойчивости в пространстве параметров системы, что проверено на примерах уравнений синхронизации с запаздыванием.

Идеи теорем 1 и 2 могут быть применены в целях решения более общих задач. В данной статье приводятся два таких обобщения.

1. *Устойчивость сингулярно-возмущенных систем синхронизации*

Рассматривается уравнение с положительным параметром  $\mu$ :

$$\mu \ddot{\sigma} + \dot{\sigma} = b(t) + \varphi(\sigma(t-h)) - \int_0^t \gamma(t-\tau)\varphi(\sigma(\tau))d\tau. \quad (13)$$

*Теорема 3.* Пусть выполнены все условия теоремы 2. Тогда существует такое число  $\mu_0$ , что для  $\mu < \mu_0$  все решения уравнения (13) ограничены при  $t \in [0; +\infty)$ .

*Теорема 4.* Пусть выполнены все условия теоремы 1. Тогда существует такое число  $\mu_0$ , что для  $\mu < \mu_0$  уравнение (13) глобально асимптотически устойчиво.

2. *Устойчивость систем синхронизации с внешним воздействием*

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}(t) = b(t) + \rho[\varphi(\sigma(t-h)) + g(t-h)] - \\ - \int_0^t \gamma(t-\tau)(\varphi(\sigma(\tau)) + g(\tau))d\tau. \end{aligned} \quad (14)$$

*Теорема 5.* Пусть  $g(t)$  ограничена и непрерывно дифференцируема и существуют такие числа  $\varepsilon > 0$ ;  $\lambda \in (0, r)$ ;  $\gamma_1, \gamma_2$ , что выполнены условия:

- 1) функции  $\varphi(\sigma) + \gamma_i (i = 1, 2)$  имеют два простых нуля на  $[0, \Delta)$ ;
- 2)  $\operatorname{Re} \left\{ K(i\omega - \lambda) - \varepsilon |K(i\omega - \lambda)|^2 \right\} \geq 0, \forall \omega \in R$ ;

3) все решения уравнений  $\ddot{\sigma} + 2\sqrt{\lambda\varepsilon}\dot{\sigma} + \varphi(\sigma) = 0 (i = 1, 2)$  ограничены при  $t \in [0; +\infty)$ ;

$$4) \gamma_2 \leq g(t) + \frac{1}{2\lambda} \dot{g}(t) \leq \gamma_1, \forall t \in [0, +\infty);$$

$$5) \gamma_2 \leq g(0) \leq \gamma_1.$$

Тогда все решения уравнения (14) ограничены при  $t \in [0; +\infty)$ .

Если, кроме того,  $g(t) \rightarrow 0$  при  $t \rightarrow \infty$  и  $\pi(i\omega) > \delta$  для любых  $\omega \in R$  ( $\delta > 0, \tau > 0$ ), то уравнение (14) асимптотически устойчиво в целом.

**Литература**

1. *Tricomi F.* Integrazione di un'equazione differenziale presentatasi in elettrotecnica // *Annali della Scuola Normale Superiore di Pisa. Scienza Phys. e Math.* 1933. Vol. 2. No 2. P. 1–20.
2. *Барбашин Е. А., Табуева В. А.* Динамические системы с цилиндрическим фазовым пространством. М.: Наука, 1969. 302 с.
3. *Бакаев Ю. И., Гуж А. А.* Оптимальный прием сигналов частотной модуляции в условиях эффекта Доплера // *Радиотехника и электроника.* 1965. Т. 10. № 1. С. 175–196.
4. *Гелиг А. Х., Леонов Г. А., Якубович В. А.* Устойчивость нелинейных систем с неединственным состоянием равновесия. М.: Наука, 1978. 400 с.
5. *Попов В. М.* Об абсолютной устойчивости нелинейных систем автоматического регулирования // *Автоматика и телемеханика.* 1961. Т. 22. № 8. С. 961–979.
6. *Leonov G. A., Ponomarenko D. V., Smirnova V. B.* Frequency-Domain Methods for Nonlinear Analysis. Theory and Applications. Singapore–New Jersey–London–Hong Kong: World Scientific, 1996. 498 p.



УДК 697.3:004.942

*Кристина Валерьевна Клубникина,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: klubnikina.kristina@bk.ru*

*Kristina Valerievna Klubnikina,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: klubnikina.kristina@bk.ru*

## МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

### MATHEMATICAL METHODS FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF HEAT SUPPLY

Актуальность вопроса обеспечения надежности теплоснабжения постоянно растет, так как большинство застройщиков стараются различными способами выделиться среди конкурентов на рынке, а одним из главных преимуществ для всех потенциальных покупателей является бесперебойная подача необходимых средств повышения комфорта жилья: тепловой энергии, электричества и воды.

Рассматриваются математические методы оценки надежности системы теплоснабжения от индивидуальной котельной в Санкт-Петербурге, позволяющие прогнозировать вероятность непрерывной работы тепловой сети. Расчеты производятся в программном комплексе *ZuluThermo*.

*Ключевые слова:* надежность, математика, методы расчета, теплоснабжение, котельная.

Today, the relevance of the issue of reliability of heat supply is growing, as most developers are trying in various ways to “stand out” from competitors. One of the main advantages for all potential buyers is the uninterrupted supply of the necessary means of increasing comfort: heat energy, electricity and water supply.

The article considers mathematical methods for assessing the reliability of heating supply system from an individual boiler house in the city Saint Petersburg, which make possible to predict the probability of continuous operation of heating system (HS). All calculations are performed in the *ZuluThermo* software package.

*Keywords:* reliability, mathematics, calculation methods, heat supply, boiler house.

Существует общая методика определения параметров надежности, основанная на результатах компьютерного моделирования [1].

Определение параметров систем методом статических испытаний включает в себя следующий ряд этапов, перечень которых приведен на рис. 1.

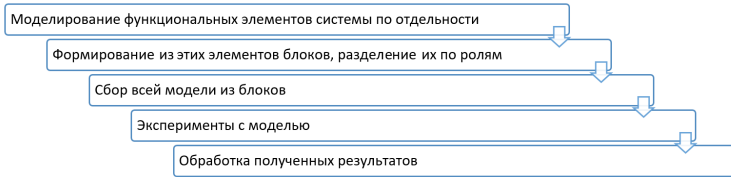


Рис. 1. Этапы определения параметров методом статических испытаний

Для проведения однократного эксперимента время работы всей системы теплоснабжения при последовательном подключении всех элементов определяется по следующей формуле, приведенной в [2]:

$$t_{line} = \min \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_N\}. \quad (1)$$

Вероятность безотказной работы теплоснабжения и интенсивность отказов можно определить по следующим зависимостям:

$$P_{line}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_i(t) \cdot \dots \cdot P_N(t); \quad (2)$$

$$\lambda_{line}(t) = \lambda_1(t) + \lambda_2(t) + \dots + \lambda_i(t) + \dots + \lambda_N(t), \quad (3)$$

где  $P_i(t)$  – вероятность безотказной работы,  $\lambda_i(t)$  – интенсивность отказов элементов (отдельных).

При параллельном подключении всех элементов действуют зависимости, приведенные на рис. 2. Интенсивность отказов считается аналогично последовательному подключению.

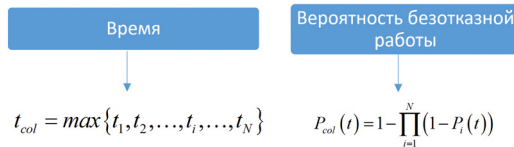


Рис. 2. Зависимости времени и вероятности безотказной работы при параллельном подключении

Для увеличения надежности следует отдавать предпочтение параллельному подключению, так как в таком случае происходит резервирование элементов системы. Большинство систем теплоснабжения имеют смешанный вариант соединения элементов между собой. Пример приведен на рис. 3.

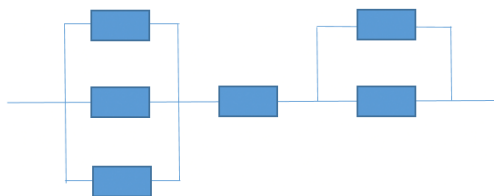


Рис. 3. Схема смешанного варианта подключения элементов

Рассмотрим пример расчета в программном комплексе *ZuluThermo* [3], позволяющем произвести множество расчетов по теплоснабжению: наладочный поверочный, расчет надежности тепловой сети, резерва и др. В данном случае производился расчет надежности ТС, расположенной по адресу ул. Лагоды в Санкт-Петербурге. Сеть состоит из 6 участков, источник – котельная. Трассировка сети приведена на рис. 4, взята из программы *ZuluGIS* [3].

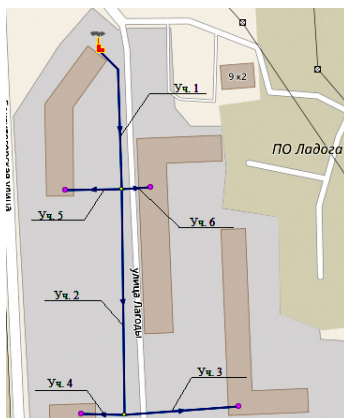


Рис. 4. Тепловая сеть

Расчеты производятся в соответствии с П18.2 «Определение показателей надежности потребителя, присоединенного к тепловой сети системы теплоснабжения» [4].

Приведем основные формулы из [5], по которым производится расчет.

Интенсивность отказов участков тепловой сети:

$$\lambda_i = \lambda_{\text{нач}} (0,1\tau_i^{\text{эксп}})^{\alpha_i - 1}, \quad (4)$$

где  $i$  – номер участка тепловой сети,  $\lambda_i$  – интенсивность отказов  $i$ -го участка тепловой сети, 1/км/год,  $\lambda_{\text{нач}}$  – интенсивность отказов теплопровода, соответствующая начальному периоду эксплуатации, 1/км/год,  $\tau_i^{\text{эксп}}$  – продолжительность эксплуатации участка, лет,  $\alpha_i$  – коэффициент, учитывающий продолжительность эксплуатации  $i$ -го участка теплопровода.

Коэффициент готовности определяется следующим образом:

$$K_j = p_0 + \sum_{f=F} (p_f), \quad (5)$$

где  $p_0$  – стационарная вероятность рабочего состояния тепловой сети,  $p_f$  – вероятность состояния тепловой сети, соответствующие отказу  $f$ -го участка.

Вероятность безотказного теплоснабжения потребителя:

$$P_j = \exp\left(-\left[p_0 \sum (\omega_f \tau_{j,f}^{\text{пав}})\right]\right), \quad (6)$$

где  $\tau_{j,f}^{\text{пав}}$  – повторяемость температуры наружного воздуха  $t^{\text{н.в}}$  ниже  $t_{j,f}^{\text{пав}}$ ,  $t_{j,f}^{\text{пав}}$  – температура наружного воздуха, при которой время восстановления  $f$ -го участка  $z_f^{\text{в}}$  равно временному резерву  $j$ -го потребителя, т. е. время снижения температуры воздуха внутри отапливаемого помещения  $j$ -го потребителя до минимально допустимого значения  $t_{j,\text{min}}^{\text{в}}$ ,  $\omega_f$  – поток отказов, 1/год,

$$\omega_i = \lambda_i L_i, \quad (7)$$

где  $L_i$  – протяженность  $i$ -го участка, км.

Для запуска расчета необходимо было ввести все требуемые параметры, характеризующие данную тепловую сеть.

В результате расчета получаем информацию по каждому участку в табличной форме. Пример приведен в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты расчета участка 1**

Параметр	Значение
Период эксплуатации, лет	20
Время восстановления, ч	17,548588
Интенсивность восстановления, 1/ч	0,056985
Интенсивность отказов, 1/(км/ч)	1,46E-05
Поток отказов, 1/ч	2,5E-06
Относительное кол. откл. нагрузки	0,9999513
Вероятность отказов	4,36E-05

Из приведенных выше данных можно сделать вывод, что данная система обладает высоким уровнем надежности, так как стационарная вероятность рабочего состояния сети составляет:  $0,999898 > 0,9$  – минимально допустимый показатель вероятности. Также были построены графики (рис. 5, 6) зависимости времени восстановления от количества подключаемых участков, к первому участку подключаются участки 2, 5 и 6, ко второму подключаются 3 и 4, а к 3 не происходит подключения – это последний участок главной магистрали и зависимости времени восстановления тепловой сети от диаметра трубопроводов ТС, соответственно. Из первого графика видно, что время восстановления увеличивается пропорционально количеству подключаемых участков. По второму графику также видна пропорциональная зависимость. Диаметр труб подбирается в соответствии с нагрузкой. Так как данная сеть подключается к 4 объектам, то диаметры небольшие, что уменьшает время восстановления, следовательно, выбор проектирования тепловой сети от собственной котельной оправдан и надежность ТС будет выше, чем при подключении к городской сети.

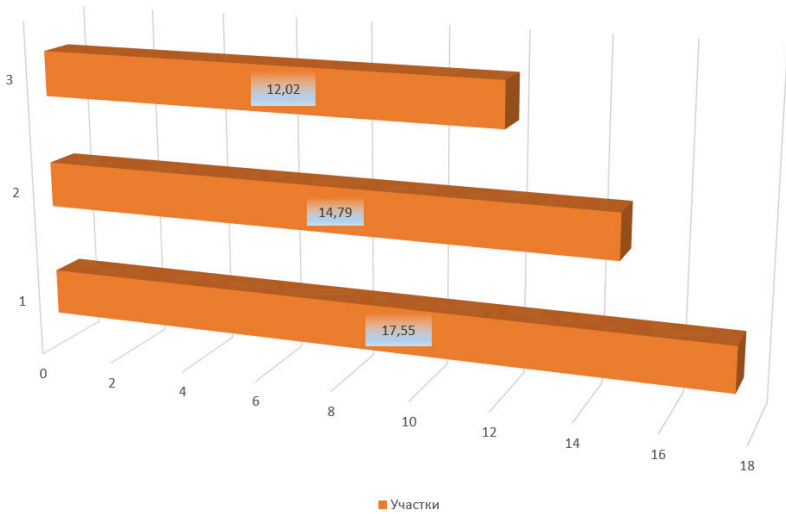


Рис. 5. Зависимость продолжительности восстановления ТС от количества подключаемых участков

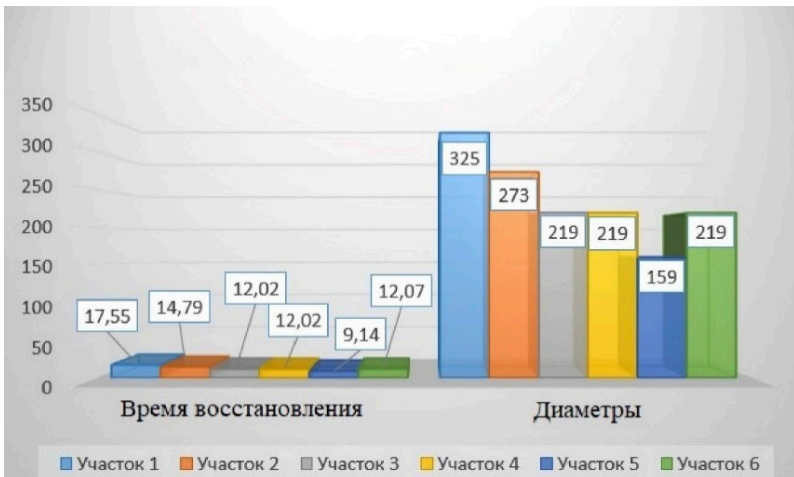


Рис. 6. Зависимость времени восстановления ТС от диаметра трубопровода

### **Заключение**

Для бесперебойной работы теплоснабжения и поддержки высокого уровня надежности поступления тепловой энергии потребителям необходимо производить рассмотренные в данной статье расчеты надежности и только на их основе принимать решение о выборе трассировки тепловой сети.

### **Литература**

1. *Коняхин И. А.* Методы и средства статистического моделирования ОЭС (анализ надежности): учеб. пособие. СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2005. 50 с.
2. *Задорожный В. Н.* Имитационное и статистическое моделирование: учеб. пособие. Омск: ОмГТУ, 2013. 136 с.
3. Политерм ZuluThermo. URL: <https://www.politerm.com/products/thermo/zuluthermo/> (дата обращения: 29.03.2021).
4. Об утверждении Методических указаний по разработке схем теплоснабжения: приказ министерства энергетики Рос. Федерации от 05.03.2019 № 212. URL: <https://base.garant.ru/72609692/> (дата обращения: 29.03.2021).
5. ZuluThermo: Руководство пользователя / Политерм. URL: <https://www.politerm.com/download/zulu/ZuluThermo.pdf> (дата обращения: 29.03.2021).

**УДК 517.22**

*Диана Рашидовна Шагиахметова,*  
студент  
*Аделина Венеровна Марданова,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: diana\_shagikhmetova@mail.ru,*  
*beepbeep\_richie@inbox.ru*

*Diana Rashidovna Shagiakhmetova,*  
student  
*Adelina Venerovna Mardanova,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: diana\_shagikhmetova@mail.ru,*  
*beepbeep\_richie@inbox.ru*

**ЗАДАЧИ НА ЭКСТРЕМУМ ФУНКЦИИ  
НЕСКОЛЬКИХ ПЕРЕМЕННЫХ.  
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ  
ФУНКЦИИ КОББА – ДУГЛАСА**

**EXTREME PROBLEMS OF FUNCTIONS  
OF SEVERAL VARIABLES. OPTIMIZING  
THE COBB – DOUGLAS PRODUCTION FUNCTION**

Предложено решение трех задач на условный экстремум производственной функции Кобба – Дугласа с убывающей отдачей. Первая задача с постоянным бюджетным ограничением является стандартной. При переменном инвестировании в ресурсы она сводится к исследованию на максимум в системе функций. Во второй задаче исследован случай положительной обратной связи, в третьей – отрицательной. Это позволяет анализировать результат увеличения или уменьшения вложенных ресурсов, благодаря чему можно понять выгодно ли повысить инвестирование или нужно его снизить, для того чтобы получить большую выгоду, а точнее прибыль.

*Ключевые слова:* функция Кобба – Дугласа, окаймленный гессисан, выпуск при увеличении закупок ресурсов, выпуск при уменьшении закупок ресурсов, прибыль.

The article proposes a solution to three problems for the conditional extremum of the Cobb – Douglas production function with diminishing returns. The first constant budget constraint task is standard. With variable investment in resources, the problem is reduced to researching the maximum in the system of functions. In the second problem, the case of positive feedback is investigated. In the third problem, the case of negative feedback is investigated. This allows to analyze the result of increasing or decreasing of invested resources. Due to this analysis, it is possible to



understand, whether it is profitable to increase investment or it needs to be reduced in order to get greater benefits, or rather, profit.

*Keywords:* Cobb – Douglas function, bordered Hessian, release with increasing purchases of resources, release with a decrease in resource purchases, profit.

Пусть производственная функция в стоимостном выражении имеет вид  $Z = x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}}$ , где  $x$  – количество единиц первого ресурса, а  $y$  – второго. Заданная функция Кобба – Дугласа отражает убывающую отдачу, поскольку  $\alpha + \beta = \frac{1}{3} + 0,5 = \frac{5}{6} < 1$ .

Пусть стоимость  $p_1$  единицы первого ресурса равна 10, а второго –  $p_2 = 5$  денежным единицам. Найдем максимальную прибыль и оптимальные размеры используемых ресурсов  $x$  и  $y$  в случае постоянного бюджетного ограничения  $I_0 = 540$ .

Производственная функция  $Z = 30x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}}$  определяет доход; издержки составляют  $10x + 5y$  и сохраняют постоянное значение, равное  $I_0 = 540$ ; прибыль определяется разностью между доходом и издержками. Тогда задача нахождения максимального дохода сводится к задаче на условный экстремум:

$$\begin{cases} Z = 30x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}} - 540 \rightarrow \max. \\ 10x + 5y = 540. \end{cases}$$

Для решения задачи составим функцию Лагранжа [1]:

$$L(x, y, \lambda) = (30x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}} - 540) + \lambda(10x + 5y - 540). \quad (1)$$

Применим необходимые условия экстремума к функции (1) [2]:

$$\begin{cases} L'_x = 10x^{-\frac{2}{3}}y^{\frac{1}{2}} + 10\lambda = 0; \\ L'_y = 15x^{\frac{1}{3}}y^{-\frac{1}{2}} + 5\lambda = 0; \\ L'_\lambda = 10x + 5y - 540 = 0 \end{cases}$$

и найдем стационарную точку  $M_0(x_0, y_0, \lambda_0) = M_0(21,6; 64,8; -1,037)$ .

Применим достаточные условия [3]. Для этого найдем частные производные второго порядка функции  $Z(x, y)$ , составим и вычислим определитель матрицы Гессе  $\Delta = H(z(x_0, y_0))$ :

$$\begin{cases} Z''_{xx} = -\frac{20}{3}x^{-\frac{5}{3}}y^{\frac{1}{2}}; \\ Z''_{xy} = 5x^{-\frac{2}{3}}y^{-\frac{1}{2}}; \\ Z''_{yy} = -\frac{15}{2}x^{\frac{1}{3}}y^{-\frac{3}{2}}. \end{cases}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} -\frac{20}{3}x_0^{-\frac{5}{3}}y_0^{\frac{1}{2}} & 5x_0^{-\frac{2}{3}}y_0^{-\frac{1}{2}} \\ 5x_0^{-\frac{2}{3}}y_0^{-\frac{1}{2}} & -5x_0^{\frac{1}{3}}y_0^{-\frac{3}{2}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} -0,32 & 0,08 \\ 0,08 & -0,04 \end{vmatrix} = 0,0064.$$

Так как  $\Delta = 0,0064 > 0$ , то экстремум существует, причем  $Z''_{xx}(x_0, y_0) = -0,32 < 0$ , следовательно, прибыль максимальна при  $x_0 = 21,6; y_0 = 64,8$  и составляет:

$$Z(21,6; 64,8) = 30 \cdot \sqrt[3]{21,6} \cdot \sqrt{64,8} - 540 \approx 132,57.$$

Рассмотрим теперь задачу, когда на закупку ресурсов закладывается переменный бюджет, в котором фиксированный бюджет  $I_0$

является частью переменного бюджета. Вторая часть бюджета  $kZ$ , позволяет инвестировать в бюджет ( $k > 0$ ) или уменьшать бюджет ( $k < 0$ ):  $I = I_0 + kZ$ , где  $k < 1$ . Тогда задача на условный экстремум с обратной связью формируется следующим образом:

$$\begin{cases} Z = f(x, y) - I_0 \rightarrow \max; \\ p_1x + p_2y = I_0 + kZ, \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} Z = f(x, y) - I_0 \rightarrow \max; \\ Z = \frac{p_1x + p_2y - I_0}{k}, \end{cases}$$

т. е. сводится к нахождению максимума прибыли  $Z$  в системе функций [4].

Решим сначала задачу при  $k = 0,5 > 0$ . Тогда  $I = 540 + \frac{1}{2}Z$  и задача формулируется так: требуется найти максимальную прибыль  $Z = 30x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}} - 540$  при условии  $10x + 5y = 540 + \frac{1}{2}Z$ . Система целевой функции и условия имеет вид:

$$\begin{cases} Z = 30x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}} - 540 \rightarrow \max; \\ 10x + 5y = 540 + \frac{1}{2}Z \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} Z = 30x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}} - 540 \rightarrow \max; \\ Z = 20x + 10y - 540. \end{cases}$$

Составим функцию Лагранжа:

$$\begin{aligned} L(x, y, \lambda) = & \lambda \left( 30x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}} - 540 \right) + \\ & + (1 - \lambda)(20x + 10y - 1080) \end{aligned} \quad (2)$$

и применим необходимые условия экстремума. Вычислим частные производные первого порядка функции Лагранжа (2) и приравняем их к нулю [5]:

$$\begin{cases} L'_x = 10\lambda x^{-\frac{2}{3}} y^{\frac{1}{2}} + (1-\lambda)20 = 0; \\ L'_y = 15\lambda x^{\frac{1}{3}} y^{-\frac{1}{2}} + 10(1-\lambda) = 0; \\ L'_\lambda = 30x^{\frac{1}{3}} y^{\frac{1}{2}} - 540 - (20x + 10y - 1080) = 0. \end{cases}$$

Из полученной системы уравнений найдем стационарную точку  $M_0(27; 81; -2)$ . Затем вычислим частные производные второго порядка функции Лагранжа (2) и построим окаймленный гессиан:

$$|H| = \begin{vmatrix} 0 & 10x^{-\frac{2}{3}} y^{\frac{1}{2}} - 20 & 15x^{\frac{1}{3}} y^{-\frac{1}{2}} - 10 \\ 10x^{-\frac{2}{3}} y^{\frac{1}{2}} - 20 & -\frac{20}{3}\lambda x^{-\frac{5}{3}} y^{\frac{1}{2}} & 5\lambda x^{-\frac{2}{3}} y^{-\frac{1}{2}} \\ 15x^{\frac{1}{3}} y^{-\frac{1}{2}} - 10 & 5\lambda x^{-\frac{2}{3}} y^{-\frac{1}{2}} & -\frac{15}{2}\lambda x^{\frac{1}{3}} y^{-\frac{3}{2}} \end{vmatrix}.$$

Найдем значение окаймленного гессиана в точке  $M_0(27; 81; -2)$ :

$$|H(M_0)| = \begin{vmatrix} 0 & -10 & -5 \\ -10 & -\frac{10}{3^4} & \frac{10}{3^4} \\ -5 & \frac{10}{3^4} & -\frac{5}{3^4} \end{vmatrix} = \frac{1750}{81} \approx 21,604.$$

Так как  $|H(M_0)| \approx 21,604 > 0$ , то в точке  $M_0$  достигается максимум и прибыль принимает значение

$$Z(27; 81) = 30 \cdot \sqrt[3]{27} \cdot \sqrt{81} - 540 = 270.$$

Сравнивая этот результат с результатом предыдущей задачи, мы видим, что прибыль увеличилась с увеличением бюджетного финансирования (при наличии коэффициента положительной обратной связи  $k = \frac{1}{2} > 0$ ). Таким образом увеличивать закупки выгодно.

Задачу при  $k = -0,5 < 0$  решим аналогично предыдущей, поскольку меняется только знак коэффициента  $k$  в условии.

Тогда

$$\begin{cases} Z = 30x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}} - 540 \rightarrow \max; \\ 10x + 5y = 540 - \frac{1}{2}Z \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} Z = 30x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}} - 540 \rightarrow \max; \\ Z = 1080 - 20x - 10y. \end{cases}$$

Функция Лагранжа имеет вид

$$L(x, y, \lambda) = \lambda \left( 30x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}} - 540 \right) + (1 - \lambda)(1080 - 20x - 10y). \quad (3)$$

Составим систему необходимых условий экстремума функции (3):

$$\begin{cases} L'_x = 10\lambda x^{-\frac{2}{3}}y^{\frac{1}{2}} + (1 - \lambda)20 = 0; \\ L'_y = 15\lambda x^{\frac{1}{3}}y^{-\frac{1}{2}} + 10(1 - \lambda) = 0; \\ L'_\lambda = 30x^{\frac{1}{3}}y^{\frac{1}{2}} - 540 - (1080 - 20x - 10y) = 0. \end{cases}$$

Решая эту систему, определим стационарную точку  $M_0(19,86; 59,58; 2,11)$ .

Найдем частные производные второго порядка функции Лагранжа (3), построим и вычислим окаймленный гессиан в точке  $M_0$ :

$$|H(M_0)| = \begin{vmatrix} 0 & -16,11 & -4,73 \\ -16,11 & -0,74 & 0,186 \\ -4,73 & 0,186 & -0,09 \end{vmatrix} \approx 69,27 > 0.$$

Следовательно, в точке  $M_0(19,86; 59,58; 2,11)$  достигается максимум прибыли:

$$Z(19,86; 59,58) = 30 \cdot \sqrt[3]{19,86} \cdot \sqrt{59,58} - 540 \approx 87,057.$$

Таким образом, сокращение финансирования (когда коэффициент обратной связи  $k$  отрицательный) привело к уменьшению прибыли даже по сравнению со случаем фиксированного бюджета, а значит, делаем вывод, что уменьшение закупок будет невыгодным решением в отличие от их увеличения. Однако в экономике отрицательную обратную связь используют для стабилизации экономических отношений, чтобы восстановить баланс спроса и предложения и равновесие цен.

#### Литература

1. *Осипов А. В.* Лекции по высшей математике: учеб. пособие. СПб.: Изд-во «Лань», 2014. 320 с.
2. *Михайлова И. Г.* Дифференциальное исчисление и исследование функций многих переменных. СПб.: ВШЭ, 2014. 103 с.
3. *Ивочкина Н. М., Клебанов Л. Б., Морозова Л. Е.* Функция нескольких аргументов: учеб. пособие / под ред. Е. К. Ершова. СПб.: СПбГАСУ, 2013. 75 с.
4. *Малугин В. А.* Условный экстремум производственной функции с бюджетным ограничением // Вестн. Моск. Ун-та. Серия 6: Экономика. Отраслевая и региональная экономика. 2010. № 5. С. 40–57.
5. *Натансон И. П.* Краткий курс высшей математики. СПб.: Лань, 1999. 736 с.

УДК 691.714

*Даниил Игоревич Добин,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: dobin777@mail.ru*

*Daniil Igorevich Dobin,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: dobin777@mail.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ОТ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР**

### **RESEARCH OF THE DEPENDENCE OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF STRUCTURAL STEEL ON LOW TEMPERATURES**

Экономика современной России серьезно зависит от сырьевой промышленности, в частности от поставок газа на внешний и внутренний рынки. В последние годы появляются все новые предприятия по сжижению и транспортировке газа в арктических регионах. Требования к освоению, диктуемые суровыми районами Крайнего Севера, выводят промышленный комплекс на новый качественный уровень, поскольку возведение и эксплуатация предприятий осуществляются на территориях, где температура воздуха может достигать  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а относительная влажность – 80–90 % и более. Следовательно, необходима разработка усовершенствованных строительных материалов, характеризующихся высокой несущей способностью и простотой монтажа в условиях экстремально низких температур, а также сравнительно небольшим весом (для экономной транспортировки). Таким требованиям удовлетворяют металлические конструкции. Поэтому именно исследованию свойств стали в условиях низких температур посвящена данная статья.

*Ключевые слова:* сталь, хладноломкость, ударная вязкость, низкая температура, свариваемость, разрушения.

Today, the Russian economy is heavily dependent on the raw materials industry, including gas supplies to the external and internal markets. In recent years, more and more new enterprises for the liquefaction and transportation of gas have begun to appear in the Arctic regions. The requirements for the development of the harsh Arctic region bring the industrial complex to a new quality level, because the construction and operation of enterprises is carried out in areas where the air temperature can reach  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , and the relative humidity can reach 80–90 % and more.

Consequently, it requires development of improved building materials that have high load-bearing capacity and are easily assembled in extremely low temperatures, as well as have relatively low weight for economical transportation. These requirements are met by metal structures. Therefore, this article is devoted to the study of the properties of steel at low temperatures.

*Keywords:* steel, cold brittleness, impact strength, low temperature, weldability, fracture.

Впервые явление хладноломкости (хрупкого разрушения) под действием низких температур стало обсуждаться с началом крупномасштабного строительства железных дорог в конце XIX в., как отмечает Ю. П. Солнцев [1]. Уже в те годы проблема хладноломкости металлов была признана и появилась острая необходимость в исследовании причин подобного поведения стали и разработке методов по ее нивелированию.

Также в конце XIX в. распространился такой способ получения неразъемных соединений, как сварка. Зафиксированы случаи выхода из строя сварных железнодорожных мостов, нефтерезервуаров, газопроводов, а аналитические данные позволяли судить о том, что около 50 % разрушений имело начало в дефектных местах сварных швов [1]. При этом разрушения происходили чаще всего в высоких широтах в зимнее время года при совместном действии низкой температуры и ветра. Стоит отметить, что особое внимание к проблеме хладноломкости привлекло развитие арктических и антарктических районов.

**Актуальность работы** обусловлена тем, что сегодня широкое развитие химического, нефтехимического производства, освоение новых газовых месторождений, широкомасштабная транспортировка, переработка и хранение различных газов диктует необходимость использования металлических материалов, способных работать при низкой (криогенной) температуре. Также экономически выгодным является хранение и транспортировка газа в сжиженном состоянии, что позволяет значительно уменьшить его объемы и снизить металлоемкость резервуаров в 1,5–2 раза. Для хранения сжиженного газа используются изотермические резервуары, внутренняя эксплуатационная температура которых находится в диапазоне от  $-104\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для этилена) до  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  (для азота) [2].



Исходя из вышесказанного, используемые в подобных конструкциях материалы должны обладать рядом характеристик: высокой ударной вязкостью, хорошей свариваемостью, необходимой прочностью и обрабатываемостью. Материалы в процессе изготовления конструкции и эксплуатации не должны менять своих свойств и быть экономически обоснованными [2].

Авторы статьи [3] подчеркивают, что хоть и необходимость в исследовании хладноломкости материалов появилась больше века назад, физико-механические причины и механизмы формирования состояния хладноломкости и хрупкого разрушения до сих пор недостаточно определены и нуждаются в исследовании. Авторы статьи [4] также отмечают, что в настоящее время нет единого подхода к объяснению возникновения хладноломкости металлов при снижении температуры.

Исследование основано на значимой **проблеме** взаимозависимости снижения температуры с увеличением хладноломкости сталей и сварных швов.

**Цель** данной работы – теоретическое исследование наиболее подходящих сталей для применения их в условиях низких температур.

Для ее достижения требуется решить следующие **задачи**:

1) сравнить и проанализировать зависимости ударной вязкости от температуры наиболее распространенных строительных сталей 09Г2С и ВСтЗсп5;

2) сравнить и проанализировать зависимости ударной вязкости от температуры основного материала данных сталей и материала сварного шва.

Сталь 09Г2С является конструкционной низколегированной сталью, широко применяется при производстве металлопроката. Сталь ВСтЗсп5 является углеродистой сталью обыкновенного качества, часто применяемой в изготовлении фасонного и листового проката.

В данной работе было проведено сравнение сталей 09Г2С и ВСтЗсп5. На графике (рис. 2) представлено изменение ударной вязкости (*KCV*) основного материала от температуры. Параметр ударной вязкости был выбран в качестве основного исследуемого параметра, так как именно он позволяет оценить сопротивление стали хрупкому разрушению. Известно, что хрупкое разрушение является наиболее опасным из всех типов разрушений. При хруп-

ком разрушении деформации нарастают мгновенно, и остановить их развитие, в отличие от случая пластического разрушения, почти невозможно. Именно поэтому при проектировании ответственных сооружений приходится предъявлять более высокие требования по ударной вязкости, а особенно при эксплуатации этих сооружений в условиях экстремально низких температур, где поведение стали может резко отличаться от поведения в нормальных условиях.

В исследовании [5] группой авторов испытывались образцы с концентратором напряжения вида V в диапазоне температур от +20 до -60 °С. Образцы испытывались на маятниковом копре МК-300 (рис. 1), соответствующем требованиям ГОСТ 10708–82.



Рис. 1. Маятниковый копер МК-300

На рис. 2 представлен график зависимости ударной вязкости от температуры основного материала, который выполнен по данным, опубликованным в [5, 6]. По графику видно, что уже в первом испытании при температуре +20 °С разница показаний  $KCV$  между сталями составляет 74 %. При понижении температуры у стали ВСтЗсп5 значения постепенно убывают, достигая предельных значений при температуре -60 °С.

У стали 09Г2С значения показателя ударной вязкости  $KCV$  снижаются с уменьшением температуры не так резко, как у ВСтЗсп5, достигая предельных значений при температуре -60 °С.

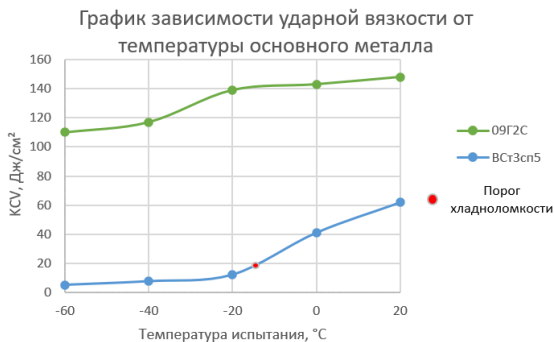


Рис. 2. Зависимость ударной вязкости от температуры основного металла

Примем за порог хладноломкости температуру, при которой снижение  $KCV$  происходит на 50 %. Тогда для ВСт3сп5 порог хладноломкости наступит при  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а сталь 09Г2С не достигнет порога даже при  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Очевидно, что сталь 09Г2С имеет значительное преимущество перед ВСт3сп5 по показателю ударной вязкости. Из вышесказанного следует, что при строительстве в условиях низких температур необходимо использование стали именно 09Г2С.

Основной проблемой при ручной электродуговой сварке является получение металла шва с такой же хладостойкостью, что и у основного металла [2]. По результатам исследования [7] В. В. Коновалова, наибольшую опасность при сваривании представляют холодные трещины. Поэтому надежность сварного шва может оказаться ниже, чем у основного материала.

Составом авторов статьи [6] были проведены опыты со сварными пробами из новой листовой стали 09Г2С толщиной 6 мм. Сварка проб производилась ручным дуговым способом с помощью сварочного источника ФЭБ-315 МАГМА, а в качестве сварного электрода использовался *LB-52U* диаметром 3,2 мм для корневого шва и диаметром 4 мм для облицовочного шва. Образцы испытывались на инструментированном маятниковом копре *Amsler RKP450* (рис. 3), соответствующем требованиям ГОСТ 10708–82.

На рис. 4 представлен график зависимости ударной вязкости от температуры основного металла и металла сварного шва стали 09Г2С, который выполнен по данным, опубликованным в [6].



Рис. 3. Инструментированный маятниковый копер *Amsler RKP450*

График зависимости ударной вязкости от температуры основного металла и металла сварного шва стали 09Г2С

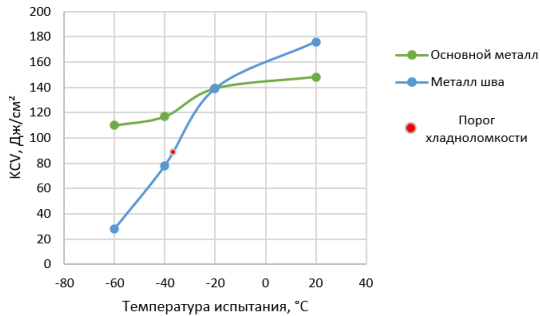


Рис. 4. Зависимость ударной вязкости от температуры основного металла и металла сварного шва

Анализируя график, заметим, что показатель  $KCV$  сварного шва при  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  на 16 % выше, чем у основного металла. При температуре  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ударная вязкость металлов одинакова, однако при снижении температуры показатель  $KCV$  шва начинает резко уменьшаться и при  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$  разница между показаниями металла шва и основного металла составляет около 75 %.

Здесь также примем за порог хладноломкости температуру, при которой снижение показателя *KCV* происходит на 50 %. Как уже известно, сталь 09Г2С порога не достигнет, а металл шва достигает порога хладноломкости при  $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В ходе данного исследования при сравнении сталей 09Г2С и ВСтЗсп5 по зависимости ударной вязкости от температуры было выявлено, что сталь ВСтЗсп5 непригодна для использования в условиях отрицательных температур. Также был проведен анализ зависимости ударной вязкости от температуры основного металла стали 09Г2С и зоны сварного шва.

Исследование позволило сделать **вывод**, что при отрицательных температурах целесообразно использование низколегированной стали 09Г2С, по сравнению с распространенной ВСтЗсп5. А также было выявлено, что показатель ударной вязкости *KCV* материала шва из электрода *LB-52U* ниже, чем у сварных проб из стали 09Г2С толщиной 6 мм при температуре ниже  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### Литература

1. Солнцев Ю. П. *Материаловедение*. СПб: ХИМИЗДАТ, 2017. 783 с.
2. Кузнецов В. В. *Металлические конструкции*. Т.1. М.: АСВ, 1998. 576 с.
3. Чернов В. М., Кардашев Б. К., Мороз К. А. Хладноломкость и разрушение металлов с разными кристаллическими решетками – дислокационные механизмы // *Журнал технической физики*. 2016. № 7. С. 57–64.
4. Кривцов Ю. С., Горобченко С. Л., Гуляев Б. Б. О хладноломкости литых сталей и сплавов // *Трубопроводная арматура и оборудование*. 2013. 09 августа. URL: <http://www.valverus.info/popular/2941-o-hladnolomkosti-lityh-staley-i-splavov.html> (дата обращения: 21.04.2021).
5. Тиньгаева С. А. Учет влияния деформационного старения стали на склонность к хрупкому разрушению строительных конструкций: квалификационная научная работа магистра. Челябинск: ЮУрГУ, АС-241, 2016. 92 с.
6. Санников И. И., Коврова Д. Ф., Устинов Е. П. Исследование ударной вязкости конструкционных сталей и сварных соединений, эксплуатирующихся в условиях крайнего севера // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. № 6(37). Часть 1. С. 71–74.
7. Коновалов А. В. Методика оптимизации технологии многослойной сварки на основе математической модели формирования показателей свариваемости. // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана*. Сер. «Машиностроение». 2005. № 2. С. 109.

УДК 69.058.2

*Михаил Олегович Лобовский,*  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: lobovskiy.m@mail.ru*

*Mikhail Olegovich Lobovsky,*  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: lobovskiy.m@mail.ru*

## **МЕХАНИЧЕСКИЙ СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И УСИЛИЙ С ПОМОЩЬЮ МИКРОМЕТРА**

### **MECHANICAL METHOD FOR MEASURING DEFORMATIONS AND FORCES WITH THE MICROMETER**

На всех строящихся зданиях, не важно – уникальные это сооружения или нет, должен проводиться мониторинг напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций. Но поскольку в наши дни контроль НДС – это довольно дорогостоящий процесс, при строительстве зданий нормального уровня ответственности от него зачастую отказываются. Предлагаемый в статье способ измерения деформаций и усилий с помощью микрометра на сегодняшний момент значительно дешевле существующих методов контроля. Он показал высокую сходимость значений усилий при лабораторном испытании и был опробован в реальных условиях строительства, где помог доказать, что значения проектных и фактических усилий, возникающих в элементе, сильно различаются. По результатам проведенных экспериментов данный способ подтвердил свою эффективность в качестве недорогого и высокоточного метода мониторинга НДС конструкций.

*Ключевые слова:* напряженно-деформированное состояние, усилия, микрометр, измерения, марки, лабораторные испытания, полевые испытания.

At present, all buildings under construction, whether the structure is unique or not, should be monitored for the stress-strain state of structures. But due to the fact that today control of the stress-strain state is a rather expensive process, it is often omitted during the construction of buildings with a default importance level. The method proposed by the authors for measuring deformations and forces using a micrometer is currently much cheaper than existing control methods. Having shown a high convergence of the values of forces in laboratory tests, this method was tested in existing conditions of construction, where it helped to prove that the values of

the design and actual forces arising in the element are very different. Based on the results of the experiments, the method for measuring deformations and forces using a micrometer has confirmed its effectiveness as an inexpensive and high-precision method for monitoring the stress-strain state of structures.

*Keywords:* stress-strain state, forces, micrometer, measurements, marks, laboratory tests, field tests.

В настоящее время при строительстве, а также в процессе эксплуатации зданий и сооружений контроль напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций [1], в основном, ведется на уникальных объектах. Отсутствие своевременного контроля деформаций и усилий в несущих элементах зданий, нормального уровня ответственности, нередко приводит к тому, что строящийся объект может быть не введен в эксплуатацию, а действующее здание может быть признано аварийным. В наши дни для анализа НДС строительных конструкций распространены оптические, акустические, электромагнитные, тензорезистивные и др. методы контроля [2–4], которые обладают такими достоинствами как: цифровое представление данных, удобство и скорость считывания информации, а также возможность её дистанционной передачи. Однако данные методы обладают и недостатками, которые главным образом сказываются на отсутствии контроля НДС конструкций в неуникальных зданиях. К данным недостаткам относятся высокая стоимость оборудования, а также для проведения работ по контролю требуются высококвалифицированные рабочие.

Авторами данной статьи был придуман новый механический способ [5] измерения деформаций и усилий с применением микрометра, который позволит проводить анализ НДС строительных конструкций с минимальными затратами сил и средств. Для достижения данной цели, авторами были решены следующие задачи:

- разработана конструкция измерительной марки, обеспечивающая плотный контакт между самой маркой и наконечниками микрометра;
- в качестве измерительного прибора был выбран микрометр с коническими (точечными) наконечниками; данный тип прибора и конструкция измерительной марки позволяют снимать значения

деформаций в одной и той же точке при каждой ступени нагружения, что позволяет значительно снизить величину погрешности измерений;

- определена погрешность прибора (микрометра) и погрешность самого метода измерений;
- для проведения полевых испытаний разработана конструкция защиты измерительных марок от внешних воздействий.

Первые лабораторные испытания данного метода измерений (рис. 1) проводились осенью 2019 г.



Рис. 1. Лабораторные испытания № 1

В качестве объекта исследования была выбрана металлическая пластина с размерами  $600 \times 50 \times 4 (l \times b \times t)$  из стали марки С245. На данный образец были установлены 8 измерительных марок, которые позволяют фиксировать деформации пластины в 4 точках. Порядок установки и проведения измерений подробно описаны в статье № 1 [6]. Тензоболты устанавливались в центральной части образца на расстоянии  $93 \pm 1$  мм друг от друга. При данном эксперименте в качестве измерительной марки применялась шестигранная



втупка М10, на одной из граней которой была выполнена лунка под наконечники микрометра.

Результаты эксперимента, представленные в табл. 1, показывают, что погрешность измерений деформаций и усилий данным методом **не превышает 7 %**, что позволяет успешно применять этот способ при мониторинге напряженно-деформированного состояния строительных конструкций.

Таблица 1

**Результаты лабораторного испытания**

На- груз- ка, кН	1А		2А		1Б		2Б		Уси- лие $N$ , кН	По- греш- ность, %
	$L$ , мм	$s$ , МПа	$L$ , мм	$s$ , МПа	$L$ , мм	$s$ , МПа	$L$ , мм	$s$ , МПа		
0,14	93,895	–	93,604	–	93,754	–	93,794	–	–	–
10,03	93,906	28	93,637	82	93,787	82	93,800	15	10,26	3,79
20,19	93,926	77	93,656	129	93,804	126	93,823	74	20,11	0,30
30,07	93,940	113	93,677	183	93,824	175	93,849	138	30,12	0,64
40,30	93,969	185	93,698	235	93,851	243	93,868	186	42,08	4,77
47,95	93,995	249	93,714	275	93,862	271	93,888	237	51,13	<b>6,95</b>

*Примечание:* 1А, 1Б, 2А, 2Б – номера измерительных марок;  $L$  – расстояние между марками, мм;  $s$  – напряжение, возникающее в элементе, МПа;  $N$  – продольное усилие, возникающее в элементе, кН.

Погрешность измерений прибора (микрометра) **составляет  $\pm 2$  мкм**. Данное значение было проверено на тарировочной машине Аистова.

На основании данных, полученных при лабораторном испытании, было принято решение о проведении полевого эксперимента по апробации способа измерений в реальных условиях строительства. В марте 2021 г. данным способом велся мониторинг НДС распорных элементов шпунтового ограждения котлована [7]. Особенностью дан-

ной строительной площадки является то, что строительство ведется в непосредственной близости к зданиям существующей застройки. В связи с этим, в процессе проектирования проводился анализ дополнительных деформаций существующих зданий, попадающих в зону влияния экскавации котлована, с помощью программного комплекса *Plaxis 2D*. Благодаря подобранной конструкции шпунтового ограждения котлована, в качестве которой выступали шпунт марки *VL 606a*, распорки выполнялись из электросварных труб сечением  $530 \times 8$ , а обвязочная балка из двутавра  $40 \text{ КЗ}$ , величина дополнительных деформаций существующих зданий не превышает предельной величины указанной в СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений».

В качестве объектов исследования были выбраны два распорных элемента, наиболее приближенных к существующему зданию. Схема расположения распорок представлена на рис. 2.

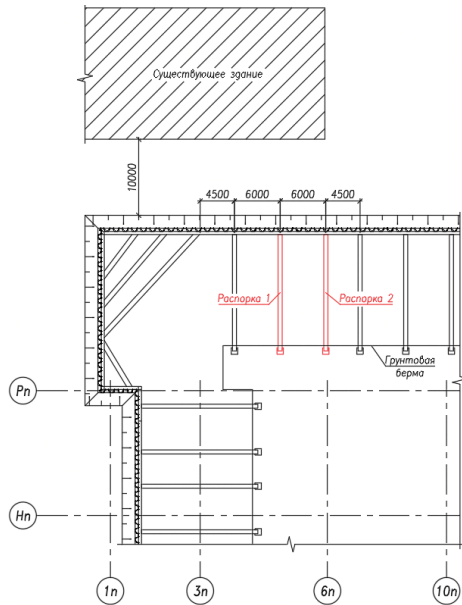


Рис. 2. Схема расположения распорок

Согласно проектным данным, величина продольного усилия в распорке № 1 составила **1418,5 кН**, в распорке № 2 – **1172,46 кН**. На каждый из элементов было установлено по 4 измерительные марки, позволяющие анализировать деформации объекта в 2-х сечениях. Тензоболты устанавливались на начальных этапах загрузки образца, а снимались только после демонтажа исследуемого распорного элемента. По сравнению с лабораторным испытанием, конструкция измерительной марки была полностью изменена, что позволило добиться более быстрой и качественной установки ее на исследуемый образец. Марка (рис. 3), применяемая при полевом испытании, выполнялась в виде болта, в верхней части которого с шести сторон выполнены лунки под наконечники микрометра. Контроль деформаций проводился с одинаковой периодичностью (раз в 3–4 дня), на период между измерениями марки защищались стальным кожухом (рис. 3), выполненным из профиля шляпного типа, который крепился на конструкцию при помощи самонарезающих винтов.

Поскольку испытания проводились в период нестабильных погодных условий (февраль – март 2021 г.), помимо деформаций, получаемых при воздействии грунтового массива, учитывались температурные деформации. Поэтому в ходе измерения величины перемещения выполнялись замеры температуры как исследуемого элемента, так и самого измерительного прибора при помощи контактного электронного термометра с шагом дискретности  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  и погрешностью  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 3. Измерительная марка для полевого испытания (слева) и защитный кожух (справа)

Результаты проведенного полевого испытания для распорки № 1 представлены в табл. 2, для распорки № 2 – в табл. 3.

Согласно данным, полученных при полевом эксперименте, значения продольных усилий [8] в распорке № 1 составили **919,5 кН**, что в **1,54** раза меньше расчетного усилия, в распорке № 2 величина продольного усилия составила **947,3 кН**, что в **1,24** раза меньше проектного. Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что элементы шпунтового ограждения котлована рассчитываются на нагрузки, которые больше их фактического значения, что, соответственно, приводит к увеличению сечения элементов и удорожанию конструкции.

Таблица 2

Результаты полевого испытания для распорки № 1

№ п/п	1 (верх)				1 (низ)				Результаты		
	распорки		L, мкм	s, МПа	T, °C		L, мкм	s, МПа	Фактическая продольная сила, кН	Теоретическая продольная сила, кН	Разница между теоретической и фактической продольной силами, кН
	распорки	микрометра			распорки	микрометра					
Под защитой грунтовой бермы											
1	6,2	11	96,37		3,9	9,6	94,36				
2	-12	1,1	96,36	3,66	-11	0	94,34	-23,27	-128,61	1418,5	-
3	-3,2	0	96,36	-20,56	-3,2	0,6	94,34	-41,81	-409,14	1418,5	-
4	0,2	9,2	96,36	-6,22	0,8	11	94,34	-26,98	-217,80	1418,5	-
5	0,4	13	96,36	-3,49	0,1	17	94,32	-51,65	-361,69	1418,5	-
Откопана берма											
6	-3,4	13	96,34	-43,01	-4,3	3,4	94,32	-73,65	-765,27	1418,5	-1,85
7	0,7	19	96,33	-46,46	0	15	94,32	-56,35	-674,37	1418,5	-2,10
Выполнена плита распора											
8	10,1	17	96,33	-74,15	4,7	20	94,32	-66,03	-919,48	1418,5	<b>-1,54</b>

Таблица 3

Результаты полевого испытания для распорки № 2

№ п/п	2 (верх)				2 (низ)				Результаты		
	T, °C		L, мм	s, МПа	T, °C		L, мм	s, МПа	Фактическая продольная сила, кН	Теоретическая продольная сила, кН	Разница между теоретической и фактической продольной силами, кН
	распорки	микрометра			распорки	микрометра					
Под защитой грунтовой бермы											
1	5,2	21	97,54		3,2	16	99,47				
2	-12	9,6	97,54	12,47	-12	4,7	99,48	24,39	241,77	1172,46	-
3	-2,8	11	97,53	-23,08	-3,2	5,9	99,47	-5,84	-189,67	1172,46	-
4	3,4	6,3	97,53	-49,28	1,3	8,4	99,47	-14,93	-421,16	1172,46	-
5	0	6,5	97,53	-34,04	-0,1	8,5	99,47	-11,22	-296,90	1172,46	-
Откопана берма											
6	-3,7	4,7	97,52	-67,36	-4,4	9,5	99,45	-41,61	-714,81	1172,46	-1,64
7	0,3	8,3	97,52	-68,35	0,4	12	99,45	-50,35	-778,66	1172,46	-1,51
Выполнена плита распора											
8	9,6	14	97,52	-77,25	9,6	14	99,45	-67,16	-947,30	1172,46	<b>-1,24</b>

**Литература**

1. Деменчук Н. П., Прилуцкий А. А. Основы теории напряженного и деформированного состояния: учеб. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 118 с.
2. Сазыкин И. Обследования и испытания сооружений: учебное пособие. М.: РГОТУПС, 2003. 94 с.

3. *Зацепин А. Ф.* Акустический контроль: учебное пособие / под ред. чл.-кор. РАН, проф., д-ра техн. наук В. Е. Щербинина. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 211 с.
4. *Запруднов В. И., Серегин Н. Г.* Методы и средства мониторинга технического состояния строительных конструкций // Лесной вестник (Forestry Bulletin). 2019. Т. 23. № 5. С. 108–115.
5. *Таюкин Г. И.* Приборы и оборудование для статических испытаний строительных конструкций: лабораторный практикум. Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2011. 140 с.
6. *Лобовский М. О., Тукция А. Л., Пяткин П. А., Хегай Е. О.* Измерение деформаций и усилий в стержневых элементах с применением микрометра // Вестник гражданских инженеров. 2020. № 4(81). С. 58–63.
7. *Ренгач В. Н.* Шпунтовые стенки: расчет и проектирование. Л.: Стройиздат, 1970. 113 с.
8. *Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П.* Сопротивление материалов: учеб. для вузов / под ред. А. В.Александрова. 3-е изд., испр. М.: Высш. шк., 2003. 560 с.

УДК 624.014.078

Анастасия Андреевна Юхнина,  
студент

(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)

E-mail: a.yukhnina@yandex.ru

Anastasiya Andreevna Yukhnina,  
student

(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)

E-mail: a.yukhnina@yandex.ru

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПОДАТЛИВОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ КОЛОННЫ С ФУНДАМЕНТОМ

### RESEARCH OF PARAMETERS AFFECTING THE COLUMN-FOUNDATION JOINT DUCTILITY

В условиях современности перед проектировщиками ставятся задачи обеспечить безопасность, эксплуатационную пригодность и долговечность каркасов зданий и сооружений при минимальных затратах материалов. Для этого требуется создать расчетную схему, наиболее приближенную к реальной работе конструкции здания. В данной статье указывается ключевое различие между подходами к расчету узлов соединения конструкций в российских и европейских нормах. На расчетном примере продемонстрировано, как влияет учет реальной жесткости соединений на деформативность рамы каркаса и распределение усилий в колонне. Рассматривается один из способов усиления базы колонны с конечной жесткостью – введение траверс. Проводится анализ влияния изменения отдельных параметров введенных траверс на жесткость соединения.

*Ключевые слова:* жесткость соединения, полужесткий узел, податливость, анкерные болты, база колонны, опорная плита.

In modern conditions, designers are tasked with ensuring safety, operational suitability and durability of the frame at a minimum cost of materials. To solve this task, they need to create a design scheme that is closest to the actual operation of the building structure. This article presents the key difference between the approaches to calculating structural connection points in Russian and European standards. The calculated example shows how taking into account the real rigidity of the joints affects the deformability of the frame, how the stress in the lower section of the column change. We consider one of the ways to strengthen the base of the column, the introduction of a wing plates. The influence of changes in individual parameters of the introduced wing plates on the joint rigidity is analyzed.

*Keywords:* rigidity, semi-rigid connection, deformation capacity, anchor bolts, column base, backing plate.

Современные условия требуют от конструкторов использования наиболее оптимальных проектных решений, при которых вкладываемые материалы обеспечивают прочность, безопасность и требуемую деформативность конструкции, но при этом не образуют перерасход ресурсов. Для достижения данного результата важно создать расчетную модель здания, отражающую реальную работу конструкции в период ее возведения и эксплуатации.

Традиционно, для задания типа соединения элементов используется два варианта закрепления – абсолютно жесткое и шарнирное [1]. Однако на практике узлы каркаса, чаще всего, оказываются полужесткими: проектная конструкция узла, заданного в расчетной схеме абсолютно жестким, допускает малый поворот соединяемых элементов, а шарнирные соединения, в действительности, воспринимают часть изгибающего момента [2, 3]. Это приводит к перераспределению усилий, изменению расчетных длин и перемещений элементов каркаса.

В [4] ввели несколько иной подход к заданию типа соединений в расчетной схеме. Европейская классификация типов закреплений включает в себя: абсолютно жесткое закрепление, полужесткое закрепление, шарнирный узел. Данный подход позволяет запроектировать здание с учетом податливости узлов и привести к снижению металлоемкости каркаса за счет анализа реального распределения усилий в элементах.

Необходимость учета реальной жесткости узлов можно подтвердить серией расчетов с различными вариантами закреплений:

- 1) *низ – жесткий, верх – шарнир*: закрепление, принимаемое в большинстве расчетных схем рам;
- 2) *низ – полужесткий, верх – шарнир*: закрепление, в котором учитывается реальная жесткость баз колонн при их проектном конструктивном решении;
- 3) *низ – полужесткий, верх – полужесткий*: закрепление, в большей мере соответствующее реальной работе узлов рамы;
- 4) *низ – шарнир, верх – полужесткий*: закрепление для оценки степени влияния реальной жесткости нижнего узла;
- 5) *низ – шарнир, верх – жесткий*: закрепление для оценки степени влияния реальной жесткости верхнего узла.



В качестве расчетного примера примем поперечную раму (рис. 1) каркаса производственного здания. Ее образуют два пролета: 24 и 12,35 м, оба оснащены подвесными кранами грузоподъемностью 6,3 т. Колонны выполнены из широкополочных двутавров 40Ш1 по осям А и Б, 30Ш1 по оси В.

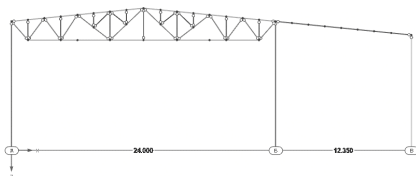


Рис. 1. Расчетная схема рамы: общий вид

Согласно данным проекта, при расчете закрепление нижнего конца колонны в плоскости действия изгибающего момента принято абсолютно жестким. В проекте при этом была принята конструкция базы, состоящая из опорной плиты толщиной 38 мм, ребер жесткости толщиной 10 мм и анкерных болтов – химических анкеров *HILTI HIT-RE500* с глубиной заделки 400 мм, расставленных из плоскости действия момента (рис. 2). По результатам расчета данного соединения в программном комплексе *IDEA StatiCa* [5], установлено, что база колонны является полужесткой.

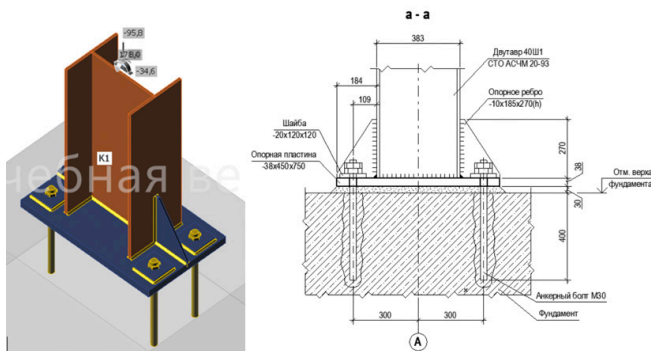


Рис. 2. Проектная конструкция базы колонны

Результаты расчетов поперечной рамы каркаса с различными вариантами закрепления узлов сведены в таблицу. Значения усилий приведены в нижнем сечении колонн, значения перемещений приведены для верхних узлов колонн. Для оценки данных параметров приведены значения допустимых горизонтальных перемещений от ветровых и крановых нагрузок –  $[u_{\text{ветер}}]$  и  $[u_{\text{кран}}]$  соответственно, принятые согласно п. Д.2.3.1, Д.2.4.1 [6].

**Значения усилий и перемещений в раме с учетом  
и без учета жесткости соединений**

Ось	№ варианта	Закрепление	$N_{\text{max}}$ , кН	$M_{\text{умax}}$ , кН·м	$Q_{\text{zmax}}$ , кН	$u_{\text{ветер}}$ , мм	$u_{\text{кран}}$ , мм	$[u_{\text{ветер}}]$ , мм	$[u_{\text{кран}}]$ , мм
А	1	Низ – жесткий; верх – шарнир	-184,1	311,0	-50,8	69,4	72,5	58,5	18,5
	2	Низ – полужесткий; верх – шарнир	-184,1	300,9	-50,0	97,1	94,4		
	3	Низ – полужесткий; верх – полужесткий	-183,5	214,0	-46,5	60,0	53,7		
	4	Низ – шарнир; верх – полужесткий	-170,7	0	-44,86	316,8	232,4		
	5	Низ – шарнир; верх – жесткий	-178,1	0	-35,3	177,1	126,2		
Б	1	Низ – жесткий; верх – шарнир	-336,6	236,2	-20,2	68,0	71,2		
	2	Низ – полужесткий; верх – шарнир	-336,6	234,6	-20,9	95,7	93,2		
	3	Низ – полужесткий; верх – полужесткий	-336,6	169,3	-21,2	58,7	52,5		
	4	Низ – шарнир; верх – полужесткий	-335,9	0	-24,8	315,4	231,1		
	5	Низ – шарнир; верх – жесткий	-313,4	0	-27,2	175,6	124,8		

Окончание табл.

Ось	№ варианта	Закрепление	$N_{\max}$ , кН	$M_{\max}$ , кН·м	$Q_{\max}$ , кН	$u_{\text{ветер}}$ , мм	$u_{\text{кран}}$ , мм	$[u_{\text{ветер}}]$ , мм	$[u_{\text{кран}}]$ , мм
В	1	Низ – жесткий; верх – шарнир	-131,7	145,1	-27,5	68,1	71,3		
	2	Низ – полужесткий; верх – шарнир	-131,7	141,2	-27,6	95,8	93,2		
	3	Низ – полужесткий; верх – полужесткий	-135,4	119,7	-30,7	58,7	52,5		
	4	Низ – шарнир; верх – полужесткий	-151,2	0	-28,8	315,4	231,1		
	5	Низ – шарнир; верх – жесткий	-165,5	0	-36,0	175,7	124,8		

На основании результатов, приведенных в таблице, можно сделать ряд выводов.

1. При учете конечной жесткости узлов (вариант закрепления 2, 3) усилия в нижнем сечении меняются незначительно.

2. Наибольшее изменение – уменьшение – претерпевает изгибающий момент в нижнем сечении колонны. При учете действительной жесткости верхнего узла рамы происходит перераспределение усилий, часть момента переходит в узел сопряжения ригеля с колонной.

3. Деформативность конструкции рамы существенно зависит от жесткости соединения: при учете конечной жесткости нижнего узла перемещения увеличились на 30–40 %, при учете конечной жесткости верхнего узла – снизились на 15–25 % по сравнению с проектными расчетными закреплениями.

4. Жесткость закрепления нижнего конца колонны значительно влияет на деформативность рамы. При полном исключении базы колонны из восприятия изгибающего момента, перемещения возрастают в разы, то есть рама становится геометрически изменяемой системой, даже при введении жесткого верхнего узла. Таким

образом, перемещения рамы каркаса зависят в большей степени от жесткости нижнего узла колонны.

5. Проектное решение конструкции базы, как показал расчет, не обеспечивает требуемую деформативность рамы каркаса, следовательно, необходимо выполнить усиление узлов как базы колонны, так и узла сопряжения ригеля с колонной для обеспечения необходимой деформативности.

Наиболее эффективным способом усиления базы колонны для уменьшения ее податливости является введение траверсы. Варианты устройства базы колонны с траверсой показаны на рис. 3.

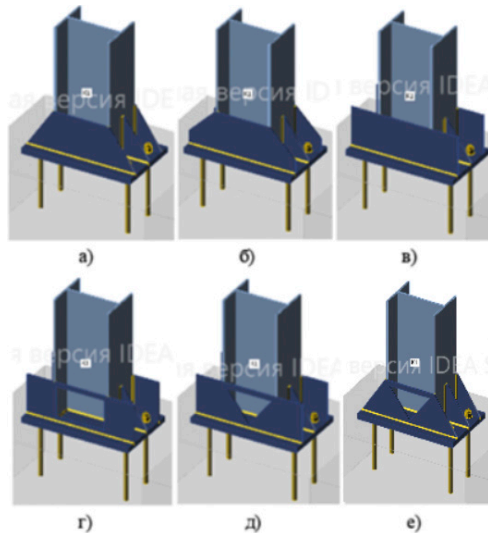


Рис. 3. Варианты устройства базы колонны с траверсами: *а* – со скосом граней до опорной плиты; *б* – со скосом граней под  $45^\circ$ ; *в* – прямоугольная; *г* – прямоугольная с прямоугольным вырезом; *д* – прямоугольная с треугольным вырезом, направленным вниз; *е* – со скосом граней до опорной плиты, с треугольным вырезом, направленным вниз

Для сравнения рассмотрим варианты конструирования базы колонны с траверсами, но без ребер и с тремя ребрами с каждой стороны (рис. 4).

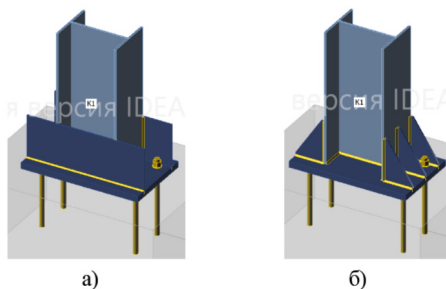


Рис. 4. Базы колонн: *а* – без ребер, с прямоугольными трассерами; *б* – с тремя ребрами

Зависимость жесткости соединения колонны с фундаментом от высоты и вида трассеры приведена на рис. 5.

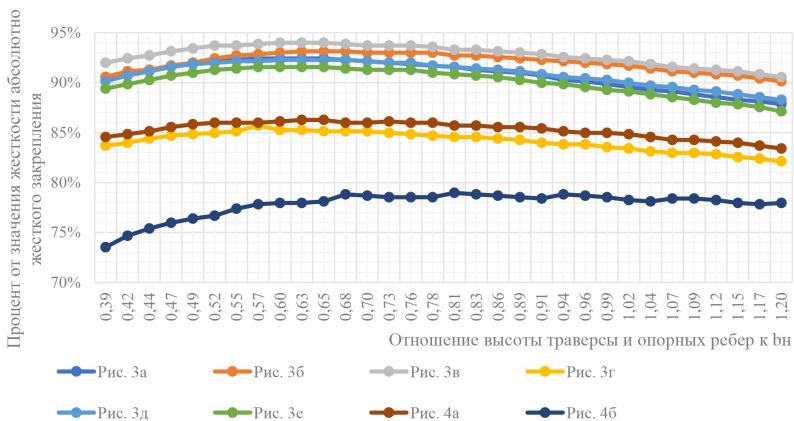


Рис. 5. Зависимость жесткости соединения от высоты и вида трассеры

Анализируя данные результатов расчетов, изображенные на рис. 5, можно сделать приведенные ниже выводы.

1. Вариант базы колонны без трассер, с тремя опорными ребрами с каждой стороны (рис. 4, *б*) имеет наименьшую жесткость, которая мало изменяется при увеличении высоты ребер.

2. База колонны с прямоугольными траверсами и без ребер (рис. 4, а) является более жесткой, чем база колонны с прямоугольными траверсами и прямоугольным отверстием (рис. 3, з).

3. Наибольшую жесткость соединения обеспечивает база колонны с прямоугольными траверсами без вырезов (рис. 3, в).

4. С увеличением высоты траверсы до величины  $0,7b_n$  происходит увеличение жесткости узла. Дальнейшее увеличение высоты траверс неэффективно, так как при увеличении металлоемкости соединения жесткость изменяется незначительно.

При изменении толщины траверс жесткость соединения изменяется (рис. 6).

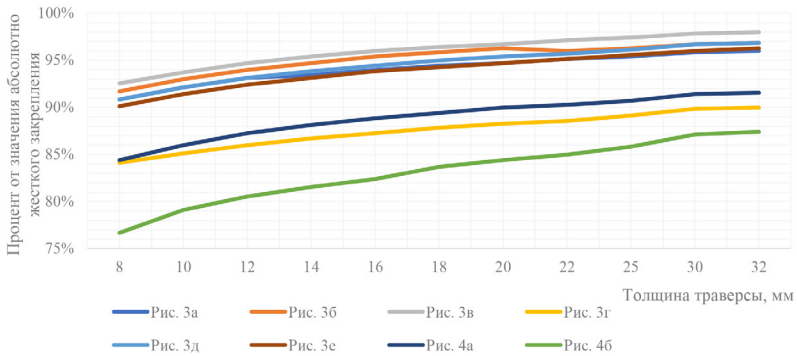


Рис. 6. Зависимость жесткости соединения от толщины и вида траверсы

Изучая график на рис. 6, можно отметить ряд зависимостей.

1. С увеличением толщины траверс жесткость соединения возрастает вне зависимости от их вида.

2. При толщине траверс 10 мм наибольшую жесткость обеспечивает прямоугольные траверсы (рис. 3, в).

3. Темп прироста жесткости снижается после толщины 14 мм, далее металл вкладывается неэффективно – его вложение приводит к незначительному увеличению жесткости.

4. Наиболее выгодное вложение металла обеспечивает траверса с треугольным отверстием и срезом боковых граней до опорной плиты (рис. 3, е).

5. Наиболее невыгодным вариантом является база колонны без траверсы, с тремя опорным ребрами (рис. 4, б).

Как видно из графиков на рис. 5, 6, введение траверс увеличивает жесткость соединения, однако их устройство в целях усиления не позволяет достичь абсолютно жесткого закрепления. Для обеспечения требуемой деформативности необходимо использовать и другие резервы.

#### Литература

1. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\*. М.: ФГУП ЦПП, 2017. 148 с.

2. *Туснина В. М.* Податливые соединения стальных балок с колоннами // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 5(73). С. 25–39.

3. *Туснина О. А., Данилов А. И.* Жесткость рамных узлов сопряжения ригеля с колонной коробчатого сечения // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 4(64). С. 40–51.

4. EN 1993-1-8. Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-8: Design of joints. URL: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1993.1.8.2005-1.pdf> (accessed on: 14.04.2021).

5. *Бароев Р. В.* Расчет узлов стальных конструкций компонентным методом конечных элементов // CADMASTER. 2019. № 3. С. 95–101.

6. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. М.: Стандартинформ, 2018. 95 с.

УДК 532.5

Борис Ильич Кондаков,  
аспирант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
E-mail: kondakovb@inbox.ru

Boris Ilyich Kondakov,  
postgraduate student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
E-mail: kondakovb@inbox.ru

## НАБЕГ БОРА (ЦУНАМИ) НА ПРИБРЕЖНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

### INROAD OF BORE (TSUNAMI) ON COASTAL STRUCTURES

Бор (цунами) – огромная волна, возникающая в океане и с колоссальной силой обрушивающаяся на берег, еще до XX в. был довольно редким явлением и, соответственно, не рассматривался при строительстве гидротехнических сооружений (прибрежных, причальных и т. п.), а также жилых и общественных зданий вдоль береговой линии. Сегодня при проектировании прибрежных сооружений, помимо постоянных и временных нагрузок, необходимо также учитывать и особые нагрузки, к которым относится и нагрузка от цунами.

В статье рассмотрено математическое моделирование набега бора на условное прибрежное сооружение с помощью программы *Ansys Fluent*. Главные задачи исследования: получение модели, воссоздающей набег цунами на объект, и количественная оценка давления волны на лобовую поверхность объекта в момент, когда оно достигает наибольшего значения (т. е. построение графиков изменения давления по высоте сооружения).

*Ключевые слова:* цунами, бор, моделирование воздействия бора, расчет прибрежных сооружений, давление от бора (цунами).

Tsunami (bore, also translated from Japanese as “wave in the harbor”), before the XX century was a fairly rare phenomenon that occurs in the ocean and with great force falls on the coast in the form of a huge wave, and, accordingly, was not considered in the construction of both hydraulic engineering structures (coastal, berthing, etc.), and residential and public buildings located along the coastline. Today, when designing coastal structures, in addition to permanent and temporary loads, it is also necessary to take into account special loads – these include the load from bore (tsunami).

In this article, one of the methods of modeling (mathematical modeling) of a bore flow (tsunami) on a coastal structure, presented in the form of a conditional structure, is considered. When modeling, the software *Ansys Fluent* is used. The



main task of the study is: to obtain a model that simulates bore (tsunami) flow on the object of study; to quantify the pressure exerted by bore (tsunami) on the frontal surface of the structure at the time when the pressure reaches the highest value, i. e., to plot the pressure change along the height of the structure.

*Keywords:* tsunami, bore, modeling of bore impact, coastal structures analysis, bore (tsunami) pressure.

Бор, или цунами (яп. – «большая волна в гавани»), еще до XX в. было довольно редким явлением, возникающим в океане и с огромной силой обрушающимся на берега в виде огромной волны, и, соответственно, не рассматривалось при строительстве как сооружений гидротехники (прибрежных, причальных и т. п.), так и жилых и общественных зданий, расположенных вдоль береговой линии (см. рис. 1).



Рис. 1. Цунами вдоль побережья Индонезии (2004 г.)

Чтобы оценить влияние, оказываемое бором на рассматриваемое сооружение, необходимо иметь расчетную модель (физическую или математическую), способную в той или иной степени точно отразить процесс взаимодействия сооружения и бора (цунами) [1, 2, 6–13]. Так, данного рода задача может быть разделена на две другие задачи: первая – определение нагрузки от цунами; вто-

рая – определение реакции сооружения от данной нагрузки. В данной статье рассмотрена первая из задач.

Для определения давления, оказываемого бором (цунами) на лобовую поверхность сооружения в момент времени, когда давление достигает наибольшего значения, была создана математическая модель условного сооружения (рис. 2, 3) в программе *Ansys Fluent*.

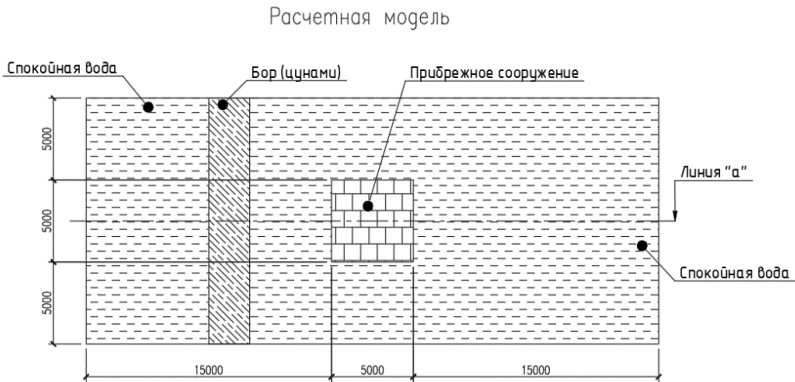


Рис. 2. Схема расположения прибрежного сооружения в открытом канале (вид сверху)

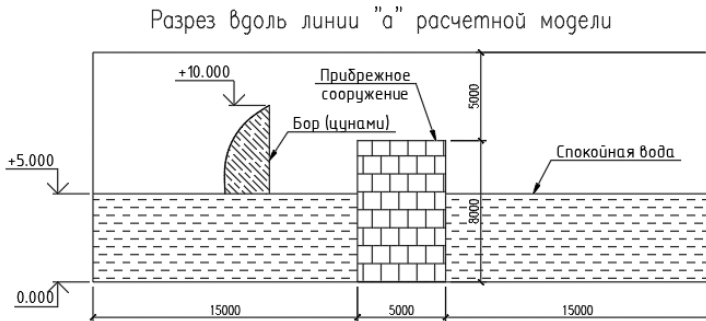


Рис. 3. Сечение вдоль линии «а»

Данная расчетная модель представляет собой куб размерами в плане  $5 \times 5$  м и имеет высоту 8 м.

Получив геометрическую модель, выполнив автоматическую генерацию сетки конечных элементов, а также задав граничные условия расчетной модели, которыми являются скорость течения жидкости на входе (для зоны *velocity inlet*), давление на выходе (*pressure outlet*), а также давление на границе контакта спокойной воды и атмосферы (*pressure outlet*) был выполнен расчет модели.

Результаты расчета представлены на рис. 4–6. Так, на рис. 4 можно увидеть изменение объема жидкости (фаза 2 – вода).

На рис. 5 можно увидеть изменение (суммарного и динамического) давления фронтальной (лобовой) поверхности модели в момент времени  $t = 0$ , при этом на рис. 6 в момент времени  $t = 1,7$  с.

На рис. 7 показана история изменения суммарного давления в момент времени от 0,5 до 2,7 с. Временной интервал составляет 0,1–0,2 с.

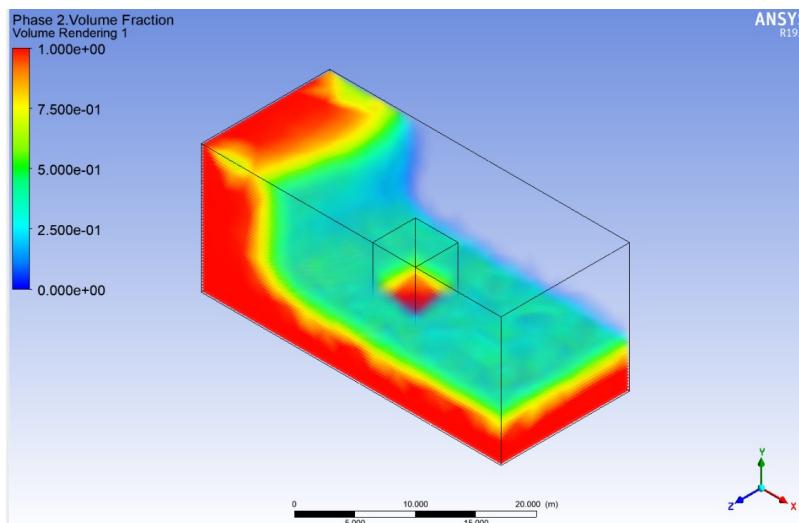


Рис. 4. Процесс набега бора (цунами) на огражденное сооружение

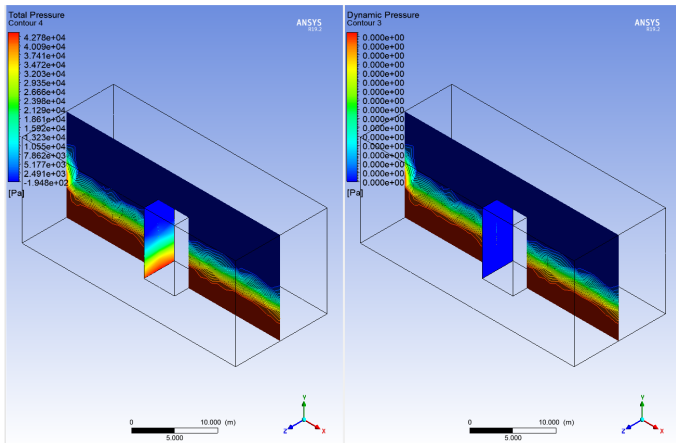


Рис. 5. Слева – контуры цунами в момент времени  $t = 0$  с и эпюра суммарного давления (статического и динамического); справа – контуры цунами в начальном положении и эпюра динамического давления

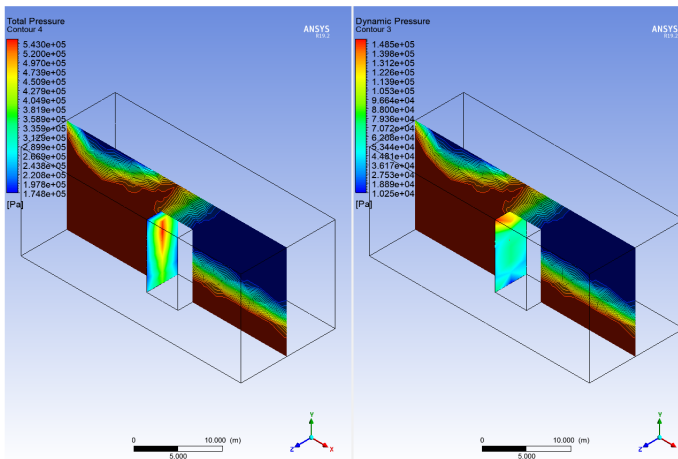


Рис. 6. Слева – контур цунами в момент времени  $t = 1,7$  с и эпюра суммарного давления (статического и динамического); справа – контур цунами в момент времени  $t = 1,7$  с и эпюра динамического давления

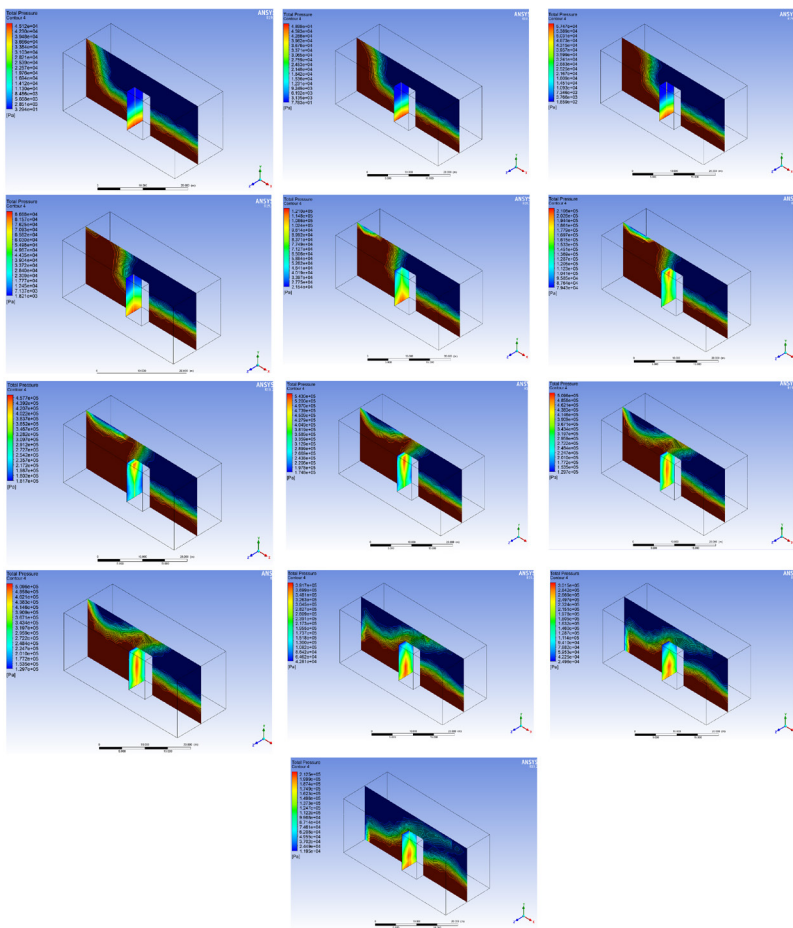


Рис. 7. История изменения суммарного давления лицевой поверхности условного сооружения

Результатами исследования являются суммарная горизонтальная нагрузка (табл. 1), определенная, в случае с расчетом в программе *Ansys Fluent*, как сумма давлений по отдельным площадям фронтальной поверхности куба и построенный график изменения давления по высоте сооружения (рис. 8).

В данном исследовании проводились сравнения результатов, полученных в программе *Ansys Fluent* с результатами, полученными по нормативным документам: СП 292 «Здания и сооружения в цунамиопасных районах. Правила проектирования» и нормами Еврокода *EN 1991-1-6-20* (см. табл.) [13, 14].

**Результаты определения суммарной составляющей горизонтальной нагрузки от цунами**

<i>EN 1991-1-6-20</i>	<i>Ansys Fluent</i>	СП292
1200 т	1430 т	1600 т

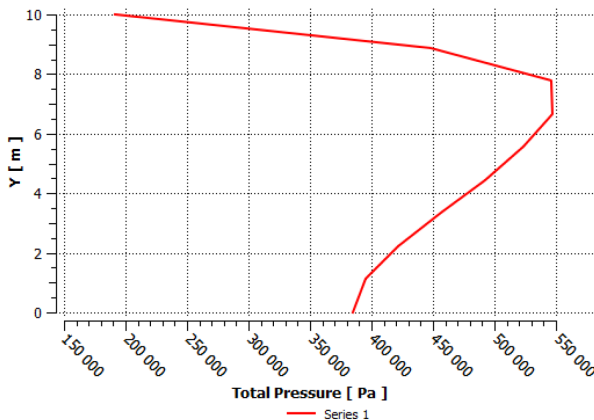


Рис. 8. Эпюра суммарного давления в момент времени  $t = 1,7$  с вдоль оси симметрии лобовой поверхности ограждающего сооружения

Исходя из полученного результата можно сказать следующее: в процессе определения суммарной горизонтальной нагрузки по нормам *EN 1991-1-6-20*, СП 292 и с применением программы *Ansys Fluent* были получены результаты, отличающиеся друг от друга. Отличия, полученные в результате расчетов по нормативным документам, от расчета, выполненного с применением программы *Ansys Fluent* как минимум связаны с тем, что при расчете в программе учитывается снижение

энергии волны о трение по поверхности дна, а также то, что форма бора при расчете в программе имеет особую, единичную (частную) форму.

Таким образом, расчетная модель, полученная в программе *Ansys Fluent*, требует дальнейшего изучения и доработки.

#### Литература

1. *Robertson I. N., Carden L. P., Chock G. Y. K.* Case Study of Tsunami Bore Impact on RC Wall // Proceedings of the 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. OMAE 2013. June 9-14, 2013, Nantes, France. URL: [https://www.researchgate.net/publication/267607620\\_Case\\_Study\\_of\\_Tsunami\\_Bore\\_Impact\\_on\\_RC\\_Wall](https://www.researchgate.net/publication/267607620_Case_Study_of_Tsunami_Bore_Impact_on_RC_Wall) (дата обращения: 01.05.2017).

2. *Robertson I. N., Riggs H. R., Mohamed A.* Experimental results of tsunami bore forces on structures // Proceedings of the 27<sup>th</sup> International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. OMAE 2008. June 15-20, 2008, Estoril, Portugal. URL: <http://teri.hawaii.edu/pdf/OMAE2008Robertson.pdf> (дата обращения: 01.05.2017).

3. *Басов Б. И., Дорфман А. А., Левин Б. В., Харламов А. А.* О возмущениях поверхности океана, возбуждаемых извержением подводного вулкана // Вулканология и сейсмология. 1981. № 1. С. 93–98.

4. *Бондаренко А. Л., Бычков В. С.* Морские барические волны // Метеорология и гидрология. 1983. № 6. С. 86–91.

5. *Доценко С. Ф.* Возбуждение волн цунами в непрерывно стратифицированном океане подвижками участка дна // Исследования цунами. № 3. 1988. С. 7–17.

6. *Кульмач П. П., Филиппенко В. З.* Воздействие цунами на морские гидротехнические сооружения. М.: Транспорт, 1984. 303 с.

7. *Некрасов А. В.* Об отражении приливных волн от зоны шельфа // Океанология. 1973. Т. 13. Вып. 2. С. 210–215.

8. *Пузырев Н. Н.* Методы и объекты сейсмических исследований. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. 301 с.

9. *Рабинович А. Б.* Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 324 с.

10. *Рутман Ю. Л., Фильков В. Ю.* Определение коэффициента динамичности при воздействии бора на ограждающее сооружение гравитационного типа // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2017. Т. 10. № 3. С. 91–96.

11. *Соловьев С. Л., Го Ч. Н., Ким Х. С.* Каталог цунами в Тихом океане, 1969–1982 г. М.: Изд. МГК АН СССР, 1986. 164 с.

12. *Соловьев С. Л., Го Ч. Н., Ким Х. С., Соловьева О. Н., Щетников Н. А.* Цунами в Средиземном море. М.: Научный мир, 1997. 139 с.

13. СП292.1325800.2017. Здания и сооружения в цунами опасных районах. Правила проектирования. СПб, 2016. 69 с.

14. ТКПЕН1991-1-6-2009(02250). Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–6. Общие воздействия. Воздействия при производстве работ. Минск, 2009. 29 с.

**УДК 624.05**

*Екатерина Владимировна Шмелёва,*  
магистрант  
*Александр Эдуардович Щегольков,*  
магистрант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: shmlv.ekat@gmail.com,*  
*sa000000050@gmail.com*

*Ekaterina Vladimirovna Shmeleva,*  
master's degree student  
*Aleksandr Eduardovich Shchegolkov,*  
master's degree student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: shmlv.ekat@gmail.com,*  
*sa000000050@gmail.com*

**ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ  
СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**INNOVATIVE CONSTRUCTION METHODS**

Человечество на протяжении всей своей истории занимается созданием различных объектов: люди всегда строили дома, складские помещения, рабочие площадки, различные досуговые и культурные сооружения и т. п. Стремление к познанию неизведанного и жажда изобретать новые, более совершенные вещи – вечные спутники людей. Благодаря этому мы стараемся привнести новизну в каждый аспект нашей жизнедеятельности, включая строительную отрасль. Изобретая и вводя в практику различные строительные технологии, люди пытаются решить важные проблемы, такие как высокая продолжительность работ во времени, существенная потребность в рабочей силе и большой номенклатуре материальных ресурсов, безопасность людей и т. д. В статье рассматриваются интересные, востребованные и актуальные на данный момент методы строительства, а также инновационные строительные технологии.

*Ключевые слова:* инновационные технологии, трехмерный принтер, строительная 3D-печать, каменная кладка, крупноформатные блоки, робот-строитель.

Humanity throughout its history has been creating various objects. People have always built houses for a comfortable life, warehouses, convenient work sites, various facilities for both leisure and cultural purposes, and much more. It is also important to note that the desire for knowledge of the unknown and the thirst to invent new and more perfect things are the eternal companions of people. Thanks to this, we are trying to bring something new to every aspect of our life, including the construction industry. By inventing and putting into practice new construction technologies, people are trying to solve important construction problems, including: long duration in time, a significant need for labor and a large range of material resources, human



safety, and so on. This article will focus on interesting, popular and relevant construction methods at the moment, as well as on innovative construction technologies.

*Keywords:* innovative technologies, three-dimensional printer, construction 3D printing, masonry, large-format blocks, construction robot.

### **Инновационные технологии в строительстве**

Инновации или нововведения – в широком смысле представляют внедряемое или уже внедрённое в ту или иную область человеческой деятельности новшество, которое обеспечивает повышение эффективности тех или иных процессов, улучшения качества процессов или объекта, получаемого после выполнения процессов (продукта). В случае со строительством инновацией может считаться нововведение, которое улучшает результаты в целом, или какой-нибудь из результатов строительно-монтажных работ (например: уменьшает стоимость, уменьшает сроки строительства, повышает уровень безопасности на строительной площадке, упрощает тот или иной отдельный строительный процесс, и т. д.) [1].

На данный момент широкое распространение во всех областях получают различные механизмы, минимизирующие участие человека в том или ином процессе. Отличным примером этому являются: полностью роботизированные линии производства различных строительных материалов (например, газобетонных блоков или кирпичей); цеха для сборки различных элементов и деталей автомобилей, станков и иного оборудования; средства передвижения с автопилотом и многое другое. Подобные решения также добираются до процесса строительства, происходящего непосредственно на строительной площадке, к ним относятся:

- строительная 3D-печать зданий или их частей с помощью трехмерных принтеров, адаптированных под строительные нужды;
- возведение зданий и сооружений, а также их частей из строительных блоков с помощью специальных роботизированных механизмов.

### **Строительная 3D-печать**

Строительная трехмерная печать базируется на аддитивных технологиях, суть которых заключается в послойном создании объ-

ектов. Аддитивные технологии или аддитивное производство начало зарождаться еще в конце XIX в. Именно тогда в США был запатентован первый метод для создания объемных топографических карт. Первопроходцем стал Джозеф Е. Блантер (*Josef E. Blanthier*) [2]. В дальнейшем технология совершенствовалась разными учеными из разных географических областей. Также важно сказать, что эта область, как и многие другие, не обошлась без компьютеризации, то есть внедрения электронной вычислительной техники. Важнейшей вехой в развитии аддитивного производства стал 1986 г. В этом году было запатентовано и представлено изобретение основателя компании, специализирующейся на аддитивном производстве, Чарльза В. Халла (*Charles W. Hull*) [3]. А именно его метод послойного наращивания объектов, названный «Лазерная стереолитография». После этого наступил подлинный золотой век аддитивных технологий, множество ученых начали изобретать и патентовать свои методы и принципы, технологии и устройства, материалы и многое другое.

Именно строительная 3D-печать началась в Италии. Местный изобретатель создал принтер, печатающий строительной смесью для создания макетов различных строительных объектов. Позже эта технология претерпела несколько изменений, важнейшим из которых можно назвать гипертрофию устройств, то есть увеличение их в объёме.

Как можно догадаться из вышесказанного, строительный трехмерный принтер отличается от обычного 3D-принтера в первую очередь своими габаритами, но также устройством и применяемыми для печати материалами. Любой трёхмерный принтер работает по принципу экструзии – создание объектов происходит за счёт выдавливания материала через формообразующее отверстие. При этом все принтеры используют однотипный материал – специальную мелкозернистую смесь. 3D-принтер в общем виде представляет из себя набор нескольких основных составляющих:

- компьютеризированная система управления механизмом;
- система подачи материала для печати;
- печатная головка с экструдером;
- система перемещения печатной головки.

Существует несколько основных разновидностей трехмерных принтеров, различия между ними кроются именно в системе перемещения печатной головки [4].

1. *Портальный принтер*. Конструкция внешне напоминает крановый строительный кран. Рама перемещается по специальным, вынесенным за габариты строящегося здания или проложенным внутри, рельсам. Печатная головка перемещается по верхней балке перпендикулярно расположению рельсов. Такая конструкция позволяет печатать объекты наибольших габаритов (рис. 1).

2. *3D-принтер на базе руки манипулятора*. Роботизированный механизм с большим количеством степеней свободы, один конец которого жестко закреплен на перемещающейся или стационарной опоре, на другом устройства крепится печатная головка с экструдером для нанесения смеси. Сам механизм внешне схож с роботами, применяемыми в различных производственных отраслях (роботы-сварщики, роботы-упаковщики, роботы-маляры и др.).

3. *Строительный принтер циркульной конструкции*. Такой принтер устанавливается в центре строящегося объекта. Имеет изменяемую высоту, однако не может перемещаться самостоятельно. Оснащён вращающейся опорой и крепящейся к ней одним концом консольной рамой с рельсом, по которому происходит перемещение печатной головки (рис. 2).

4. *Строительный принтер с дельта-приводом*. Существенным отличием является то, что принтер может совершать более сложные перемещения, что актуально для создания геометрически сложных фигур. Состоит из опорной пространственной рамы и тех тросов или штанг, к которым крепится печатающая головка с экструдером. Перемещение головки осуществляются за счет синхронного изменения длины тросов или штанг.

Строительство с помощью 3D-принтеров обладает рядом существенных преимуществ, но также не лишено недостатков [5]:

- существенная экономия времени на строительстве основной несущей части здания, связанная с тем, что множество различных процессов заменяется одним – трехмерной печатью, а также с тем, что принтер может работать 24 ч 7 дней в неделю без перерывов;

- значительно меньшие трудозатраты, что приводит к уменьшению риска получения травм рабочими;
- возможность строительства зданий с любыми архитектурными формами;
- зависимость от погодных условий (наносимая смесь должна быть определенной консистенции, недопустимо разбавлять её водой, также важно, чтобы она плотно сцепилась с предыдущим слоем);
- техническая сложность механизма, при поломках влечёт сложный и долгий ремонт;
- дороговизна оборудования;
- отсутствие нормативной базы (это скорее нюанс, нежели преимущество или недостаток).

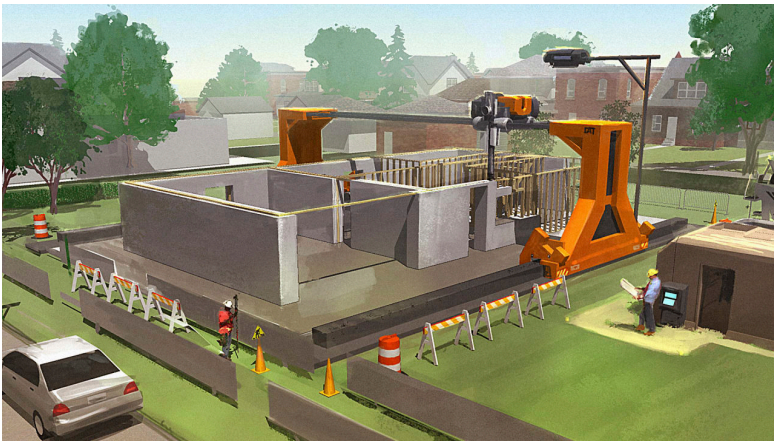


Рис. 1. Строительный 3D-принтер порталной конструкции

Строительство с помощью 3D-принтеров уже активно применяется различными отечественными и зарубежными компаниями. Устройства применяются не только для создания объектов целиком в условиях строительной площадки, а также для создания отдельных элементов здания, которые впоследствии транспортируются на место производства работ и собираются там воедино (аналогично панельному домостроению).



Рис. 2. Строительный 3D-принтер циркульной конструкции (компания *Apis Cor*)

Компания «АМТ-СПЕЦАВИА» – Российская частная компания, специализирующаяся на аддитивных технологиях, основным видом её деятельности является производство строительных 3D-принтеров. Также компания осуществляет строительство с помощью таких устройств, об этом свидетельствует напечатанный в Ярославле дом площадью около 300 м<sup>2</sup>.

«Апис Кор Инжиниринг» (*Apis Cor*) – отечественная компания, разработчик уникального циркульного принтера (рис. 3). Компания осуществляет строительство не только в России, но и за рубежом – об этом свидетельствует построенное офисное здание в ОАЭ [6].

*WinSun Decoration Design Engineering Co* – Шанхайская компания, производящая собственные трехмерные принтеры и осуществляющая строительство с их помощью. Компания напечатала свои первые дома еще в 2014 г. Она также осуществляет деятельность не только в Китае. Важно отметить, что компании удалось построить с помощью 3D-принтера пятиэтажное жилое здание [7].

Американский стартап *ICON* известен своим уникальным принтером собственной разработки *Vulkan II*. Компания также известна тем, что в сотрудничестве с некоммерческими фондами пытается решить жилищный вопрос в бедных регионах Южной и Северной Америки. Компания осуществляет строительство целых 3D-печатных

поселков (около 50 домов). Дома для малоимущих имеют один этаж площадью около 50 м<sup>2</sup>, на этой площади расположены две спальни, санузел, кухня и гостиная [8] (рис. 3).



Рис. 3. Объекты, построенные компанией *ICON* (Техас, США) с помощью аддитивных строительных технологий

### **Роботизированная кладка каменных конструкций**

Каменная кладка представляет собой некую структуру, состоящую из различных блоков, уложенных в определенном порядке и скрепленных между собой специальным раствором. Каменная кладка применяется по меньшей мере уже несколько тысяч лет [9]. Такой способ строительства остается актуальным и по сей день. Это связано, в первую очередь, с тем, что строительные методы и применяемые материалы перманентно совершенствуются, появляются какие-то новшества для большего удобства проведения каменно-кладочных работ. Также немаловажным является такой фактор как эстетическая привлекательность кирпича и иных камней, благодаря этому сплошь и рядом различные виды кирпичей применяются для отделки различных конструкций.

В наше время на рынке строительных материалов представлено достаточно большая номенклатура различных камней и блоков для строительства.

1. Традиционный и привычный многим *кирпич*. Существует несколько различных технологий его производства и используемого сырья, однако самым распространенным способом производ-

ства керамического кирпича является обжиг глины в специальных печах. Современный кирпич впервые появился ещё задолго до наступления эпохи индустриализации в Англии XVI в. Современный кирпич имеет размеры  $250 \times 120 \times 65$  мм. Также бывает кирпич больших размеров, так называемая двушка, по объему один такой кирпич заменяет два обычных. Он имеет размеры  $250 \times 120 \times 138$  мм. Кирпич бывает различного назначения (например, огнеупорный, строительный, облицовочный), может иметь различную фактуру и текстуру. Такой материал имеет множество достоинств, однако не лишен недостатков.

2. *Крупноформатные блоки.* К ним можно отнести например: крупноформатную керамику и искусственные блоки (например, газобетонные). Крупноформатные керамические блоки, они же поризованная керамика – технологически мало чем отличаются от обычного пустотного кирпича. Основное отличие – это большие габариты. Существует довольно-таки обширная номенклатура выпускаемой поризованной керамики, причем каждый производитель выпускает блоки различных размеров. Самый большой такой блок – 14,3 НФ, который по объему соответствует 14,3 объемам стандартного кирпича, блок имеет размеры  $510 \times 250 \times 219$  мм, и весит в сухом состоянии 24 кг. Газобетонные блоки, изготавливаются из лёгкого бетона по специальной автоклавной технологии. Они имеют меньшую прочность и плотность по отношению к поризованной керамике, однако при этом существенно лучшие теплотехнические характеристики. С такими блоками проще работать, поскольку они имеют меньший вес и лучше поддаются механической обработке. Блоки изготавливаются различной плотности (несущие, теплоизоляционные, несуще-теплоизоляционные).

С момента возникновения специальных норм и правил, регулирующих технологию кладки конструкций из кирпича или камня, требования к кладке практически не менялись. Скорость строительного производства и достаточно большая трудоемкость процесса кладки являются серьезными проблемами данной технологии. Однако, как уже было отмечено ранее, нашей реальности в данное время присущи тенденции цифровизации и роботизации различных процессов,

в том числе производственных и строительных. Процесс возведения каменной кладки эти тенденции не обошли стороной.

Различные компании для решения организационных проблем каменно-кладочных работ применяют роботизированные механизмы.

1. Полуавтоматический робот-каменщик *SAMI00* (сокращенно от *Semi-Automated Mason*) от компании *Construction Robotics* [10]. Робот-каменщик *SAMI00* предназначен для кладки конструкций стен и облицовки зданий из традиционного кирпича. Он имеет подвижную конструкцию, которая может перемещаться вдоль возводимой части кладки с помощью колёс с электроприводом. Робот является полуавтоматическим, потому что для его полноценной работы требуется несколько человек: оператор (производит управление), каменщик (устанавливает закладные детали, зачищает кладку) и помощник (заливает цементный раствор, подает кирпичи). Также необходимо подавать камни на конвейерную ленту устройства (рис. 4).

2. Автономный робот-строитель *Hadrian X* от компании *Fastbrick Robotics* [11]. Конструкция данного робота напоминает манипулятор на базе грузовика. Робот выполнен на базе грузового автомобиля. Имеет руку-манипулятор, закреплённую на телескопический механизм, внутри которого имеется система подачи блоков. Вся конструкция работает автоматически. Блоки в поддонах помещаются на специальную платформу в хвостовой части грузовика, после чего специальный механизм снимает их оттуда и отправляет по конвейеру к роботизированной руке. Затем рука манипулятор получает блок, берет его с помощью захватов, наносит на него раствор и устанавливает в проектное положение (рис. 5). Робот способен укладывать 200 блоков в час.

3. Роботизированное устройство *MULE* от компании *Construction Robotics* [10]. Эта система предназначена для упрощения транспортировки камней от места базирования к проектному положению. Система напоминает передвижной консольный кран. Имеет захваты для удерживания камня любой формы. Данное устройство исключает негативные воздействия поднятия тяжелых блоков на организм человека, тем самым сохраняя организм в целостности и минимизируя



различные травмы, связанные с поднятием и перемещением тяжелых грузов.

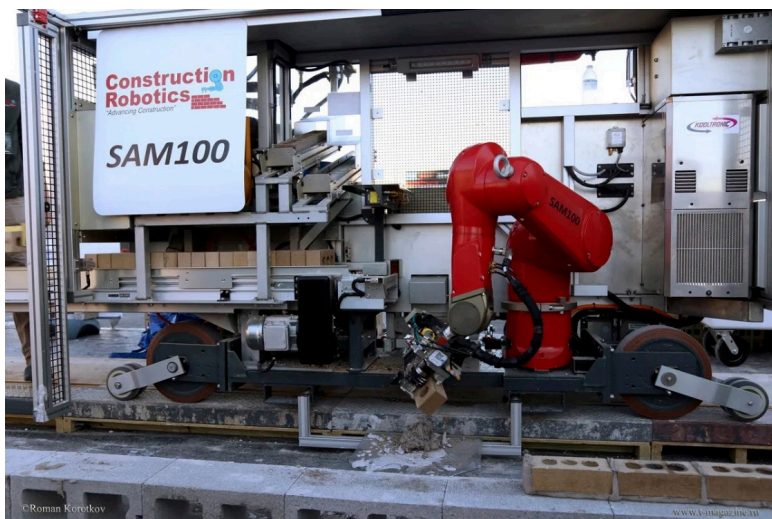


Рис. 4. Полуавтоматический робот-каменщик SAM100



Рис. 5. Автономный робот-строитель Hadrian x

Вышеперечисленные механизмы используются для различных целей. Некоторые существуют для облегчения процесса каменной кладки, некоторые для повышения качества получаемой конструкции и увеличения скорости укладки камней. Система *Hadrian x* создана для практически полной ликвидации человеческого труда при производстве каменно-кладочных работ. Однако важнейшими недостатками таких устройств является их высокая стоимость и техническая сложность. В результате поломки какой-либо составляющей механизмов потребуются долгий и дорогостоящий ремонт.

### Литература

1. Шкрабовская А. Ю., Абакумов Р. Г. Инновационные технологии в строительстве. // Инновационная наука: Международный научный журнал. 2017. № 16. С. 14–23.
2. Введение и история аддитивных технологий [Электронный ресурс]. URL: <https://extxe.com/9626/vvedenie-i-istorija-additivnyh-tehnologij> (дата обращения 05.03.2021).
3. Как Чак Халл изобрел 3D-печать [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/smileexpo/blog/420713> (дата обращения: 05.03.2021).
4. 3D-печать в строительстве: как это работает, технологии и 3D-принтеры [Электронный ресурс]. URL: <https://top3dshop.ru/blog/3d-printing-of-buildings-technologies-and-3d-printers.html> (дата обращения: 05.03.2021).
5. Чем полезен строительный 3d принтер? [Электронный ресурс]. URL: <https://stroyka.ru/articles/chem-polezen-stroitelnyj-3d-printer> (дата обращения: 06.03.2021).
6. Из первых уст: рассказ инженера Apis Cor о строительстве рекордного 3D-печатного здания в Дубае [Электронный ресурс]. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3today/iz-pervykh-ust-rasskaz-inzhenera-apis-cor-o-stroitelstve-rekordnogo-3d-pechatnogo-zdaniya-v-dubae> (дата обращения: 06.03.2021).
7. Топ-6 строительных принтеров для 3D-печати домов [Электронный ресурс]. URL: <http://robotrends.ru/pub/1718/top-6-stroitelnyh-printerov-dlya-3d-pechati-domov> (дата обращения: 06.03.2021).
8. Фото: первые дома для напечатанной на 3D-принтере деревни в Мексике от стартапа Icon [Электронный ресурс]. URL: <https://vc.ru/future/97114-foto-pervye-doma-dlya-napechatannoy-na-3d-printere-derevni-v-meksike-ot-startapa-icon> (дата обращения: 07.03.2021).
9. История возникновения кирпича [Электронный ресурс]. URL: <https://brick-library.ru/istoriya-vozniknoveniya-kirpicha> (дата обращения: 03.04.2021).
10. SAM100 // Construction Robotics: official web site. URL: <https://www.construction-robotics.com/sam100> (accessed on: 04.04.2021).
11. Fastbrick Robotics: official web site. URL: <https://www.fbr.com.au> (accessed on: 04.04.2021).

УДК 693.56

Мария Александровна Карпенко,  
студент  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
E-mail: marusia\_k17@mail.ru

Maria Aleksandrovna Karpenko,  
student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
E-mail: marusia\_k17@mail.ru

## ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА ПРЕДНАПРЯГАЕМОЙ АРМАТУРЫ

### FEATURES OF MODERN TECHNOLOGY FOR THE DEVICE OF PRESTRESSED REINFORCEMENT

Рассмотрены особенности нового метода возведения предварительно напряженных железобетонных конструкций, разработанного компанией *Freyssinet* и применяемого при устройстве предварительно напряженных монолитных железобетонных конструкций. Описаны четыре этапа монтажа системы (установка каналов и ферм; продевание кнутов в каналы и установка анкеров; натяжение; инъекция и герметизация) и указаны их особенности. Главное отличие технологии – криволинейное расположение канала для арматурных кнутов (выгнутый U-образный вид; такое же перевернутое устройство; выгнутое два-U-образное расположение). Система предварительного напряжения состоит из арматурных канатов, с обоих концов закрепленных в анкерных блоках; натяжение осуществляется домкратами. Система может вмещать от 1 до 55 кнутов 13 и 15 мм, оцинкованных или смазанных защитным веществом, и применяется для напряжения железобетонных, стальных, деревянных, армокирпичных конструкций. Также описаны типы анкеров для одно- и многоканатных систем, методы защиты арматуры от коррозии, противоразрывное и дополнительное армирование.

*Ключевые слова:* анкер, система предварительного натяжения, арматурный кнут/канат, канал, герметизация.

The article describes the method used for the construction of pre-stressed reinforced concrete structures, developed by *Freyssinet*, which is used in the installation of pre-stressed monolithic reinforced concrete structures. 4 stages of system installation (installation of canals and trusses; threading whips into channels and installing anchors; tension; injection and sealing) and their features are indicated: The main difference of this technology from the rest is the curvilinear arrangement of the channel for reinforcing whips. It can be a curved U-shape, or

the same inverted arrangement, or a curved two-U arrangement. The prestressing system consists of reinforcing ropes of both ends of fastening in anchor blocks, tension is carried out by jacks. The system can accommodate from 1 to 55 whips 13 mm and 15 mm, which can be galvanized or oiled with a protective agent, and is used for tensioning reinforced concrete, steel, timber or reinforced brick structures. The article also uses methods of corrosion protection for single-cable and multi-cable systems, reinforcement methods for anti-burst and additional reinforcement.

*Keywords:* anchor, pre-tensioning system, tendon, duct, sealing.

Компания *Freyssinet* разработала новую технологическую систему предварительного напряжения железобетонных конструкций [1]. Технические службы *Freyssinet* проектируют анкеры, домкраты и монтажное оборудование, в компании также есть испытательный центр (в том числе испытательный стенд на растяжение весом 2000 т) и лабораторию по изготовлению предварительно напряженных грунтов.

Система предварительного напряжения железобетонных конструкций включает в себя арматурные канаты, они же кнуты или пучки, анкерное устройство, в котором защемлены один и более таких пучков, а к нему, в свою очередь, крепится гидравлический домкрат, натягивающий кнуты. Пучки арматуры выглядят как канаты, только скрученные из проволочной арматуры, они вставляются в предварительно установленные каналы.

Монтаж системы *Freyssinet* включает в себя четыре основных этапа.

#### 1. Установка каналов и ферм

К особенностям метода устройства предварительно напряженной арматуры в бетонируемых конструкциях относится прежде всего криволинейное расположение каналов, которые устанавливаются до бетонирования с помощью вспомогательных ферм (рис. 1) [1].

Наиболее часто используются оболочки из гофрированной стали или ПНД.

Для наружного предварительного напряжения наиболее часто используются воздуховоды из ПНД-труб.

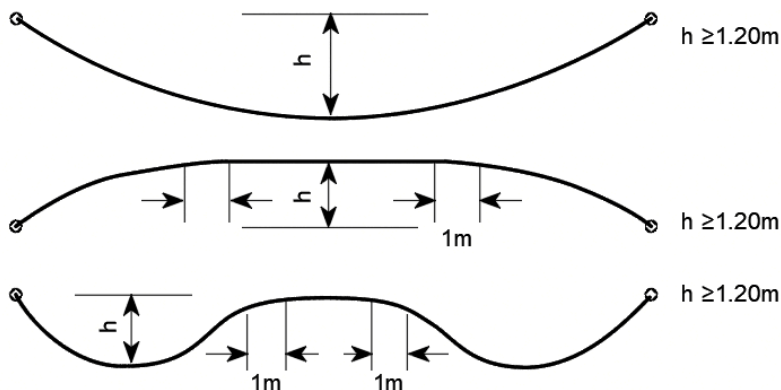


Рис. 1. Схемы расположения предварительно напряженных арматурных канатов

## 2. Продевание кнутов и установка анкеров

Еще одно отличие этой технологии в том, что арматурные канаты вставляются в каналы уже в оболочке или смазанные специальным веществом. Кнуты продеваются с одного конца.

В настоящее время на рынке в основном имеются три типа арматурных канатов: арматурные канаты без покрытия, арматурные канаты с металлическими и неметаллическими покрытиями в качестве заводской защиты от коррозии и арматурные канаты, имеющие оболочку из полимерного материала, причем пространство между оболочкой и каналом заполнено противокоррозионной композицией [2].

## 3. Натяжение

Связка кнутов натягиваются с помощью гидравлических домкратов, присоединенных к анкерам.

Временные концевые анкера и инвентарные зажимы служат для закрепления натянутой арматуры на упорах форм, поддонов и стендов до приобретения бетоном изделия прочности, достаточной для восприятия усилия натяжения арматуры [3, п. 3.2; 4].

Стоит так же обратить внимание на то, что используются новые конструкции анкеров, которые могут быть двух типов: для трех и более канатов и для одного каната.

Анкер для большого количества прядей представлен на рис. 2 [1], их разновидности и размеры показаны на рис. 3 и в таблице.

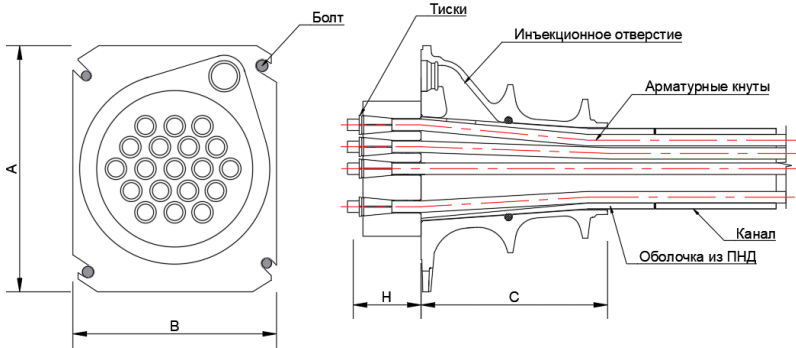


Рис. 2. Схема анкера для предварительного напряжения нескольких арматурных канатов

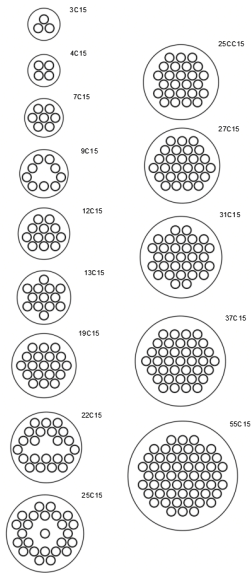


Рис. 3. Виды анкеров для предварительного напряжения арматуры

**Размеры анкеров для предварительного  
напряжения арматуры**

Марка	<i>A</i> , мм	<i>B</i> , мм	<i>C</i> , мм	<i>D</i> , мм	<i>H</i> , мм
3C15	150	110	120	85	50
4C15	150	120	125	95	50
7C15	180	150	186	110	55
9C15	225	185	260	150	55
12C15	240	200	165	150	65
13C15	250	210	246	160	70
19C15	300	250	256	185	80
22C15	330	275	430	220	90
25C15	360	300	400	230	95
25CC15	350	290	360	220	95
27C15	350	290	360	220	100
31C15	385	320	346	230	105
37C15	420	350	466	255	100
55C15	510	420	516	300	145

Такие типы анкеров удобны тем, что в них есть инъекционное отверстие, через которое можно сразу вводить антикоррозионное вещество.

Анкеры, в которых закрепляется только одна прядь, предназначены для предварительного напряжения тонких конструкций, таких как плиты перекрытия или бетонные полы (рис. 4) [1].

В таких конструкция используется тяжелый бетон с сопротивлением 22 МПа [5, табл. 6.8].

Еще одной особенностью данного метода является использование кольцевой арматуры, применяемой для снижения сосредоточенного усилия вследствие предварительного натяжения, которая устанавли-

вается в непосредственной близости от анкеров, включает в себя противоразрывное и дополнительное армирование. В качестве противоразрывного армирования применяются скрещенные обручи или спиральное армирование.

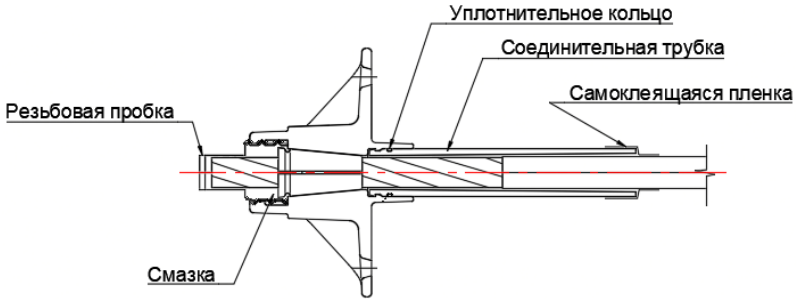


Рис. 4. Схема анкера для предварительного напряжения каната

### 1. Скрещенные обручи

На каждом слое расположены два перекрещенных обруча. По практическим соображениям каждый обруч может быть заменен двумя стремениами с эквивалентным сопротивлением нагрузке на участке (рис. 5) [1].

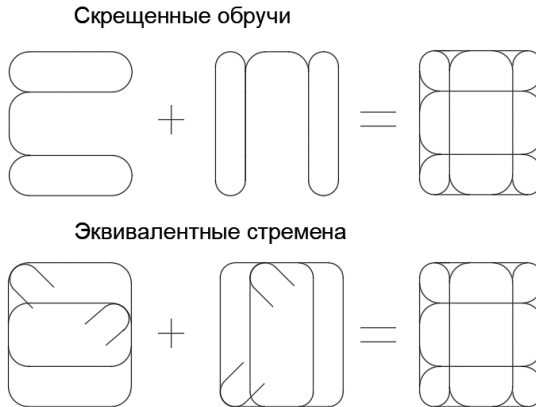


Рис. 5. Схема расположения противоразрывной арматуры первого типа



## 2. Спиральное армирование

В основном используется для изолированных анкеров (рис. 5) [1].

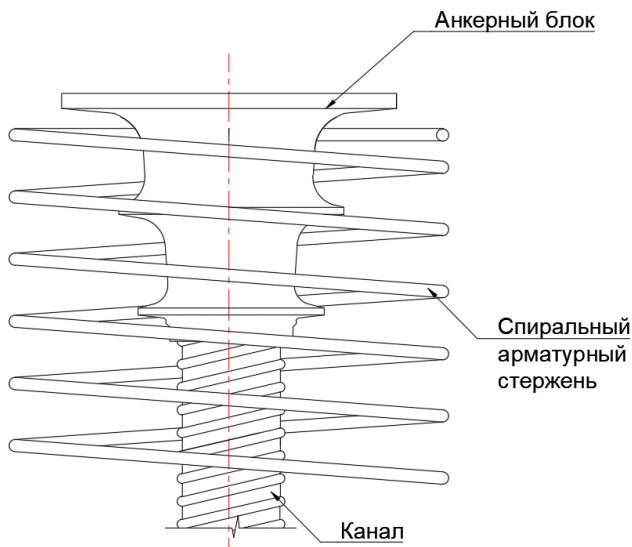


Рис. 6. Схема расположения противоразрывной арматуры второго типа

## 3. Дополнительное армирование

Противоразрывная арматура в анкерной зоне должна быть закреплена дополнительной арматурой. Дополнительная арматура располагается снаружи конструкции и играет роль затяжки. В зависимости от места закрепления концов дополнительной арматуры может быть горизонтальная и шпренгельная, а также их сочетание [6].

## 4. Инъекция и герметизация

Для защиты арматуры от коррозии необходима герметизация с помощью цементного раствора, жира или воска.

Так как рассматриваемая технология характеризуется сложным расположением каналов для арматурных стержней, необходимо использовать особые методы инъекций:

- *вакуумная инъекция* – перед заполнением создается частичный вакуум в канале;

- *дополнительная инъекция высоких точек* – дополнительные инъекции вводятся в высокие точки канала;
- *инъекция каналов с предварительно обшитыми канатами* – цементный раствор вводится в канал, в котором находятся арматурные канаты в герметичных пластиковых оболочках.

Системы предварительного напряжения должны обеспечивать безопасную и надежную обработку, установку, натяжение и полное закрепление каналов и анкерных креплений в процессе работ [7].

### Литература

1. Soletanche Freyssinet // Publication: 09/2014. С III 1. Printed in France. P. 1–35.
2. *Фрюхауф М.* Средство на основе масла, воска или жира для защиты от коррозии металлической структуры, в особенности предварительно напряженной стальной арматуры: пат. Рос. Федерация № 2686185 С1; заявл.: 12.10.2016; опубл.: 24.04.2019, Бюл. № 12. 2 с.
3. Руководство по технологии предварительного напряжения стержневой арматуры железобетонных конструкций / Научно-исследовательский институт бетона и железобетона Госстроя СССР. М.: «Издательство архитектуры по строительству», 1972. С. 8.
4. *Jing Z., Benin D., Snezhko V., Vorona-Slivinskaya L., Aksenov I.* Mechanical stresses in building structures and dry friction - ways to improve the durability of architectural structures // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. No. S2. V. 12. 2020. P. 578–585.
5. СП 63.13330.2018. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М., 2018. С. 19.
6. *Кишиневская Е. В., Ватин Н. И., Кузнецов В. Д.* Усиление строительных конструкций с использованием постнатянутого железобетона // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 3. С. 29–32.
7. ETAG 013. Post-tensioning kits for prestressing of structures. Edition June 2002. 4.1.6-I. P. 29.

УДК 624.01/.07

*Дарья Ивановна Кулакова,*  
аспирант  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: mn7701092@yandex.ru*

*Darya Ivanovna Kulakova,*  
postgraduate student  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: mn7701092@yandex.ru*

## **ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ СТЕСНЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕМОНТАЖНЫХ РАБОТ**

### **EVALUATION OF THE INDICATOR OF CONFINED SPACES OF THE CONSTRUCTION SITE SPACE DURING DISMANTLING WORKS**

Изучено влияние градостроительных норм застройки на заключительный этап жизненного цикла здания – демонтаж. Проанализированы нормативная документация и ограничения, вызванные уплотнительной застройкой. Рассмотрены объекты капитального строительства, расположенные на плотно застроенной городской территории. Дана оценка показателя стесненности строительной площадки, применяемого при выборе организационно-технологических решений и технико-экономическом обосновании демонтажных работ. Обозначены мероприятия по уменьшению негативного воздействия демонтажных работ на близлежащие застроенные территории.

*Ключевые слова:* демонтаж, строительная документация, стесненность, строительная площадка, технология.

This article examines the impact of urban planning regulations on the final stage of the building's life cycle – demolition. The analysis of regulatory documentation and existing city restrictions is carried out. Capital construction projects located in a densely populated urban area are considered. The article provides evaluation of the constraint ratio of the construction site space during dismantling works, which is used in the selection of organizational and technological solutions and the feasibility study of the demolition works performed. The measures taken to reduce the negative impact of demolition work on nearby built-up areas are indicated.

*Keywords:* demolition, engineering documentations, constraint, construction site, construction technology.

При выполнении организационно-технологических мероприятий на демонтажные работы приходится сталкиваться с различны-

ми ограничениями, которые влияют на выбор техники, технологии, организации стройплощадки.

Демонтаж здания, расположенного на плотно застроенной территории, процесс, требующий рационального подхода к выбору организационно-технологического решения. Среди различных условий [1], определяющих выбор технологии проведения демонтажных работ, особый интерес представляет градостроительный фактор.

Градостроительный фактор характеризуется плотностью застройки, транспортной инфраструктурой, сетью подземных коммуникаций и воздушных линий. И степень его влияния зависит от градостроительных норм и правил, применявшихся и применяемых к застройке территории.

Можно отметить, что характерной особенностью застройки города в XVIII–XIX вв. была брандмауэрная периметральная застройка со средней высотой лицевых домов и дворовых корпусов (флигелей) в 5–6 этажей, расположение лицевых домов выполнялось по полной ширине участка по красной линии без отступа [2]. Строительные нормы после 1940-х гг. указывают на такой параметр, как разрыв между длинными сторонами зданий. Так, например, в СН 41–58 [3] этот параметр имеет четкую формулировку размера – 2 высоты здания, а в СП 42.13330.2011 [4] рекомендуется между длинными сторонами жилых зданий принимать расстояния: для жилых зданий высотой 2–3 этажа – не менее 15 м; 4 этажа – не менее 20 м.

Учитывая вышеизложенное, можно отметить, что параметр стесненности строительной площадки будет зависеть от условий сложившейся застройки.

Для определения какие условия строительной площадки характеризуются как стесненные, необходимо обратиться к нормативно-техническим документам, которые регламентируют выполнение демонтажных работ (табл. 1).

В данной документации указываются рекомендации по работе в стесненных условиях, однако отсутствует определение термина «стесненность» и характеристики, формирующие его.

Таблица 1

**Характеристика условий стесненности строительной площадки в нормативно-технической документации на производство работ**

Нормативный документ	Определение параметра стесненности строительного участка
СТО НОСТРОЙ 2.33.53–2011. Снос (демонтаж) здания и сооружений [5]	Указываются рекомендации по работе в стесненных условиях
СП 325.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила производства работ при демонтаже и утилизации [6]	Указываются условия работ (стесненность, на действующем предприятии и т. п.)
МДС 12-64.2013. Типовой проект организации работ на демонтаж (снос) здания (сооружения) [7]	Указываются условия работ (стесненность, на действующем предприятии и т. п.). К особо опасным работам относят, например, работы строительных машин в стесненных условиях

В СТО НОСТРОЙ 2.33.86–2013 «Промышленное строительство. Реконструкция зданий и сооружений» [8] рассматриваются такие понятия, как внутренняя и внешняя стесненность строительной площадки. Внутренняя стесненность объекта реконструкции определяется условиями организации рабочих мест, включающими ограничения на формирование фронта работ, использование строительных машин и механизмов, применение технологий производства работ, взаимоувязку работ во времени и пространстве. Внешняя стесненность выражается отношением свободной площади территории строительной площадки к площади, необходимой для размещения временной строительной инфраструктуры. Оба этих понятия указываются относительно строительных работ, но для демонтажных работ также справедливы.

При выполнении экономического обоснования демонтажных работ руководствуются методикой определения сметной стоимости

строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации [9, 10], в которой стесненные условия характеризуются следующими параметрами:

- интенсивное движение городского транспорта и пешеходов в непосредственной близости (в пределах 50 м) от зоны производства работ;
- сети подземных коммуникаций, подлежащие перекладке или подвеске;
- расположение объектов капитального строительства и сохраняемых зеленых насаждений в непосредственной близости (в пределах 50 м) от зоны производства работ;
- стесненные условия или невозможность складирования материалов;
- ограничение поворота стрелы грузоподъемного крана в соответствии с данными проекта организации строительства.

Вместе с тем, выполнение работ по демонтажу объектов капитального строительства имеет ряд отличий.

Для более детального изучения особенностей выполнения демонтажных работ, в условиях плотно застроенной территории, и оценки влияния показателя стесненности на выбор ресурсно-технологической модели, автором в статье рассмотрены три объекта капитального строительства, предназначенных для демонтажа (рис. 1).

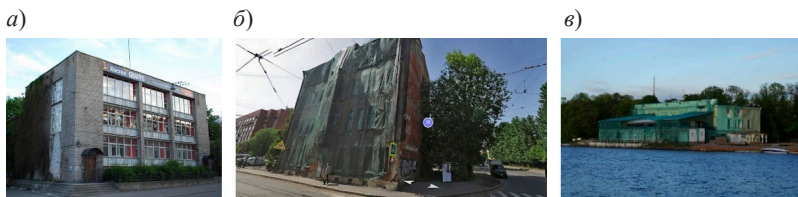


Рис. 1. Фотофиксация объектов капитального строительства:  
а – объект № 1; б – объект № 2; в – объект № 3

Два объекта, подготовленные к демонтажу, расположены в условиях плотной застройки и один объект имеет ограничения в виде

сохранения конструктивного элемента здания. Характеристика объектов представлена в табл. 2.

Таблица 2

**Характеристика объектов**

Наименование	Объект № 1	Объект № 2	Объект № 3
Характеристика объекта	Год строительства – 1962 г. Этажность – 4 эт. Высота здания – 13,2 м. Общая площадь – 845,70 м <sup>2</sup>	Год строительства – 1902 г. Этажность – 4 эт. (с подвалом и чердаком). Высота здания – 15 м. Общая площадь – 1276,1 м <sup>2</sup> . Площадь территории в границах земельного отвода – 1477 м <sup>2</sup>	Год строительства – 1934 г. Этажность – 3 эт. (с одноэтажной кирпичной пристройкой). Высота здания – 11,2 м. Общая площадь – 2637 м <sup>2</sup>

При разработке технической документации по производству работ, стройгенплана, выборе техники и технологической последовательности демонтажа были определены следующие внешние и внутренние ограничения строительной площадки (табл. 3).

Таблица 3

**Внешние и внутренние ограничения строительной площадки, влияющие на производство работ**

Ограничения	Объект № 1	Объект № 2	Объект № 3
Внешние	Жилая застройка, социальные объекты. Интенсивное движение пешеходов и автотранспорта	Жилая застройка. Интенсивное движение пешеходов. С двух сторон проходит проезжая часть с трамвайной линией	Близко расположенная набережная. Движение пешеходов

Ограничения	Объект № 1	Объект № 2	Объект № 3
На строительной площадке	Подземные и воздушные сети. Крышки колодцев. Зеленые насаждения, попадающие в зону разборки здания	Подземные и воздушные сети. Крышки колодцев. Зеленые насаждения, попадающие в зону разборки здания. Наличие у здания подвала	Подземные и воздушные сети. Зеленые насаждения, попадающие в зону разборки здания. Сохраняемая стена

Установленные ограничения строительной площадки указывают на необходимость разработки дополнительных мер безопасности и требований к производству демонтажных работ.

1. Для снижения производственных рисков:

- со стороны тротуара и наиболее интенсивного движения автотранспорта установка металлических лесов с металлической тканной или синтетической сеткой;
- ручная разборка здания до проектной отметки;
- защита крышек колодцев деревянными щитами;
- поочередная работа экскаваторов (разрушение конструкций и погрузка в автотранспорт разрушенных конструкций).

2. Для снижения экологических рисков:

- снижение уровня шума путем применения звукоизолирующих кожухов, экранов, глушителей;
- уменьшение пылеобразования разбираемых конструкций с помощью полива;
- защита сохраняемых деревьев деревянными щитами.

Выявленные ограничения, вызванные стесненностью площадки, затрудняют производство работ, влияют на увеличение времени использования техники на объекте, организации и выполнения технологических операций.

Анализируя ограничительные мероприятия, принятые при выполнении демонтажных работ рассматриваемых объектов, можно



отметить следующие неучтенные характерные признаки стесненности, позволяющие более емко оценить недостаточность свободного места на строительной площадке при производстве работ:

1) возможное падение элементов и, как следствие, для снижения высоты демонтируемых элементов применяется ручная разборка до проектной отметки;

2) невозможность пребывания на начальной стадии демонтажа объекта одновременно двух экскаваторов для непрерывного выполнения работ (одновременная работа экскаватора-разрушителя и экскаватора, собирающего бой в контейнеры);

3) отсутствие территории для накопления, сортировки и дробления материалов демонтажа;

4) необходимость борьбы с пылеобразованием;

5) наличие подвала у здания значительно затрудняет демонтажные работы и увеличивает сроки проведения, так как наезд техники на не засыпанный подвал запрещен.

Таким образом, показатель стесненности площадки при демонтажных работах выражается в большем количестве условий, что предполагает более тщательный подход к вопросу планирования и проведения демонтажных работ.

Современный подход к демонтажу зданий, расположенных в застроенной городской территории, должен основываться на сведении к минимуму неудобств для населения, обеспечению максимальной безопасности жителей и рядом расположенных зданий. Своевременный учет всех, наиболее важных факторов, влияющих на оценку стесненности площадки, позволит выбрать эффективные методы выполнения демонтажа, экономически обосновать их и минимизировать экологические риски.

### **Литература**

1. *Константинов А. С.* Разработка организационно-технологических решений демонтажа строительных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08. Харьков, 2013.

2. *Головина С. Г.* Архитектурно-конструктивные особенности этапов развития исторической жилой застройки Санкт-Петербурга XVIII – начала XX вв. // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6(77). С. 36–43.

3. СН 41-58. Правила и нормы планировки и застройки городов. М.: Государственное издательство литературы по строительству и строительным материалам, 1959. 180 с.
4. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89\*. М.: ЦНИИП Градостроительства, 2011. 114 с.
5. СТО НОСТРОЙ 2.33.53-2011. Снос (демонтаж) здания и сооружений М.: ООО «ЦНИОМТП», 2012. 38 с.
6. СП 325.1325800.2017. Здания и сооружения. Правила производства работ при демонтаже и утилизации. М.: Минстрой России, 2017. 48 с.
7. МДС 12-64.2013. Типовой проект организации работ на демонтаж (снос) здания (сооружения). М.: ЗАО «ЦНИИОМТП», 2013. 16 с.
8. СТО НОСТРОЙ 2.33.86-2013. Промышленное строительство. Реконструкция зданий и сооружений. М.: ООО «ЦНИОМТП», 2015. 100 с.
9. Методика определения сметной стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса объектов капитального строительства, работ по сохранению объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации на территории Российской Федерации: утверждена приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 4 августа 2020 г. No 421/пр. URL: [https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/3fb/Methodika-opredeleniya-smetnoy-stoimosti-stroitelstva\\_rekonstruktsii\\_kapitalnogo-remonta\\_snosa-obekтов-kapitalnogo-stroitelstva\\_rabot-po-sokhraneniyu-obekтов-kulturnogo-naslediya.pdf](https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/3fb/Methodika-opredeleniya-smetnoy-stoimosti-stroitelstva_rekonstruktsii_kapitalnogo-remonta_snosa-obekтов-kapitalnogo-stroitelstva_rabot-po-sokhraneniyu-obekтов-kulturnogo-naslediya.pdf) (дата обращения: 25.04.2021).
10. Voskresenskaya E., Zernov A., Vorona-Slivinskaya L., Kazakov Y. Administrative permitting activities in town planning // E3S Web of Conferences. Key Trends in Transportation Innovation (KTTI 2019). 2020. V. 157. Art. No. 04008. DOI:10.1051/e3sconf/202015704008.

УДК 693.542

*Валентин Станиславович Сизиков,*  
ст. преподаватель  
(Санкт-Петербургский  
государственный архитектурно-  
строительный университет)  
*E-mail: sizikovvs@yandex.ru*

*Valentin Stanislavovich Sizikov,*  
senior lecturer  
(Saint Petersburg  
State University of Architecture  
and Civil Engineering)  
*E-mail: sizikovvs@yandex.ru*

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОБИЛЬНЫХ БСУ В УСЛОВИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ**

### **TECHNOLOGICAL AND CONSTRUCTION FEATURES OF CONCRETE MIX PREPARATION USING MOBILE CONCRETE MIXING PLANT ON CONSTRUCTION SITE**

При проведении бетонных работ на объектах, удаленных от районных бетонных заводов и узлов, становится актуальной задача приготовления бетонных смесей непосредственно в условиях строительной площадки. Сдерживающими факторами для этого процесса являются существующие бетоносмесительные установки, в которых применяются бетоносмесители периодического действия и объемный принцип дозирования заполнителей. Для преодоления данных недостатков предлагается конструкция мобильной бетоносмесительной установки непрерывного действия с двухвальным бетоносмесителем и вибрационными весовыми дозаторами непрерывного действия оригинальной конструкции. В основе устройства дозатора заполнителей лежит принцип измерения веса материала по силе нормальной реакции, оказываемой слоем материала на поверхность лотка дозатора в период их совместного движения.

*Ключевые слова:* приготовление бетона, бетоносмеситель, мобильная бетоносмесительная установка, дозатор непрерывного действия.

While carrying out works on building objects which is situated far from district concrete mixing plants and stations the problem of concrete mixing on construction site becomes relevant. Restraining factors for mentioned process are existing concrete mixing plants which apply periodic concrete mixers and volumetric method of measuring aggregates. For overcoming the disadvantages of existing equipment we offer the design of mobile continuous-action concrete mixing plant applying twin-shaft paddle mixer and vibrational weight measuring batchers with original design.

The proposed aggregate batcher is based on weight measuring of the material by the normal reaction force which is rendered by the layer of material on the surface of a chute of a batcher in the period of their joint movement.

*Keywords:* concrete mixing, concrete mixer, mobile concrete mixing plant, continuous-action batcher.

При возведении различных строительных объектов и сооружений возникает задача выполнения бетонных работ как малого, так и большого объема в стесненных условиях. Приготовление бетонных смесей в этих случаях требует применения мобильных средств, причем требования к качеству бетона определяются ГОСТами [1, 2] и требованиями к технологии, определяемыми качеством возводимых сооружений.

На сегодняшний день для поставки бетона на строительные объекты в нашей стране широкое распространение получили автобетоносмесители с гравитационным смесителем с объемом смесительного барабана от 6 до 14 м<sup>3</sup> и объемом доставки бетона на объект до 8 м<sup>3</sup> (рис. 1). Однако их существенными недостатками является поставка бетона преимущественно с высокой подвижностью, невозможность перевозки бетонной смеси на расстояния более 30 км и непригодность для приготовления бетона непосредственно на стройплощадке.

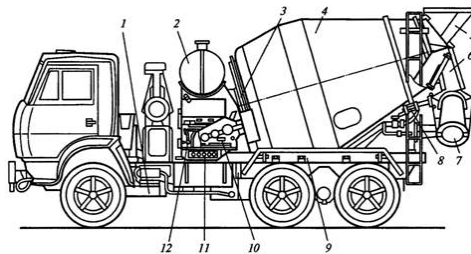


Рис. 1. Схема автобетоносмесителя с барабаном гравитационного действия: 1 – шасси автомобиля; 2 – бак для воды; 3 – механизм вращения барабана; 4 – смесительный барабан с загрузочно-разгрузочным устройством; 5 – загрузочное устройство; 6 – разгрузочное устройство; 7 – складной лоток; 8 – поворотное устройство; 9 – рама; 10, 12 – рычаги системы управления оборудованием; 11 – контрольно-измерительные приборы

Также находят применение передвижные и мобильные бетоносмесительные установки (МБСУ) с применением принудительных бетоносмесителей (рис. 2), обеспечивающих тщательное перемешивание смесей, включая жесткие. В нашей стране такие смесители выпускаются исключительно периодического действия [3].

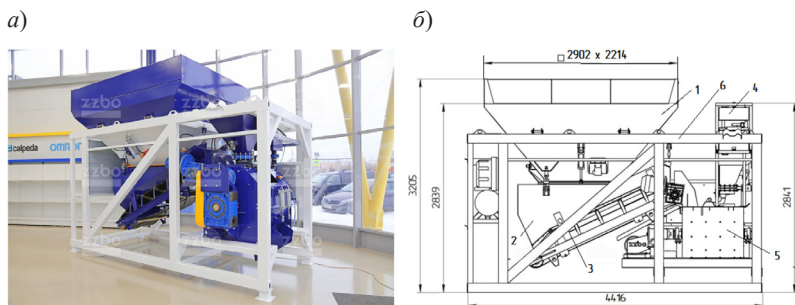


Рис. 2. Мобильный БСУ *zzbo* (г. Златоуст):  
 1 – бункер для песка и щебня; 2 – бункерный весовой дозатор;  
 3 – конвейер ленточный; 4 – дозатор цемента;  
 5 – бетоносмеситель двухвальный; 6 – рама

Однако БСУ периодического действия обладают рядом недостатков по сравнению с БСУ непрерывного действия, смесители которых имеют меньшие энергоемкость, материалоемкость и габариты, что является важным для мобильных и передвижных бетоносмесительных установок. Сравнение (см. табл.) основных характеристик двухвального принудительного смесителя непрерывного действия например итальянской фирмы *Simem* (модель *MDC 200*) с характеристиками двухвального смесителя периодического действия той же фирмы *Simem* близкой по производительности модели *MAO 5000* показывает, что эффективность применения в производстве бетона бетоносмесителей непрерывного действия значительно превышает эффективность применения бетоносмесителей периодического действия.

Также отметим, что принудительные бетоносмесители непрерывного действия как двухвальные, так и одновальные обеспечива-

ют высокое качество приготовления жестких бетонных смесей, обладающими свойствами ускоренного набора прочности, меньшей усадкой и ползучестью и высокими водонепроницаемостью и долговечностью, что является важным для возведения фундаментов, водопропускных сооружений, каналов, дорожных и аэродромных покрытий и других сооружений.

**Характеристики принудительных бетоносмесителей фирмы *Simet***

Модель	Производительность (по выходу бетона), м <sup>3</sup> /ч	Мощность электропривода, кВт	Масса, кг	Габариты Д×Ш×В, мм
<i>Simet MDC 200</i>	150	30	5400	3900×1665×1280
<i>Simet MAO 5000</i>	134 (число циклов в час $n = 40$ )	$2 \times 75 = 150$	9750	2600×4050×1727

В последнее время за рубежом появляются эффективные мобильные бетономесительные установки непрерывного действия с принудительным перемешиванием бетонной смеси, например, производителей США (*Zimmerman Industries* [4], *Holcombe Mixers*), Канады (*ProAll International Manufacturing*) и др. Они находят широкое применение за рубежом при строительстве различных ответственных объектов (рис. 3), в том числе в промышленном и гражданском строительстве, при проведении различных ремонтов и при строительстве объектов военного назначения.

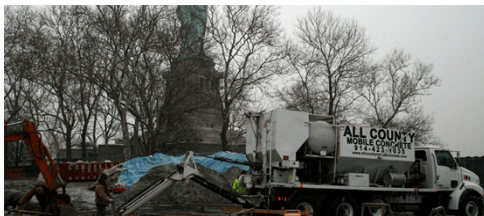
Конструкция таких машин (рис. 4) включает два бункера *10* и *11* для инертных материалов, бункер *9* для цемента, емкости *1* для воды и химических добавок *8*. Технологические операции приготовления бетонной смеси включают в себя загрузку заполнителей в приемные бункера, их поступление на ленточный конвейер *2*, на котором для дозирования заполнителей установлены дозирующие заслонки *6*. С ленточного конвейера заполнители загружаются в шнековый

смеситель 4. Одновременно с подачей заполнителей в смеситель через дозатор цемента 7 подается цемент, в который также из емкостей 1 и 8 дозированно поступают вода и химические добавки, после чего компоненты перемешиваются одновальным шнековым смесителем и готовая бетонная смесь выгружается из установки по разгрузочному лотку 5.

а)



б)



в)



г)



Рис. 3. Применение МБСУ *Zimmerman Industries* (США):  
а – на строительстве плотины; б – при ремонте статуи Свободы (Нью-Йорк, США); в – при ремонте взлетно-посадочных полос;  
г – при ремонте последствий аварии водопровода

Отметим, что в технологии приготовления бетона рассматриваемых зарубежных МБСУ отдельные потоки поступающих из бункеров песка и щебня в процессе транспортирования по ленточному конвейеру дозируются с помощью заслонок, т. е. по существу применяется объемное дозирование заполнителей. Применение объемно-

го дозирования заполнителей является существенным недостатком таких машин, поскольку при изменениях влажности и фракционного состава заполнителей точность дозирования нарушается. Поэтому требованиями ГОСТ 7473–2010 [1] предусматривается дозирование всех компонентов смеси осуществлять по массе с применением весовых дозаторов. Исключением является применение объемного дозирования в БСУ малой производительности до 5 м<sup>3</sup>/ч. При повышении производительности БСУ более 5 м<sup>3</sup>/ч из-за меньшей чем для весового дозирования точности применение объемных дозаторов не рекомендуется вследствие значительного ухудшения качества бетонной смеси. Кроме того, к недостаткам вышеупомянутых машин относится применение в них только одного бункера для крупного заполнителя, в то время как для приготовления бетонов классов В15-В40 и более требуется щебень двух фракций: 5–10 и 10–20 мм.

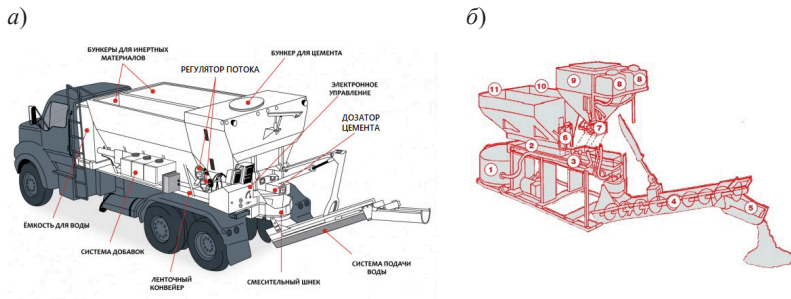


Рис. 4. МБСУ с объемным дозированием заполнителей  
(ProAll International Manufacturing): а – общий вид машины;

- б – схема бетоносмесительного оборудования: 1 – ёмкость для воды; 2 – ленточный конвейер; 3 – регулятор потока; 4 – шнековый смеситель; 5 – разгрузочный лоток; 6 – дозирующие заслонки; 7 – дозатор цемента; 8 – система добавок; 9 – бункер для цемента; 10 – бункер для щебня; 11 – бункер для песка

На основе сказанного совершенствование технологических и конструктивных особенностей процесса приготовления бетонных смесей с применением мобильных БСУ в условиях стройплощадки должно осуществляться на основе соблюдения требований



ГОСТ 7473–2010 «Смеси бетонные. Технические условия» [1] и ГОСТ 27338–93 «Установки бетоносмесительные механизированные. Общие технические условия» [2]. С учетом требований ГОСТов нами предлагается новая конструкция мобильной **бетоносмесительной установки (МБСУ)** (рис. 5).

**МБСУ предназначается** для приготовления непосредственно на стройплощадке бетона классов от В15 вплоть до высокомарочных класса В60 с подвижностью от самых жестких до самоуплотняющихся, в том числе быстротвердеющих с набором высокой прочности до 50 % за сутки. Предлагаемая **МБСУ позволит обеспечить** приготовление бетонной смеси высокого качества и непрерывную подачу свежеприготовленной смеси непосредственно в опалубку или другую конструкцию объекта с производительностью от 20 до 50 м<sup>3</sup>/ч и более. Приготовление высококачественной бетонной смеси обеспечивается применением в схеме БСУ двухвального бетоносмесителя принудительного действия и инновационных весовых дозаторов непрерывного действия высокой точности с погрешностью в пределах от 1 до 2 %, выполненных по изобретению СПбГАСУ [5], а также с применением микропроцессорного оборудования, способного хранить в памяти более 20 рецептов приготовления бетонных смесей, что обеспечит быструю смену режима работы оборудования для изменения класса бетона. Это позволит быстро изменять состав смеси в процессе строительных работ, чтобы она точно соответствовала требованиям различных бетонных конструкций в ходе строительства.

Конструкция предлагаемой МБСУ (рис. 5) включает в себя автомобиль КАМАЗ, на грузовой платформе 1 которого установлены трехсекционный бункер 2 для крупного, мелкого щебня и песка общей емкостью 7,2 м<sup>3</sup>, обеспечивающий доставку не менее 5 м<sup>3</sup> бетона. Также на платформе 1 автомобиля установлены вибрационные весовые дозаторы 3 для заполнителей непрерывного действия производительностью до 25 м<sup>3</sup>/ч и дозатор цемента непрерывного действия, состоящий из бункера 4 емкостью 2,3 м<sup>3</sup>, установленного на весоизмерительных датчиках, под которым установлен шнек 5 для загрузки цемента в смеситель. Также на платформе автомобиля

установлены бак для воды 7 с дозатором емкостью 1550 л, бак 8 с дозатором для хим. добавок емкостью 150 л. Данное оборудование обеспечивает непрерывное регулирование заданного темпа подачи инертных, цемента, воды и химических добавок в двухвальный смеситель 6 непрерывного действия. Приготовленная смесь из смесителя 6 подается на поворотный лоток 9 для удобства подачи бетона в конструкцию. Установка оборудована пультом системы автоматического управления оборудованием 10.

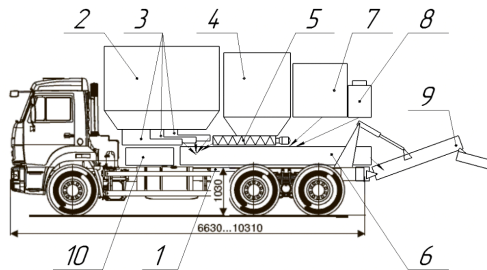


Рис. 5. Схема МБСУ на базе шасси КАМАЗ:

1 – грузовая платформа КАМАЗа; 2 – трехсекционный бункер для заполнителей; 3 – дозаторы заполнителей непрерывного действия; 4 – бункер для цемента; 5 – шнек для разгрузки цемента; 6 – двухвальный смеситель непрерывного действия; 7 – бак для воды; 8 – бак для химических добавок; 9 – разгрузочный лоток; 10 – пульт системы автоматического управления оборудованием

Мобильная БСУ может также использоваться на строительной площадке как стационарный бетонный завод при условии периодического пополнения погрузчиком бункеров инертных материалов 2 и догрузки цемента в бункер цемента 4 шнеком из мобильного силоса. Это преимущество позволяет совмещать функции как оборудования для транспортирования и порционной выдачи объема смеси на удалённых от стационарных бетонных заводов объектов, так и стационарного оборудования для производства бетона в условиях стройплощадки. Такое сочетание позволяет приготовить любое количество бетонной смеси в кратчайшие сроки. При этом если требуются другие характеристики бетонной смеси, то нет

необходимости возвращаться на стационарный бетонный завод, как это предусматривается в технологиях, использующих отечественные автобетоносмесители, поскольку для смены рецептов смеси достаточно с пульта задать новый рецепт для дозаторов. Описанные преимущества предлагаемой мобильной БСУ в сравнении с аналогами зарубежных производителей основаны на применении малогабаритного вибрационного весового дозатора заполнителей непрерывного действия оригинальной конструкции (рис. 5), совмещающего функции питателя для выгрузки заполнителей из бункеров и дозатора.

Дозатор (рис. 6) состоит из лоткового вибропитателя 1 с вибратором 2, весочувствительного элемента (датчика давления) 3, датчика 4 виброускорения с прибором контроля вибрации 5, задающего устройства 6, блока 7 регистрации, обработки и сравнения сигналов и регулирования заслонки, привода 8 регулирующей заслонки 9.

Дозируемый материал из расходного бункера подается на вибропитатель 1 дозатора. Весочувствительный элемент 3 непрерывно контролирует вес (силу  $N$ ) движущегося по вибропитателю слоя сыпучего материала путем измерения силы нормальной реакции  $N$  материала на лоток на каждом этапе совместного движения слоя материала с лотком. Сигналы, пропорциональные силе нормальной реакции  $N$ , с весочувствительного элемента 3 поступают в блок 7 регистрации, обработки и сравнения сигналов и регулирования заслонки, где производится сравнение фактического значения силы  $N$  и задающего сигнала, поступающего из задающего устройства 6 и пропорционального заданной массе слоя материала. При наличии рассогласования этих сигналов в блоке 7 формируется сигнал, поступающий на привод 8 регулирующей заслонки 9, при помощи которой корректируется толщина слоя материала и тем самым поддерживается производительность дозатора на заданном уровне. Параметры колебаний виброоргана (амплитуду колебаний  $A$  и частоту колебаний  $\omega$ ) можно контролировать при помощи прибора контроля вибрации 5 по сигналам, поступающим с датчика виброускорения 4.

На рис. 7 показана осциллограмма, поясняющая принцип измерения веса материала датчиком давления 3 при непрерывном транс-

портировании материала, где измерение веса материала производится в момент достижения максимальной величины силы нормальной реакции  $N$ , показанный на осциллограмме фазовым углом  $\varphi_2$ .

Также на примере осциллограммы (рис. 7) показаны продолжительности действия периода совместного движения материала с лотком ( $\varphi_{совм} = 165^\circ$ ) и периода полета материала ( $\varphi_{пол} = 195^\circ$ ).

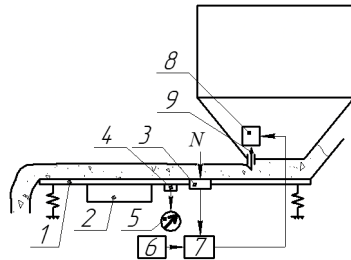


Рис. 6. Схема вибрационного дозатора заполнителей непрерывного действия: 1 – вибропитатель дозатора; 2 – вибратор; 3 – весочувствительный элемент (датчик давления); 4 – датчик виброускорения; 5 – прибор контроля вибрации; 6 – задающее устройство; 7 – блок регистрации, обработки и сравнения сигналов и регулирования заслонки; 8 – привод заслонки; 9 – регулирующая заслонка

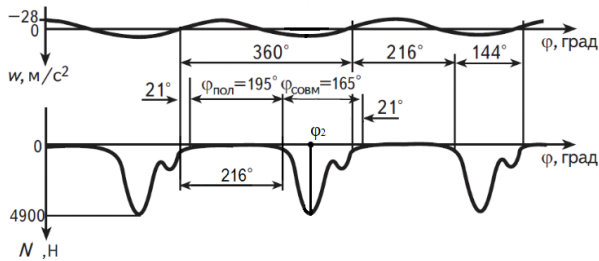


Рис. 7. Осциллограмма параметров виброперемещения материала по лотку вибропитателя (ускорения  $w$  лотка и силы  $N$  нормальной реакции материала на лоток): амплитуда колебаний  $A = 3,5$  мм; частота колебаний  $\omega = 89,5$  рад/с; высота слоя материала  $h_{сл} = 80$  мм; эквивалентный диаметр частиц материала  $d_{экр} = 0,28$  мм; угол вибрации  $\beta = 55^\circ$ ;  $\varphi$  – фазовый угол

Применение предложенной конструкции мобильной БСУ, основанной на использовании непрерывных вибродозаторов заполнителей, цемента, воды и хим. добавок и двухвального бетоносмесителя принудительного действия, позволит производить бетонные смеси классов от В15 до В60 с различной крупностью заполнителей и обеспечить предусмотренные ГОСТ 7374–2010 погрешности весового дозирования заполнителей не более 3%, а также цемента, воды и химдобавок не более 2 %. На основе изложенного нами готовится техническое предложение на выполнение НИОКР по созданию описанной мобильной БСУ для организаций, занимающихся изготовлением и реализацией подобной строительной техники (КАМАЗ, ТоМеЗ и др.), что несомненно приведет к обеспечению строителей более эффективными техническими средствами для производства бетонных работ в условиях стройплощадки.

#### **Литература**

1. ГОСТ 7374-2010. Смеси бетонные. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. 19 с.
2. ГОСТ 27338-93 Установки бетоносмесительные механизированные. Общие технические условия. М.: Издательство стандартов, 1994. 11 с.
3. Златоустовский завод бетоносмесительного оборудования – мобильные бетонные заводы: [электронный ресурс]. 2003–2021. URL: <http://zzbo.ru/mobilnye-betonnye-zavody/> (дата обращения: 20.04.2021).
4. Мобильные бетоносмесительные установки Zimmermann: [электронный ресурс]. URL: <http://www.zimmermanindustries.com/products> (дата обращения: 20.04.2021).
5. А. с. 563578 СССР, МКИ G01G11/04. Весовой дозатор непрерывного действия / С.А. Сизиков, В.Л. Лапшин, А.Ф. Тихонов, В.П. Копылов. № 4087421/24-10; заявл. 22.05.86; опубл. 07.05.88, бюл. № 17.

**УДК 502.3**

*Екатерина Владимировна Вяхирева,*

студент

*Александра Ростиславовна Красушкина,*

студент

(Санкт-Петербургский

государственный архитектурно-

строительный университет)

*E-mail: ms.katesun@mail.ru,*

*sashcher1777@gmail.ru*

*Ekaterina Vladimirovna Vyakhireva,*

student

*Aleksandra Rostislavovna Krasushkina,*

student

(Saint Petersburg

State University of Architecture

and Civil Engineering)

*E-mail: ms.katesun@mail.ru,*

*sashcher@mail.ru*

## **МЕТОДИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗДАНИЯ**

### **BUILDING ENVIRONMENTAL ASSESSMENT METHODS**

Раскрывается тема экологического строительства, влияния распространения стандартов, рейтингов и сертификаций на создание экологически чистых и энергоэффективных зданий. Приведена классификация зарубежных рейтинговых систем по количеству сертифицированных объектов. Изучены критерии и основные методики экологической оценки зданий на примере широко применяемых стандартов в области «зелёного» строительства, выявлены их сходства и различия. Рассмотрена сертификация системы менеджмента «Бережливое производство», использование которой вместе с существующими стандартами также позволяет оценить уровень экологичности зданий и сооружений. Приведены возможные виды потерь, указаны методы, позволяющие их избежать.

*Ключевые слова:* экологическое строительство, система сертификации, стандарт, рейтинг, оценка, здание, сооружение, окружающая среда.

The article reveals the topic of ecological construction, the impact of the spread of standards, ratings, certification systems on the creation of environmentally-friendly and energy-efficient buildings. The classification of worldwide rating systems by the number of certified objects is given. Criteria and basic methods of building environmental assessment are considered on example of widely used green standards for buildings, similarities and differences of these standards are also given. The article discusses “Lean manufacture” management system certification, which may be used as the assessment tool of environmental-friendliness of buildings and constructions along with the existing standards. Possible types of loses and methods by which they can be avoided are considered.

*Keywords:* ecological construction, certification system, standard, rating, assessment, building, construction, environment.

Здания оказывают прямое и косвенное воздействие на окружающую среду. В процессе строительства, эксплуатации, реконструкции и реставрации, перепрофилирования и сноса здания используются энергия, вода, сырьё, образуются отходы, потенциально опасные выбросы выделяются в атмосферу. Эти факты побудили к созданию стандартов «зелёного» строительства, систем сертификаций и рейтинговых систем, направленных на смягчение воздействия строительной деятельности на окружающую среду за счёт экологического проектирования.

Стремление к экологическому проектированию усилилось во время запуска британской организацией *BRE Global* в 1990 г. «Методики экологической оценки эффективности здания» *BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)*, первой в мире рейтинговой системы «зелёного» строительства. В 2000 г. Совет по экологическому строительству США (*USGBC*) последовал этому примеру, и разработал и выпустил ряд критериев также направленных на улучшение экологических характеристик здания за счёт своей рейтинговой системы для нового строительства *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)*.

С тех пор, как первая версия стандарта была выпущена, *LEED* начал получать известность и включать рейтинговые системы оценивания для уже существующих зданий и целых кварталов [1]. Другие страны также отреагировали на растущий интерес и спрос экологически безопасного проектирования. На основе уже существующих стандартов были разработаны дополнительные рейтинговые системы, адаптированные к национальным приоритетам и требованиям или стремящиеся выйти за рамки ограничений существующей политики и методов строительства.

В настоящее время на рынке наблюдается распространение программ стандартов, рейтингов и сертификаций, которые помогают документировать усилия по созданию экологически чистых и высокопроизводительных зданий. По количеству сертифицированных объектов их можно разделить на три группы: глобальные, региональные и локальные рейтинговые системы.

**Глобальные рейтинговые системы** – это такие системы оценивания, которые были приняты в качестве национальных или легли в основу национальных рейтинговых систем во многих странах. К таким относятся системы экологической оценки здания *BREEAM* (более 565 000 сертифицированных объектов, среди которых около 130 приходится на Россию) и *LEED* (более 49 000 сертифицированных объектов, из которых 59 – в России) [2].

Система *BREEAM* оценивает здание по девяти категориям:

- 1) менеджмент;
- 2) здоровье и благополучие;
- 3) энергия;
- 4) транспорт;
- 5) вода;
- 6) материалы;
- 7) отходы;
- 8) землепользование и экология;
- 9) загрязнение.

Каждая из категорий включает в себя несколько субкритериев. Во многом из-за того, что количество субкритериев для каждой категории разное, каждый критерий обладает определённым весом. Например, наибольший – у «Энергии» – 0,19, а наименьший у «Отходов» – 0,075. Количество баллов, присваиваемое объекту по каждому из критериев оценки, также разнится. Максимальное число при базовом подсчёте имеет критерий «Энергия» – 34 балла, минимальное – «Землепользование и экология» – 5 баллов.

Сумма показателей всех критериев и является финальной оценкой. В зависимости от набранных процентов присваивается рейтинг в диапазоне от «неудовлетворительно» (сертификация не пройдена) до «блестяще» [3].

**Региональные рейтинговые системы.** Число объектов, сертифицированных рейтинговыми системами данной группы значительно меньше, чем сертифицированных глобальными рейтинговыми системами, однако это не говорит, о том, что региональные стандарты менее эффективны. К данной группе можно отнести австралийский стандарт *Green Star*, благодаря которому более 1900 проектов по всей



Австралии получили свой экологический рейтинг. Существуют также национальные версии данного стандарта в Южной Африке и Новой Зеландии.

Стандарт *Green Star* был разработан советом по «зелёному» строительству Австралии в 2014 г. на основе уже существующих стандартов *BREEAM* и *LEED* [4].

Категории оценки по стандарту *Green Star*:

- менеджмент;
- благоприятная среда внутри помещения;
- энергия;
- транспорт;
- вода;
- материалы;
- экология и землепользование;
- эмиссия;
- инновации.

Так же, как и в ранее рассмотренной системе оценивания *BREEAM*, каждый из показателей имеет свой собственный вес относительно других. Наибольший вес в данном стандарте у показателя «Энергия», наименьший – у показателя «Выбросы». Финальная оценка выражается в звёздах, в зависимости от количества набранных баллов. Проект может получить от одной звезды (от 10–19 баллов) до шести (свыше 75 баллов).

**Локальные рейтинговые системы.** К ним относятся все национальные стандарты. Например, немецкий стандарт *DGNB*, французский *HQE*, датский *EcoProfile*, японский *CASBEE*, канадский *GBL*, отечественный стандарт РФ ГОСТ Р 54964–2012.

Французский стандарт *HQE* (стандарт высокого качества окружающей среды) – стандарт «зелёного» строительства во Франции, основанный на принципах устойчивого развития, принятый в 1992 г. на Саммите Земли. На данный момент Стандарт контролируется французской Ассоциацией по высокому качеству окружающей среды (*Association pour la Haute Qualité Environnementale (ASSOHQE)*) [1].

Категории оценки по стандарту *HQE*:

- энергия;

- окружающая среда (ландшафт, материалы, строительная площадка, отходы, вода, техническое обслуживание);
- здоровье (качество внутренних пространств, качество воздуха, качество воды);
- комфорт (гигротермический, акустический, визуальный, ольфактивный).

Данный стандарт состоит из двух типов требований: требования, связанные с оценкой экологичности здания, и требования к экологическому менеджменту проекта. Так заказчику легко выявить приоритетные задачи и желаемый уровень сертификации.

Уровень эффективности по каждому пункту определяют в соответствии с типологией, назначением здания, местными и климатическими особенностями, строительными практиками. Например, технические требования к термоизоляции для холодного склада и отеля будут отличаться.

Оценить уровень экологичности зданий и сооружений можно с использованием сертификации системы менеджмента «Бережливое производство» (*Lean Production*). Это концепция, отцом-основателем которой считается Тайити Оно, впервые внедривший бережливое производство в Японии в 1950-х гг. в производственную систему компании Тойота. Данная методология подразумевает под собой создание такой системы, которая максимально ориентирована на создание потребительской ценности, охватывает все процессы организации и позволяет достигнуть их постоянного совершенствования с помощью вовлечения сотрудников и устранения всех видов потерь. Потерей считается любая деятельность, потребляющая ресурсы и не создающая при этом ценности.

В современной методологии существует семь видов потерь:

- 1) из-за перепроизводства (возникают тогда, когда количество производимой продукции значительно превышает требуемое);
- 2) из-за ожидания (простой во время работы, связанные с ожиданием материалов, инструментов);
- 3) из-за лишних перемещений (совершение сотрудниками движений, в которых нет необходимости);

4) при транспортировке (возникают в случаях, когда передвижения материалов, оборудования, информации осуществляется чаще и на большие расстояния, чем это необходимо);

5) при производстве дефектной продукции (необходимость перевыпуска продукции низкого качества влечет за собой разного рода затраты);

6) из-за излишних запасов (потери, возникающие в результате избыточного хранения материалов и комплектующих);

7) из-за дополнительной обработки (осуществление ненужной или неправильной обработки, за которую потребитель не готов платить).

В некоторых случаях выделяют еще один, восьмой, вид – потери человеческого капитала, возникающие тогда, когда потенциал сотрудников не используется или используется не в полной мере. Любые скрытые потери способны значительно уменьшить эффективность деятельности организации и создают дополнительную нагрузку. Выявить и устранить потери можно при внедрении методов бережливого производства:

- картирование потока создания ценности (реализация данного метода достигается путем составления карты с описанием всех выполняемых процессов, позволяющей оценить, какие из процессов не несут ценности, и выявить проблемные области, в которых обнаружены потери);

- система 5S;

- система непрерывного совершенствования кайдзен (подразумевает использование принципов и методов, обеспечивающих непрерывное и постоянное улучшение работы организации и качества выпускаемой продукции);

- система «точно вовремя»;

- канбан (позволяет добиться сокращения потерь из-за переизводства с помощью использования карточек, сигнализирующих о необходимости поставки определенного объема ресурсов и дающих указания касательно их дальнейшего перемещения) [5].

Метод системы 5S представляет собой комплекс мероприятий по организации рабочего пространства и включает в себя пять эта-

пов (сортировка, соблюдение порядка, содержание рабочего пространства в чистоте, стандартизацию и совершенствование), которые обеспечивают создание и поддержание комплексной рабочей среды, способствующей росту производительности и качества продукции, а также улучшению условий труда и самочувствия сотрудников.

Система «точно вовремя» обеспечивает выполнение всех процессов точно в срок. При предоставлении материалов, инструментов, сотрудников, только тогда, когда это необходимо, потери в ходе выполнения процесса становятся минимальны. Использование этой системы на практике обеспечивает максимально возможное использование ресурсов и сокращение времени цикла [6].

Все перечисленные методы бережливого производства могут быть использованы при проектировании различных объектов: зданий, транспортных систем, промышленных предприятий. Главная цель бережливого производства – снижение потерь различных ресурсов на всех этапах жизненного цикла – предполагает и снижение нагрузки на окружающую среду. Внедрение концепции бережливого производства позволяет добиться минимизации затрат и повышения ресурсоэффективности.

Подводя итог, можно отметить, что в настоящий момент в мире существует множество рейтинговых инструментов экологической оценки здания, что оправдывается особенностями географического положения зданий, а именно: разнообразием климатических условий, природных особенностей, выбором строительных материалов в месте реализации объекта и множеством других факторов. Несмотря на то, что философия, подходы и методы сертификации в разных системах различаются, общая цель одна и состоит в том, что проектам присваивается сертификат только тогда, когда на всех его этапах выполнена программа по снижению вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека.

Анализируя примеры зарубежных систем экологической сертификаций, можно убедиться в том, что они имеют довольно богатый и успешный опыт применения во всём мире. Однако в России инструменты экологической оценки зданий практически не применяются, а стандарт зеленой сертификации пока только находится

в разработке. В дальнейшем необходимо определить, на какую именно из существующих систем экологических стандартов лучше всего ориентироваться России.

### Литература

1. *Stephanie Vierra*. Green Building Standards and Certification Systems // Whole Building Design Guide. 2019. URL: <https://www.wbdg.org/resources/green-building-standards-and-certification-systems/> (accessed on: 22.04.2021).

2. *Жуковская А. Ю., Гераськин Ю. М.* Применение зелёных стандартов в России: проблемы и перспективы // Вестник Евразийской науки. 2019. Т. 11. № 2. URL: <https://esj.today/PDF/37SAVN219.pdf> (дата обращения: 22.04.2021).

3. BRE Environmental & Sustainability Standard. BREEAM Europe Commercial Assessor Manual, SD 5066A: ISSUE 1.1, 2009. URL: [https://tools.breeam.com/filelibrary/Technical%20Manuals/BREEAM\\_Europe\\_Commercial\\_2009.pdf](https://tools.breeam.com/filelibrary/Technical%20Manuals/BREEAM_Europe_Commercial_2009.pdf) (accessed on: 22.04.2021).

4. *Теличенко В. И., Бенуж А. А.* Обзор и классификация рейтинговых систем сертификации зданий и сооружений // Вестник Волгогр. гос. архит.-стройт. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. 2013. Вып. 31(50). Ч. 1. Города России. Проблемы проектирования и реализации. С. 239–243.

5. *Вумек Д., Джонс Д.* Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. М.: Альпина Паблишер, 2018. 472 с.

6. *Reed R., Bilos A., Wilkinson S., Schulte-Werner K.* International comparison of sustainable rating tools // Journal of sustainable real estate. 2009. Vol. 1. № 1. P. 1–22.

## СОДЕРЖАНИЕ

### АРХИТЕКТУРА

<i>А. В. Бредихина.</i> История и реновация пассажей Санкт-Петербурга . . . . .	3
<i>И. С. Ильдерякова.</i> Московский опыт реновации жилого фонда пятиэтажных панельных домов и возможность его применения для комплексного развития территорий регионов России . . . . .	13
<i>В. В. Лазина.</i> Современные принципы объемно-планировочной организации учреждений общего образования . . . . .	19
<i>А. И. Пустотина.</i> Современные аспекты архитектурно- градостроительного проектирования медицинских научно-исследовательских центров . . . . .	28
<i>Д. А. Рена.</i> Архитектурно-строительные знания в эпоху Средневековья . . . . .	35
<i>Р. Р. Гашикбаров.</i> Модернизация благоустройства архитектурной среды кварталов массовой застройки 1950–1960-х гг. в Санкт-Петербурге . . . . .	44
<i>Я. В. Елизарова, О. А. Устимова.</i> Создание общественных пространств на участке пролегания железной дороги . . . . .	56
<i>А. А. Омелян, О. Д. Кудлай, Т. С. Марцинкевич.</i> Геометрические формы как основа архитектурной композиции . . . . .	65
<i>В. М. Юркевич.</i> Выявление типов жилой среды крупнейшего города с точки зрения соответствия принципам устойчивого развития (на примере Санкт-Петербурга) . . . . .	72

### СТРОИТЕЛЬСТВО

<i>Д. Н. Наборщикова, Е. А. Зорина, Г. А. Аверченко.</i> Усиление перекрытий и пролетных строений мостов стеклопластиковой арматурой под автомобильную нагрузку . . . . .	82
<i>М. И. Бабаев.</i> Современные тенденции развития модульной архитектуры. Мировой и российский опыт . . . . .	89
<i>А. А. Чеглакова, А. Н. Подольская.</i> Влияние геологии на конструктивные решения при проектировании и строительстве горных тоннелей (на примере Готардского базисного тоннеля) . . . . .	102
<i>А. А. Рыбак.</i> Расчетное обоснование геометрических и механических параметров ограждений котлованов . . . . .	110

## Содержание

---

<i>С. Н. Сулейманова.</i> Сравнительный анализ методов расчета устойчивости откосов . . . . .	118
<i>Т. М. Сухов, Е. Э. Тумашевская, А. В. Бояринцев.</i> Изменение свойств шероховатости поверхности материала композитной сваи при ее вдавливании в грунт . . . . .	128
<i>К. А. Назарова.</i> Натурные экспериментальные исследования сталежелезобетонного перекрытия . . . . .	136
<i>С. В. Осыков.</i> Расчет монолитных каркасных зданий на прогрессирующее обрушение квазистатическим методом . . . . .	150
<i>В. А. Алфимов.</i> Применение машинного обучения с подкреплением к задаче принятия решений на финансовом рынке . . . . .	157
<i>Н. В. Баланков.</i> Фреймворк для детекции ботов на основе анализа поведения . . . . .	164
<i>Д. В. Гриник, В. С. Митрофанова, А. В. Шишацкая.</i> Критерии глобальной асимптотики систем непрямого управления с периодическими нелинейностями . . . . .	169
<i>К. В. Клубникина.</i> Математические методы оценки надежности теплоснабжения . . . . .	176
<i>Д. Р. Шагиахметова, А. В. Марданова.</i> Задачи на экстремум функции нескольких переменных. Оптимизация производственной функции Кобба – Дугласа . . . . .	183
<i>Д. И. Добин.</i> Исследование зависимости механических свойств конструкционной стали от низких температур . . . . .	190
<i>М. О. Лобовский.</i> Механический способ измерения деформаций и усилий с помощью микрометра . . . . .	197
<i>А. А. Юхнина.</i> Сравнительный анализ параметров, влияющих на податливость соединения колонны с фундаментом . . . . .	206
<i>Б. И. Кондаков.</i> Набег бора (цунами) на прибрежные сооружения . . . . .	215
<i>Е. В. Шмельёва, А. Э. Щегольков.</i> Инновационные методы строительного производства . . . . .	223
<i>М. А. Карпенко.</i> Особенности современной технологии устройства преднапрягаемой арматуры . . . . .	234
<i>Д. И. Кулакова.</i> Оценка показателя стесненности строительной площадки при производстве демонтажных работ . . . . .	242
<i>В. С. Сизиков.</i> Технологические и конструктивные особенности процесса приготовления бетонных смесей с применением мобильных БСУ в условиях строительной площадки . . . . .	250
<i>Е. В. Вяхирева, А. Р. Красушкина.</i> Методики экологической оценки здания . . . . .	261

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
СОВРЕМЕННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**Часть 1**

Материалы LXXIV Всероссийской  
научно-практической конференции  
студентов, аспирантов и молодых ученых

5–9 апреля 2021 года

Компьютерная верстка *О. Н. Комиссаровой*

Подписано к печати 20.12.2021. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 15,81. Тираж 300 экз. Заказ 150. «С» 77.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.



ДЛЯ ЗАПИСЕЙ