

По композиционному расположению «небесные мосты» подразделяются на горизонтальные объемы верхних уровней и связующие элементы между отметками выше 6-го этажа.

К примерам первой группы объектов относятся такие небоскребы, как «Коллинз-Арк» (Мельбурн, 2020 г.), «Белла Скай» (Копенгаген, 2011 г.), Общественный центр в Ханчжоу (2012 г.).

Во вторую группу высотных объектов входят Голден-Игл-Тяньди (Нанкин, 2013-2019 гг.), «Конкорд Сити Палас» (Торонто, 2013 г.), «Хайлайт Тауэрс» (Мюнхен, 2004 г.).

На основе анализа объектов высотного строительства были определены следующие преимущества «высотных мостов»:

- конструктивный аспект: повышение устойчивости и сопротивления к ветровым, а также сейсмическим нагрузкам;
- экономический аспект: увеличение полезной площади и, как следствие, срока окупаемости;
- композиционный аспект: создание уникальной архитектурно-пластической выразительности объекта;
- циркуляция: обеспечение пожарной безопасности, вариативность маршрутов;

- программный аспект: функциональная диверсификация (в т. ч. многообразие, расширение);
- урбанистический аспект: интеграция в городскую ткань, взаимодействие сообществ.

Анализ истории развития «небесных мостов», а также их современной вариативности позволил обозначить основные формы интеграции горизонтальных связей в высотном строительстве, а также представить выделенный феномен как перспективный инструмент архитектурно-планировочных решений небоскребов.

#### Список литературы

1. Маклакова, Т. Г. Высотные здания. Градостроительные и архитектурно-конструктивные проблемы проектирования / Т. Г. Маклакова. – Изд. 2-е. – Москва: АСБ, 2008.
2. Wood, A. Skybridges: A History and a View to the Near Future / A. Wood, D. Safarik // CTBUH (Council on Tall Buildings and Urban Habitat). – 2019. – Vol 8. – No 1. – P. 1-18. – URL: [https://cloud.ctbuh.org/research/projects/skybridges/Interim%20Report\\_public\\_edition\\_sm.pdf](https://cloud.ctbuh.org/research/projects/skybridges/Interim%20Report_public_edition_sm.pdf) (date of access: 24.10.2023).
3. Wood, A. Skybridges: State of the Art / A. Wood, P. Du, D. Safarik // CTBUH (Council on Tall Buildings and Urban Habitat). – 2020. – P. 36-47. – URL: [https://global.ctbuh.org/resources/papers/4340-Wood\\_Skybridges.pdf](https://global.ctbuh.org/resources/papers/4340-Wood_Skybridges.pdf) (date of access: 26.10.2023).

К. А. Пшеничникова

K. A. Pshenichnikova

### Формирование быстровозводимых объектов в условиях воздействия антропогенных и природных факторов\*

### Formation of prefabricated facilities under the influence of anthropogenic and natural factors

**Ключевые слова:** быстровозводимая архитектура, экстремальные условия среды, сборные строительные системы, модульная архитектура, 3D-печатные строительные системы

**Keywords:** prefabricated architecture, extreme environmental conditions, prefabricated building systems, modular architecture, 3D printed building systems

**Аннотация.** Статья посвящена актуальной проблеме формирования быстровозводимых архитектурных объектов для территорий, подвергшихся воздействию антропогенных и природных факторов. Выявляются подходы к организации пространственной среды обитания с использованием быстровозводимых объектов: технических и социальных. Определено, что рост воздействий, которые наносят значительный ущерб и способствуют перемещению населения, является вызовом для архитекторов и требует создания благоприятной искусственной среды. Методологический подход к исследованию основан на системном анализе реализованных и спроектированных быстровозводимых объектов в условиях многофакторных рисков, а также изучении открытых научных исследований. Материалы статьи могут применяться для теории и практики формирования быстровозводимых объектов в экстремальных условиях.

**Abstract.** The article is devoted to the urgent problem of the formation of prefabricated architectural objects for territories exposed to anthropogenic and natural factors. The approaches to the organization of spatial habitat using prefabricated facilities are identified: technical and social. It is determined that the growth of impacts that cause significant damage and contribute to the displacement of the population is a challenge for architects and requires the creation of a favorable artificial environment. The methodological approach to the study is based on a systematic analysis of implemented and designed prefabricated facilities in conditions of multifactorial risks, as well as the study of open scientific research. The materials of the article can be used for the theory and practice of the formation of prefabricated objects in extreme conditions.

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-00960, <https://rscf.ru/project/24-28-00960/>

В связи с тем, что природные, техногенные и антропогенные воздействия разрушают среду обитания людей

по всему миру, восстановление жилья и инфраструктуры стало критически важной темой.

Негативные социальные и финансовые последствия бедствий усиливаются по мере роста населенных пунктов. Архитектура экстремальных сред<sup>1</sup> играет важную роль не только в восстановлении инфраструктуры, но и в удовлетворении социальных потребностей населения, обеспечении комфорта и безопасности пострадавших, предоставляя им необходимое укрытие, а в долгосрочной перспективе – осуществляя реконструкцию и способствуя стабильности.

В природном слое негативные факторы связаны с физико-климатическими условиями: *экстремальные природные зоны* – Юг, Север, высокогорные районы; *экстремальные природные среды* – земля, вода, воздух, космос; *экстремальные природные стихии* – водные, земные, воздушные [1].

В антропогенном слое помимо физических параметров, таких как ограничения по застройке, охраняемому природному и историческому ландшафту и труднодоступности, можно выделить экстремальные социальные параметры: *общественные* – социальные конфликты, проектные ограничения, экстремальный отдых; *политические* – внешняя политика (состояние войны, территории с последствиями военных действий, другие внешнеполитические конфликты) и внутренняя политика (политическая нестабильность); *экономические* – недостаток ресурсов, социальное жилье, ресурсосбережение; *экологические* – переуплотнение, отклонения в нормативных показателях среды – влажность, загрязненность и т. д., близость техногенных источников опасности – магистрали, линии метро, железные дороги, заводы, городские свалки [11, 12].

На сегодняшний день практика восстановления во многих случаях основана на переводе пострадавших из временных убежищ в объекты постоянного размещения, что занимает длительный переходный период. Быстровозводимые<sup>2</sup> жилые здания могут быть предоставлены в течение нескольких дней в качестве немедленной помощи в условиях влияния негативных факторов. Временное жилье на этапе восстановления имеет решающее значение для обеспечения комфорта и постепенного возвращения к нормальной жизнедеятельности.

Необходимость архитекторов реагировать на последствия указанных факторов приводит к поиску систем, основанных на комплексных решениях и отвечающих требованиям безопасности, устойчивости,

функциональности и доступности. Вопрос обеспечения быстровозводимым временным жильем после катастроф актуален начиная с XX века. Созданию и совершенствованию такого рода жилья способствовало *технологическое развитие строительных материалов с разнообразными структурными и функциональными возможностями*, которое привело к повышению эффективности и снижению затрат, и *проектирование, производство и строительство с использованием современных технологических методов* [8]. Наиболее важным было достижение максимальной эффективности быстровозводимого строительства при минимальных затратах на материалы, рабочую силу и время, что достигается при *изготовлении и доставке на предполагаемое место или строительстве на месте с использованием доступных материалов*.

Исследование направлено на изучение подходов с применением быстровозводимых *сборных строительных систем, модульных систем, систем на основе локальных (местных) материалов и 3D-печатных систем*.

**Сборные строительные системы** основаны на изготовлении деталей с возведением на месте или доставкой на объект в виде интегрированного жилищного блока и делятся на *закрытые и открытые*.

*Закрытые сборные строительные системы* относятся к объектам *нерегулируемой конфигурации и формы* [4]. Производство блоков происходит на удаленных заводах с транспортировкой в районы антропогенных и природных бедствий, объекты в короткие сроки возводятся на месте [15]. Закрытые сборные системы представляют собой портативные интегрированные блоки, в которых возможно совмещение конвейерных колес с корпусным блоком. Примером быстровозводимых закрытых сборных систем служит проект контейнерных домов Ex-Container для переселения после широкомасштабных землетрясений и цунами в Японии [5].

*Открытые сборные строительные системы*, предназначенные для изготовления жилых объектов, состоят из *сборных элементов и частей*, а не готовых блоков. Отдельные части и компоненты производятся на заводах, а затем отправляются в районы стихийных бедствий или зоны антропогенного воздействия, где их модифицируют и устанавливают в краткие сроки [4]. Компоненты укладывают на поддоны, после чего их можно компактно упаковать и переместить в транспортные контейнеры, а затем установить на месте. Примером открытой системы служит сборный дом после катастрофы, разработанный финскими студентами в рамках программы Alto Wood из местного материала – дерева [10]. Фанерные панели собираются на заводе и отправляются на место, где крепятся с помощью деревянных дюбелей и нейлоновых ремней, что устраняет потребность в металлических крепежах и электрических инструментах. После пяти лет использования материалы дома могут быть утилизированы, переработаны или повторно использованы.

**Модульные системы** представляют собой жилые единицы, собранные на заводе и готовые на 90%. Их достав-

<sup>1</sup> Экстремальная среда – это часть окружающей среды, которая по своим психофизиологическим, климатическим, природным, экономико-географическим характеристикам неблагоприятна для жизнедеятельности. С течением времени и развитием технологий человек научился создавать необходимую среду для искусственных мест обитания, однако на сегодняшний день антропогенная и природная составляющие тесно переплелись между собой, что приводит к необходимости поиска структурированных принципов организации устойчивого баланса [11].

<sup>2</sup> Быстровозводимые сооружения – это здания, которые собирают за пределами строительной площадки с использованием заводских элементов / модулей или основаны на сборке на месте (при использовании технологий 3D-печати). В отличие от традиционного строительства, для сборки быстровозводимых зданий не нужна квалифицированная рабочая сила и специальное оборудование, требования к фундаменту минимальны [9].

ляют на площадку, где они собираются в *различных конфигурациях*, что позволяет создавать пространственное разнообразие, так как можно заменить или добавить новый модуль, не затрагивая остальную часть системы. Вариативность конфигураций в модульных системах отличает их от закрытых сборных систем с *нерегулируемой конфигурацией и формой*, а также от открытых сборных систем, в основе которых *производство отдельных частей и компонентов здания* [3]. Примером быстровозводимой модульной структуры служит проект городского жилья после бедствий [14]. Компания Garrison Architects, по заказу Управления по чрезвычайным ситуациям города Нью-Йорка, разработала прототип модульного жилья для жителей Бруклина в случае катастрофического природного или техногенного воздействия. Многоэтажные многоквартирные дома могут быть развернуты менее чем за 15 часов в различных вариантах, адаптированных к сложным городским условиям. Архитекторы использовали новейшие строительные технологии в сочетании со строгими требованиями к безопасности, устойчивости, долговечности и универсальному архитектурному образу. Модули можно размещать на пустырях, в частных дворах или в общественных местах – они доставляются на площадку, поднимаются на место краном и подключаются к инженерным сетям. Модули можно складывать друг на друга или размещать между существующими домами и постройками.

**Модульная система для спасения разрушенных сооружений** состоит в восстановлении жилых объектов, которые были частично или полностью разрушены во время бедствий. Система направлена на интеграцию модульных строительных технологий в многоквартирные здания и основана на изготовлении ISP-панелей за пределами площадки, которые собираются на месте. Многие из компонентов, которые при сборном строительстве устанавливаются после возведения конструкции (механические, электрические и т. д.), встроены в модули как часть панели ISP.

**Системы на основе локальных (местных) материалов** состоят в использовании строительных технологий, учитывающих скорость сборки, простоту конструкций и доступные материалы. Система SuperAdobe, где в качестве основного строительного материала используют земляные мешки, была разработана архитектором и основателем CalEarth Н. Халили [13]. Используя мешки с песком (SuperAdobe Bags), колючую проволоку, землю и инструменты, архитектор разработал революционную строительную систему, которая интегрирует традиционную архитектуру с современными глобальными требованиями безопасности и проходит серьезные испытания на землетрясения в Калифорнии. Принцип действия состоит в использовании мешков с песком, заполненных увлажненной землей и расположенных слоями или длинными катушками. Нити колючей проволоки помещаются между каждым слоем мешка с песком, чтобы действовать как раствор и армирование. Система SuperAdobe может использоваться для структурных арок, куполов

и сводов или обычных прямолинейных форм. Метод позволяет возводить жилые ячейки и инфраструктуру – плотины, дороги, мосты, а также применяться для стабилизации береговых линий.

**Строительные системы на основе 3D-печати** для быстровозводимых зданий в условиях воздействия неблагоприятных факторов отличаются пространственной вариативностью, позволяя создавать настраиваемые строительные компоненты, которые могут быть адаптированы к потребностям каждого проекта и выдерживают суровые условия среды [6]. На сегодняшний день технология вышла за рамки первоначальных 3D-принтеров, позволяя создавать корпус слоями из различных материалов, в зависимости от климата и требований места – песок и цемент, различные бетонные смеси, глина, ил, рисовая солома, растительное волокно и природные отходы (включая любой биоразлагаемый материал из растений или животных) [2]. Быстровозводимые объекты на основе 3D-печати могут иметь биоклиматический характер, обеспечивая мягкий воздух жарким летом и теплую среду холодной зимой. Архитектор Х. Ксавье по инициативе ICON 99 Competition представил проект доступных домов на основе 3D-печати для решения жилищного кризиса [7]. Конструкция основана на квадратном плане этажа с наклонной крышей, а объем делится по центру, чтобы генерировать движение в фасаде, одновременно снижая проникновение солнца и обеспечивая два защищенных открытых пространства. На передний двор можно попасть по дорожке, которая имитирует силуэт бетонных стен, напечатанных в большем масштабе, в то время как задняя терраса вдохновлена разнообразной местной растительностью в садах. Внешний вид блоков имитирует поверхность кактусов, а естественная вентиляция оптимизирована с помощью расположенных отверстий.

Таким образом, в результате исследования определен ряд подходов при формировании быстровозводимых объектов в условиях воздействия антропогенных, природных и техногенных факторов, которые отталкиваются от технических разработок по организации среды – от их возможностей и конкретных особенностей каждого способа: 1) *сборных строительных систем (открытых и закрытых)*; 2) *модульных систем*; 3) *систем на основе локальных (местных) материалов*; 4) *3D-печатных систем*. Восстановление жилых объектов на территориях, подвергшихся негативным воздействиям среды, где основным является анализ исходной ситуации (социально-культурный, производственно-экономический, структурно-типологический) возможно при использовании общих подходов, которые сосредоточены не только на технических аспектах, но и культурных и социальных потребностях, в зависимости от которых происходит выбор необходимых технических средств, а также с учетом преимуществ современных и традиционных материалов и технологий, которые необходимо использовать в контексте устойчивости и экологичности, обеспечивая комфортную среду.

## Список литературы

1. Тиманцева, Н. Л. Принципы моделирования жилой среды в экстремальных условиях обитания: автореф. дис. ... канд. архитектуры: 05.23.21 / Тиманцева Наталия Львовна; Московский архитектурный институт. – Москва, 2010
2. Brennecke, T. Exploring 3D printed housing as a solution for post-disaster temporary shelters / Tom Brennecke // PA / Parametric Architecture: website. – URL: <https://parametric-architecture.com/exploring-3d-printed-housing-as-a-solution-for-post-disaster-temporary-shelters/> (дата обращения: 29.04.2024).
3. Ginigaddara, T. Resilience and Performance of Prefabricated Modular Buildings Against Natural Disasters / T. Ginigaddara, T. Gunawardena, P. Mendisa // Electronic Journal of Structural Engineering. – 2023. – 9 p.
4. Hany Abulnour, A. The post-disaster temporary dwelling: Fundamentals of provision, design and construction / Adham Hany Abulnour // HBRC Journal. – 2010. – Vol. 10(1). – P. 10–24.
5. Help in a Hurry: Disaster-Relief Container Homes for Japan // DORNOB.COM. Design ideas daily: website. – URL: <https://dornob.com/help-in-a-hurry-disaster-relief-container-homes-for-japan/> (дата обращения: 27.04.2024).
6. Hurricane-proof houses with 3D concrete printing // CyBe website. – URL: <https://cybe.eu/affordable-housing/hurricane-proof-houses/> (дата обращения: 08.05.2024).
7. Jose Xavier's proposal offers affordable 3d-printed homes to address the housing crisis / PA Editorial Team // PA: website. – URL: <https://parametric-architecture.com/jose-xaviers-proposal-offers-affordable-3d-printed-homes-to-address-the-housing-crisis/> (дата обращения: 15.04.2024)
8. Kreimer, A. Emergency, temporary and permanent housing after disasters in developing countries // Ekistics. – 1979. – Vol. 46 (279). – P. 361–365.
9. Kronenburg, R. Portable Architecture / Robert Kronenburg. – 3rd Edition. – London : Routledge, 2003.
10. Post-Disaster Prefab 5-Person Home // DORNOB.COM : website. – URL: <https://dornob.com/6-hours-2-adults-1-post-disaster-prefab-5-person-home/> (дата обращения: 18.04.2024).
11. Pshenichnikova, K. Principles of Formation of Sustainable Architectural Objects in Extreme Conditions of the Habitat Determined by Physical and Climatic Parameters // Proceedings of the 1st International Conference on Methods, Models, Technologies for Sustainable Development. – 2023. – Vol. 1: MMTGE. – P. 342-349. – DOI: 10.5220/0011571600003524
12. Saprykina, N. A. 2019. Formation of architectural objects for extreme habitat conditions in the context of innovative paradigms / N. A. Saprykina // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2019. – 675(1):012017. – DOI:10.1088/1757-899X/675/1/012017
13. SuperAdobe: Powerful Simplicity // CalEarth: website. – URL: <https://calearth.org/pages/what-is-superadobe> (дата обращения: 01.05.2024).
14. Urban post disaster housing prototype Brooklyn, NY, United States, 2014 // ARCHITONIC : website. – URL: <https://www.architonic.com/en/project/garrison-architects-urban-post-disaster-housing-prototype/5102498> (дата обращения: 01.05.2024).
15. Waheed, A. The Role of Local Building Systems in Enhancing the Sustainability of Post-Disaster / A. Waheed, K. Wahhab // IISTE: International Knowledge Sharing Platform. – 2022. – Vol. 14, No. 2.

Н. А. Сапрыкина

N. A. Saprykina

*Моделирование быстровозводимых архитектурных объектов в условиях многофакторных рисков: потенциальные возможности и перспективы\**  
*Modeling of prefabricated architectural objects in conditions of multifactorial risks: potential opportunities and prospects*

**Ключевые слова:** быстровозводимые жилые здания, антропогенные, природные и техногенные факторы, инновационные технологии, динамическая адаптация, алгоритмическое проектирование, информационное моделирование

**Keywords:** prefabricated residential buildings, anthropogenic, natural and man-made factors, innovative technologies, dynamic adaptation, algorithmic design, information modeling

**Аннотация.** Представлены планируемые результаты исследования по Проекту РНФ № 24-28-00960 «Инновационные подходы к моделированию быстровозводимых архитектурных объектов в условиях многофакторных рисков». Предлагается комплексный алгоритмический подход к формированию современных быстровозводимых архитектурных объектов. Обоснована разработка принципов составления сводной интерактивной пространственной модели быстровозводимых объектов в зависимости от многофакторных уровней моделирования в процессах проектирования. Рассмотрены аспекты создания, развития и применения технологий foresight как стратегического прогнозирования и имитационного моделирования пространственной среды.

**Abstract.** The planned results of the research on the Russian Science Foundation Project No. 24-28-00960 “Innovative approaches to modeling prefabricated architectural objects in conditions of multifactorial risks” are presented. A comprehensive algorithmic approach to the formation of modern prefabricated architectural objects is proposed. The development of principles for compiling a consolidated interactive spatial model of prefabricated objects depending on multifactor levels of modeling in design processes is substantiated. Aspects of the creation, development and application of foresight technologies as of strategic forecasting and simulation modeling of the spatial environment are considered.

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-00960, <https://rscf.ru/project/24-28-00960/>