

УДК 693.98

МОДУЛЬНЫЕ ЗДАНИЯ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В.В. Крыжановский

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
г. Санкт-Петербург (Российская Федерация)*

Аннотация. Модульные конструкции позволяют значительно сократить время строительства зданий, что позволяет сократить сроки окупаемости инвестиционно-строительных проектов, а также увеличить вариативность модификаций зданий и возможность быстрого изменения проекта строительства без особых рисков. Особая важность этой технологии обусловлена решением проблем обеспечения населения доступным и комфортным жильем по государственным программам; высокоскоростном строительстве и восстановлении домов, разрушенных в случае стихийных бедствий. В статье рассматривается важность применения блочных модулей в строительстве, включая организацию временных строительных городов. Были рассмотрены и проанализированы примеры модульных зданий в России и за рубежом, сформулированы основные преимущества и недостатки использования этой технологии. На основании теплотехнического расчета был подобран наилучший по критерию энергоэффективности теплоизоляционный материал для модульных конструкций. Сделан вывод о том, что наилучшим является PIR-утеплитель. Определены основные проблемы на пути более широкого использования модульного строительства в России, в частности, необходимость совершенствования нормативно-технической базы.

Ключевые слова: модульное строительство, модульные здания, модульная система, модуль-контейнеры, сборно-разборная конструкция, утеплители, теплоизоляционные материалы, PIR, пенополистирол, минеральная вата, стеновое ограждение, теплотехнический расчет, ограждающие конструкции.

Ссылка для цитирования: Крыжановский В.В. Модульные здания в современном строительстве // Инженерные исследования. 2023. №1 (11). С. 31-37. EDN: PQCATC

MODULAR BUILDINGS IN MODERN CONSTRUCTION

V.V. Kryzhanovsky

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St.Petersburg (Russian Federation)

Abstract. Modular structures can significantly reduce the construction time of buildings, which reduces the payback period for investment and construction projects, as well as increase the variability of building modifications and the ability to quickly change the construction project without any special risks. The particular importance of this technology is due to the solution of the problems of providing the population with affordable and comfortable housing under government programs; high-speed construction and reconstruction of houses destroyed in the event of natural disasters. The article discusses the importance of using block modules in construction, including the organization of temporary construction cities. Examples of modular buildings in Russia and abroad were considered and analyzed, the main advantages and disadvantages of using this technology were formulated. Based on the heat engineering calculation, the best heat-insulating material for modular structures was selected in terms of energy efficiency. It is concluded that the PIR insulation is the best. The main problems on the way to the wider use of modular construction in Russia are identified, in particular, the need to improve the regulatory and technical base.

Keywords: modular construction, modular buildings, modular system, module-containers, prefabricated structure, insulation, heat-insulating materials, PIR, expanded polystyrene, mineral wool, wall fencing, thermotechnical calculation, enclosing structures.

For citation: Kryzhanovsky V.V. Modular buildings in modern construction// Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.1 (11). Pp. 31-37. EDN: PQCATC

ВВЕДЕНИЕ

Большое значение строительства зданий и сооружений из модульных конструкций различной заводской готовности приобрело в связи с большими преимуществами этих конструкций, которые позволяют заказать строительные системы различного функционального назначения в кратчайшие сроки.

Преимущества модульной конструкции описаны в публикациях [1-5], где отмечается высокая технологичность и безопасность строительных работ; экологичность работ за счет сокращения количества самих технологических процессов и сокращения строительных отходов; высокое качество работ; сокращение количества трудовых ресурсов на строительной площадке.

Помимо жилищного строительства, модульные конструкции активно используются в энергетической, нефтяной и газовой промышленности. Наиболее широко в России используются мобильные (временные) здания и сооружения с блок-контейнерами, которые имеют простую и быструю сборку стандартными инструментами, которые используются для строительства бытовых городков, вахтовых поселков, временных складов, контрольно-пропускных пунктов и так далее.

Большое количество научных публикаций посвящено использованию современных утеплителей для ограждающих конструкций модульных зданий [6-8]. Пронин В.Е. и Тимохин Д.К. с помощью теплотехнического расчета показали, что для условий Крайнего Севера наиболее эффективным по сравнению с минеральной (каменной) ватой и пенополистиролом является утеплитель на основе полиизоцианурата, также известный как PIR [3]. Абрамян С.Г. и Улановский И.А. предлагают использовать объемные блок-модули в качестве одного из перспективных вариантов энергоэффективной реконструкции [7].

Фирсова Т.Ф. и Хохлов А.В. дали оценку пожарной безопасности модульных зданий [9]. Вопросы повышения пожарной безопасности модульных зданий рассмотрены и в работах [10, 11].

Грановский А.В., Смирнов В.А., Федоров М.В., Сазонов А.С., Елутин А.М., Эр-очир А. представили результаты экспериментальных исследований по оценке сейсмостойкости модульных зданий при действии динамических нагрузок, моделирующих сейсмические воздействия при землетрясениях [12]. Влияние параметров модульных зданий на коэффициенты динамичности при сейсмическом воздействии представлено в работе [13].

Ряд авторов предлагают использовать модульное строительство в качестве инженерных решений при развертывании военных баз и возведении военных городков [14, 15].

ТРАНСФОРМИРУЕМЫЕ ОБЪЕМНЫЕ БЛОК-МОДУЛИ

Концепция трансформации объемных блочных модулей (рис. 1) состоит в увеличении их полезной площади и улучшении эксплуатационных характеристик за счет трансформации в разные направления с помощью скользящих механизмов. Монтаж модульного здания состоит из следующих этапов: подъем крыши; разворачивание пола, боковых и торцевых стен; подъем фронтонов (при условно снятой крыше) и т.д. Все панели вводятся в эксплуатацию и собираются обратно с помощью отдельных блоков системы автоматического управления. Особое значение такие модули имеют в отдаленных и труднодоступных местах. Поэтому большое значение имеет разработка портативных блок-модулей, которые можно было бы доставлять на платформе или воздушным транспортом.



Рис. 1. Трансформируемый объемный блок-модуль¹
Fig. 1. Transformable volume block module

¹ Транспаки, блок-контейнеры сборно-разборные [электронный ресурс]. – URL: <https://tsk38.ru/modulnye-zdaniya/transpaki-blok-kontejnery> (Дата обращения 03.05.2022)

УНИФИЦИРОВАННЫЕ МОДУЛЬНЫЕ БЛОКИ

Унифицированные модульные блоки часто включают в себя элементы различной степени сложности, такие как железобетонные изделия (панельное строительство), дымоходы, фасадные панели, готовые к сборке металлоконструкции в комплекте с инженерными сетями и отделкой, мусоропроводы и т.д. Зарубежный опыт свидетельствует о более широком внедрении модульных конструкций в строительстве жилых и общественных зданий [16, 17]. Широко известно строительство небольших домов, особенно, в Японии и Америке. В Москве, в аэропорту Шереметьево, в 2009 г. был построен отель капсульного типа, где были созданы комфортные условия для временного отдыха пассажиров (рис. 2).



Рис. 2. Отель капсульного типа в Шереметьево²
Fig. 2. Capsule-type hotel in Sheremetyevo

Интересным примером использования модульной технологии является пятизвездочный отель в китайской провинции Хунань на берегу озера Дунтин (рис. 3). Его высота составляет 30 этажей, общая площадь - 17 тысяч квадратных метров. Этот отель был построен всего за 15 дней. В то же время для установки здания потребовалась очень небольшая группа строителей (200 человек) и только один башенный кран. Большая часть работ по прокладке коммуникаций была проделана на заводе. Во всех деталях были предусмотрены штифты и канавки для облегчения процесса сборки. В результате во время строительства здания строителям просто нужно было соединить части, которые были закончены и идеально подогнаны друг к другу, затем, после установки напольной плитки, поставить стены на место протянуть электросеть и другие коммуникации, и фундамент здания был готов. Технология отделки наружных стен была максимально упрощена. Также имелась сборная конструкция: на опорных колоннах располагались крепежные элементы для утепления, нагревательных конструкций и т. д. В данном случае модульные блоки представляют собой отдельные элементы каркаса, которые изготавливаются на заводе и полностью готовы к монтажу на строительной площадке.



a)



b)

Рис. 3. Отель T30 в провинции Хунань, Китай, BROAD Group: a - На этапе строительства; b – Готовой проект³
Fig. 3. T30 Hotel in Hunan Province, China, BROAD Group: a - Under construction; b – Finished project

² Капсульный отель в аэропорту Шереметьево [электронный ресурс]. – URL <https://www.svo.aero> (дата обращения: 03.05.2022)

³ Модульный пятизвёздочный отель T30 в Китае [электронный ресурс]. – URL: <https://inhabitat.com> (дата обращения: 03.05.2022)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДУЛЬ-КОНТЕЙНЕРОВ

В России с 2008 года также растет популярность модульных зданий. Российские проектировщики и производители быстровозводимых модульных зданий полагаются на ГОСТ 22853-86 "Мобильные (инвентарные) здания". Модульные здания в России - это универсальные быстровозводимые конструкции различного назначения. Модульные здания завоевали популярность среди строителей благодаря тому, что позволяют в короткие сроки оборудовать любой строительный объект временными жилыми и хозяйственными постройками по характеристикам, не уступающим капитальным сооружениям. Основой для производства модульных зданий являются стандартные модульные контейнеры, представляющие собой контейнеры стандартного размера с каркасом из металлических профилей и стенами из сэндвич-панелей с наполнением из минеральной ваты толщиной от 50 до 200 мм в зависимости от климатического региона сооружения (рис. 4).

Современные модульные здания в России используются в различных качествах: административные офисы, общежития, временное жилье на промышленных и строительных площадках, казармы, гостиницы, столовые, офисы, выставочные площади, спортивные раздевалки, торговые павильоны, кафе с панорамным видом, летние домики на дачных участках, мастерские, склады, медицинские учреждения, посты охраны, модули промышленного производства (телекоммуникации, распределительные щиты, релейные блоки, электрические подстанции, котельные, компрессорные, распределительные станции, автомойки, гаражи и т.д.). Модульные контейнеры могут использоваться для строительства быстровозводимых зданий высотой до 3 этажей, а также для сборки складных мобильных площадок и строительных штабов. Здания из них украшены навесами, фасадными рамами, второстепенными крышами, лестницами и другими архитектурными элементами. В настоящее время металлические модульные контейнеры представляют собой сложную конструкцию, использующую европейские ноу-хау, но с возможностью использования современных отечественных материалов в отделке при покупке базового модуля без отделки. Количество контейнерных модулей от отечественных производителей в России только растет.



Рис. 4. Пример модульных построек на базе контейнеров⁴
Fig. 4. Example of modular buildings based on containers

СОВРЕМЕННЫЕ УТЕПЛИТЕЛИ ДЛЯ БЫСТРОВОЗВОДИМЫХ МОДУЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Чтобы подобрать подходящий наилучшим образом для модульного здания теплоизоляционный материал необходимо сделать теплотехнический расчет ограждающих конструкций. Все расчеты будут сделаны для природно-климатических условий г. Санкт-Петербурга.

По СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» градусо-сутки отопительного периода, °С · сут/год, определяют по формуле (1):

$$ГСОП = (t_b - t_{от}) \cdot z_{от}, \quad (1)$$

где $t_{от}$, $Z_{от}$ - средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут./год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °С;

t_b – расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая при расчете ограждающих конструкций групп зданий, указанных в табл.3 СП 50.13330.2012 (по поз. 1 – по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по ГОСТ 30494 (в интервале 20-22 °С).

⁴ Пример модульных зданий на базе контейнеров [электронный ресурс]. – URL <https://www.metallstroy38.ru> (дата обращения 03.05.2022)

$$\text{ГСОП} = (20 - (-1,3)) \cdot 213 = 4537 \frac{\text{°C} \cdot \text{сут}}{\text{год}}$$

Определим требуемое сопротивление теплопередаче R_0^{TP} ограждающей конструкции в зависимости от градусо-суток района строительства по формуле (2):

$$R_0^{\text{TP}} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (2)$$

где a и b – коэффициенты, значение которых следует принимать по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012 для соответствующих групп зданий.

$$R_0^{\text{TP}} = 0,00035 \cdot 4537 + 1,4 = 2,99 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче $R_0^{\text{норм}}$ ограждающей конструкции определяем по формуле (3):

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{TP}} \cdot m_p, \quad (3)$$

где m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. В расчете принимается равным 1.

$$\text{Тогда: } R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{TP}} = 2,99 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Теплотехнический расчет ограждающих стеновых конструкций будем проводить для модельного здания, представленного в работе [6], характеристики которого представлены в табл.1.

Таблица 1. Теплотехнические характеристики ограждающей стеновой конструкции модульного здания
Table 1. Thermal characteristics of the enclosing wall structure of a modular building

Номер п/п	Материал	Толщина слоя (δ), м	Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)	Плотность (ρ), кг/ м^3
1	Алюминий	0,008	237	2700
2	Пароограничивающая мембрана	0,0001	0,30	110
3	Утеплитель	?	?	?
4	Фанера (лиственные породы деревьев)	0,01	0,15	750

Определим условное сопротивление теплопередаче $R_0^{\text{усл}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, ограждающей конструкции по формуле (4):

$$R_0^{\text{усл}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum R_s + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (4)$$

где $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода года, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, принимаемый по таблице 6. R_s – термическое сопротивление слоя однородной части фрагмента, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, определяется по формуле (5):

$$R_s = \frac{\delta_s}{\lambda_s}, \quad (5)$$

где δ_s – толщина слоя, м; λ_s – теплопроводность материала слоя, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, принимается по таблице 8, в зависимости от условия эксплуатации.

$$R_0^{\text{усл}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,008}{237} + \frac{0,0001}{0,30} + \frac{0,01}{0,15} + \frac{1}{23} = 0,228 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right)$$

Таким образом, требование по тепловой защите здания не выполняется, т.к. $0,228 \leq 2,99$.

Чтобы подобрать теплоизоляционный материал, рассмотрим три вида утеплителя от компании «ТЕХНОНИКОЛЬ»: минеральную (каменную) вату, пенополистирол и пенополиизоцианурат (PIR).

На основании теплоизоляционного материала ТЕХНОНИКОЛЬ Штукатурный фасад ($\lambda = 0,037$ Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)) определим требуемую толщину утеплителя для обеспечения минимальных требований теплозащиты (6).

$$\delta_{\text{ym}}^{\text{req}} = \lambda_{\text{ym}} \cdot R_{\text{targ}} \quad (6)$$

Минимально допустимое (требуемое) термическое сопротивление теплоизоляционного материала определяется по формуле (7):

$$R_{\text{т. arg}} = R_0^{\text{норм}} - R_0^{\text{учт}} \quad (7)$$

Таким образом, требуемая толщина утеплителя ТЕХНОНИКОЛЬ Штукатурный фасад составляет:
 $\delta_{\text{ут}}^{\text{req}} = 0,037 \cdot (2,99 - 0,228) = 0,01 \text{ м}$

Таблица 2. Теплотехнические характеристики теплоизоляционных материалов
Table 2. Thermal characteristics of thermal insulation materials

Номер п/п	Теплоизоляционный материал (утеплитель)	Коэффициент теплопроводности (λ), Вт /($\text{м}^2 \text{ C}$)	Требуемая толщина утеплителя для обеспечения минимальных требований теплозащиты, м	Стоимость утеплителя, руб./ м^2
1	Минеральная (каменная) вата: Утеплитель ТЕХНОНИКОЛЬ Штукатурный фасад	0,037	0,010	647
2	Пенополистирол: Экструзионный пенополистирол ТЕХНОПЛЕКС	0,033	0,009	258
3	Пенополиизоцианурат (PIR): ТЕХНОНИКОЛЬ LOGICPIR Ф/Ф L	0,022	0,006	675

Таким образом, полученные расчетные данные и основные характеристики теплоизоляционных материалов в конструкции стенового ограждения для быстровозводимых модульных зданий показывают, что наиболее эффективным по критерию энергоэффективности является утепление стеновых ограждающих конструкций пенополиизоциануратом (PIR), который имеет наименьший коэффициент теплопроводности ($\lambda = 0,022 \text{ Вт /}(\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{C})$) и за счет того, что его по этой причине потребуются меньше, общие затраты на утепление будут невысокими.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая существующий российский и зарубежный опыт модульного строительства, можно выделить преимущества и недостатки использования данной технологии.

Основными преимуществами является снижение трудоемкости работ на строительной площадке за счет максимальной механизации всех работ в заводских условиях, снижение общей трудоемкости и затрат на рабочую силу, сокращение продолжительности строительства и, следовательно, более быстрая окупаемость инвестиционно-строительного проекта, снижение загрязнения окружающей среды и т.д.

Среди недостатков: сложность транспортировки модульных блоков, особенно в городских условиях, недостатки и пробелы в техническом регулировании, касающиеся производства модульных блоков в заводских условиях и строительства модульных зданий в целом и др.

Также на основании проведенного анализа научных публикаций в сфере модульного строительства позволяет сделать следующие выводы:

1. Модульное строительство может быть использовано в качестве базовой концепции строительной технологии при возведении малоэтажного и высотного жилого фонда, общественных зданий независимо от исходных параметров и заданных технических условий.

2. В целях оптимизации и минимизации необходимых ресурсов, соблюдения установленных сроков строительства (включая изготовление модулей) и, как следствие, срока окупаемости строительного проекта в целом, необходимо разработать методы поэтапного многомерного планирования строительного цикла строительства модульного здания.

3. Технология модульного строительства, особенно в России, может быть определена для федеральных строительных программ, которые включают строго определенные сроки реализации проектов.

4. Необходимо совершенствовать нормативно-техническую базу для проектирования и производства строительно-монтажных работ модульного строительства, для производства и контроля качества модульных блоков на производственных предприятиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курманова Е.Е., Таратута В.Д. Модульные здания: преимущества и недостатки // Вестник науки. 2020. Т. 3, № 6(27). С. 158-160. EDN VTHZBQ.
2. Боровская С.Г., Козинская Д.О. Проблемы и преимущества модульного строительства // Молодежный исследовательский потенциал 2023: Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса, Петрозаводск, 23 февраля 2023. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука», 2023. С. 374-379. EDN MASKKG.
3. Абрамян С.Г., Оганесян О.В., Галда З.Ю., Дикмеджян А. А. Преимущества, недостатки и перспективы применения объемных блок-модулей в строительстве: обзор зарубежной научной литературы // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса: сборник трудов Международной научно-практической конференции: в 2 ч., Волгоград, 01-02 декабря 2020. Том Часть 1. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2020. С. 138-142. EDN YDXMBP.
4. Аушева К.В., Петроченко М.В. Определение алгоритма оценки эффективности модульного строительства // Неделя науки ИСИ: Сборник материалов Всероссийской конференции, 2022. С. 143-145. EDN AGTCGZ.
5. Шевцов С.В., Астафьева Н.С. Концепция модульного строительства на примере использования легких металлических конструкций // Инженерные исследования. 2022. № 3(8). С. 30-37. EDN BGGOMA.
6. Пронин В.Е., Тимохин Д.К. Современные утеплители для быстровозводимых модульных зданий в условиях крайнего севера // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2019. № 6(39). С. 317-322. EDN XXVKGR.
7. Абрамян С. Г., Улановский И. А. Модульное строительство и возможность применения модульных конструкций при надстройке зданий // Инженерный вестник Дона. 2018. № 4(51). С. 238. EDN VEIPRB.
8. Кынева А. И., Никонова О. Г., Скворцова О. С. Проектирование модульного здания в условиях Крайнего Севера // Неделя науки СПбПУ: Материалы научной конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 19-24 ноября 2018. Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. С. 186-188. EDN YTEIZF.
9. Фирсова Т.Ф., Хохлов А.В. Огнестойкость модульных зданий пожарных депо // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2019. № 3. С. 43-47. DOI 10.25257/FE.2019.3.43-47. EDN BRHMPU.
10. Гафарова К. Ю. Повышение пожарной безопасности модульных зданий // Современная школа России. Вопросы модернизации. 2021. № 2-1(35). С. 99-100. EDN VRKXGU.
11. Tachkov M.A., Shcherbatyuk P.A., Kirik E.S., Gravit M.V., Kotlyarskaya (Vasileva) I.L. Design solutions for residential multi-storey steel modular building // Construction of Unique Buildings and Structures. 2022. No. 3(101). P. 10102. DOI 10.4123/CUBS.101.2. EDN MPKKIB.
12. Грановский А.В., Смирнов В.А., Федоров М.В., Сазонов А.С., Елутин А.М., Эр-очир А. К оценке сейсмостойкости зданий, изготовленных по объемно-модульной технологии фирмы «КНАУФ» // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 2. С. 34-39. DOI 10.33622/0869-7019.2020.02.34-39. EDN GHPONM.
13. Широков В. С. Коэффициент динамичности модульных зданий при сейсмическом воздействии // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2022. № 4. С. 23-33. DOI 10.37153/2618-9283-2022-4-23-33. EDN XTWSSW.
14. Олехнович Я. А., Шуршилин Е. А. Энергоэффективные модульные сооружения при разворачивании военных баз // Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения: материалы всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 30 марта 2021. Санкт-Петербург: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2021. С. 103-107. EDN OLVWWI.
15. Гамаюнова О. С., Радаев А. Е. Энергоаудит и энергоэффективность модульных военных городков // Проблемы обеспечения функционирования и развития наземной инфраструктуры комплексов систем вооружения: Материалы III Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 25-26 сентября 2019. Санкт-Петербург: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2019. С. 63-67. EDN DENVML.
16. Захарова М.В., Пономарев А.Б. Опыт строительства зданий и сооружений по модульной технологии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2017. Т. 8, № 1. С. 148-155. DOI 10.15593/2224-9826/2017.1.13. EDN YLXSPN.
17. Захарова М.В., Пономарев А. Б. Опыт объемно-модульного строительства зданий и сооружений // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2017. Т. 2. С. 190-198. EDN XQHWRP.

ОБ АВТОРАХ

Владислав Витальевич Крыжановский – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: sqpaskal@gmail.com

ABOUT THE AUTHORS

Vladislav V. Kryzhanovsky – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: sqpaskal@gmail.com