

УДК 691

УТЕПЛЕНИЕ ФАСАДОВ ПРИ РЕНОВАЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ТИПОВЫХ СЕРИЙ

М.К. Андреев, О.С. Гамаюнова

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

Аннотация. Типовые серии жилых домов составляют большую часть жилого фонда еще с советских времен, когда нужно было построить много жилья в короткие сроки. Построенные в то время жилые дома не соответствуют современным строительным нормам. Низкий уровень тепловой защиты ограждающих конструкций в типовых зданиях обусловлен отсутствием требований к теплозащитным характеристикам ограждающих конструкций в действующих на момент строительства этих зданий нормативных документах. В статье произведен теплотехнический расчет ограждающих стеновых конструкций жилых домов типовой серии 137 для климатических условий Санкт-Петербурга, определен срок окупаемости инвестиций в дополнительное утепление фасадов домов 137 серии. Расчеты проведены на примере теплоизоляционных материалов торговых марок KNAUF, ISOROC, ISOVER, ROCKWOOL, PAROC, URSA, ЭКОБЕР. Показано, что с учетом тенденции изменения тарифов на тепловую энергию в Санкт-Петербурге за последние 10 лет при среднегодовом росте тарифов в 6,45%, средний срок окупаемости инвестиций составляет 23-25 лет.

Ключевые слова: типовые серии жилых домов, реновация, энергоэффективность, тепловая защита, теплоизоляционный материал, утеплитель, фасад, теплотехнический расчет, срок окупаемости.

Ссылка для цитирования: Андреев М.К., Гамаюнова О.С. Утепление фасадов при реновации жилых зданий типовых серий // Инженерные исследования. 2023. №2 (12). С. 19-26. EDN: LTHEIC

FACADE INSULATION DURING RENOVATION OF RESIDENTIAL BUILDINGS OF STANDARD SERIES

M.K. Andreev, O.S. Gamayunova

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

Abstract. Standard series of residential buildings have made up the majority of the housing stock since Soviet times, when it was necessary to build a lot of housing in a short time. Residential buildings built at that time do not meet today's building codes. The low level of thermal protection of enclosing structures in standard buildings is due to the lack of requirements for the thermal protection characteristics of enclosing structures in the regulatory documents in force at the time of construction of these buildings. The article carried out a thermal engineering calculation of the enclosing wall structures of residential buildings of the 137 standard series for the climatic conditions of St. Petersburg, and determined the payback period for investments in additional insulation of the facades of the 137 series buildings. Calculations were carried out using the example of thermal insulation materials of the KNAUF, ISOROC, ISOVER, ROCKWOOL, PAROC, URSA, ECOVER brands. It is shown that, taking into account the trend of changes in tariffs for thermal energy in St. Petersburg over the past 10 years, with an average annual increase in tariffs of 6.45%, the average payback period for investments is 23-25 years.

Keywords: standard series of residential buildings, renovation, energy efficiency, thermal protection, thermal insulation material, insulation, facade, thermal engineering calculation, payback period.

For citation: Andreev M.K., Gamayunova O.S. Facade insulation during renovation of residential buildings of standard series // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2023. No.2 (12). Pp. 19-26. EDN: LTHEIC

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с действующим законодательством, на протяжении эксплуатации зданий должно быть обеспечено эффективное и экономное расходование энергетических ресурсов при соблюдении требований к параметрам внутреннего микроклимата, а также санитарно-гигиенических требований. Современные дома благодаря наличию нормативных документов, теплоустойчивы и энергоэффективны, однако многие более ранние типовые серии не утеплены вовсе, хотя и остаются самым массовым жильем. Важно привести в соответствие с действующими нормами при наименьших затратах те из них, которые останутся разумным выбором для покупки достаточно долгое время. Кроме правильного выбора теплоизоляционного материала, необходимо обратить внимание на экономическую составляющую работ по утеплению ограждающих конструкций типовых серий зданий, ведь тепловая энергия дорого стоит и дорожает со временем, а теплоизоляционный материал должен прослужить по крайней мере до следующей реновации, которая может и не случиться. В этой связи важно рассчитать за какое время утепление фасадов окупится и, по возможности, дать рекомендации по подбору теплоизоляционного материала. Энергосберегающие мероприятия должны не только приводить к уменьшению объемов потребляемой зданиями энергии, но и быть окупаемыми [1-6].

Обзор методов повышения энергоэффективности жилых зданий описаны в работах [7-12]. Авторы рассматривают применение энергоэффективных теплоизоляционных материалов, уменьшение негативного влияния наружного климата за счет ориентации здания по сторонам света, применение энергоэффективного инженерного оборудования и др.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Оценку эффективности утепления фасадов при реновации жилых зданий проведем на примере классической 137-ой серии зданий (рис.1), которая обладает более рациональной планировкой (рис.2) по сравнению с другими сериями того времени, потому что при ее создании учитывали прошлый опыт строительства типовых зданий.



Рис. 1. Здание 137 серии¹
Fig. 1. Building 137 series



Рис. 2. Планировки квартир в домах 137 серии²
Fig. 2. Layouts of apartments in houses of series 137

Таблица 1. Основные характеристики домов серии 137
Table 1. The main characteristics of the houses of the 137 series

Характеристика	Описание
Этажность	9-16
Материал наружных стен	облегченные керамзитобетонные панели
Высота жилых помещений	270 см
Квартиры	одно-, двух-, трех-, четырех-, пятикомнатные
Площади кухонь	7,7-14 м ²
Производитель	ДСК-4
Годы строительства	1973-1995
Основные районы расположения	Все районы Санкт-Петербурга, за исключением центральных

¹ 137 (серия домов) [Электронный ресурс]. - URL: <https://skedraft.ru/serii-domov/137> (дата обращения: 04.05.2022)

² Планировки квартир дома типовой серии 137 [Электронный ресурс]. - URL: https://www.kvmetr.ru/information/homes_series/137/ (дата обращения: 24.04.2022)

Теплотехнический расчет ограждающих конструкций стеновых панелей здания 137-й серии выполнен в соответствии с СП 50.13330.2012, который применяется при проектировании тепловой защиты строящихся или реконструируемых зданий, в которых нужно поддерживать определенный температурно-влажностный режим.

Таблица 2. Исходные данные для расчетов
Table 2. Initial data for calculations

Характеристика	Описание
Населенный пункт	Санкт-Петербург
Условия эксплуатации ограждающих конструкций	Б
Температура внутреннего воздуха (жилые помещения)	$t_a - 20 \text{ }^\circ\text{C}$
Температура наиболее холодной пятидневки	$t_{х.п.} - -24 \text{ }^\circ\text{C}$
Характеристика	Описание
Средняя температура воздуха з отопительный период ($<8 \text{ }^\circ\text{C}$)	$t_{ср.о.} - 1,3 \text{ }^\circ\text{C}$
Продолжительность отопительного периода ($<8 \text{ }^\circ\text{C}$)	$z_{от} - 213 \text{ сут.}$

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) определяются по формуле (1):

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

где: t_b - расчетная температура внутреннего воздуха здания, $^\circ\text{C}$;

$t_{от}$, $z_{от}$ - средняя температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$, и продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по СП 131.13330 для жилых и общественных зданий для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более $8 \text{ }^\circ\text{C}$.

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

Требуемое сопротивление теплопередаче ($R_0^{тп}$) определяется по формуле (2):

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

где a и b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным табл.3 СП 50.13330.2012 для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6, для группы зданий в строках 1 и 2.

$$R_0^{тп} = 0,00035 \cdot 4537 + 1,4 = 2,99 \text{ (м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)/Вт}$$

Нормируемое сопротивление теплопередаче ($R_0^{норм}$) определяется по формуле (3):

$$R_0^{норм} = R_0^{тп} m_p, \quad (3)$$

где: m_p - коэффициент, учитывающий особенности региона строительства (в соответствии с СП 50.13330.2012 значения коэффициента m_p принимается равным 1).

$$R_0^{норм} = 2,99 \cdot 1 = 2,99 \text{ (м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C)/Вт}$$

Термическое сопротивление конструкции (R_0) определяется по формуле (4):

$$R_0 = R_{int} + \sum_{i=1}^K R_i + R_{ext}, \quad (4)$$

где: R_{int} - термическое сопротивление на внутренней поверхности стеновой конструкции;

R_{ext} - термическое сопротивление на внешней поверхности стеновой конструкции;

K - количество слоев ограждения;

R_i - термическое сопротивление i -го слоя ограждающей конструкции, $i = \overline{1, K}$.

Термическое сопротивление на внутренней поверхности стеновой конструкции (R_{int}) рассчитывается по формуле (5):

$$R_{int} = \frac{1}{\alpha_{int}}, \quad (5)$$

где: α_{int} – коэффициент теплопередачи внутренней стеновой конструкции, назначаемый с использованием СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

Термическое сопротивление на внешней поверхности стеновой конструкции (R_{ext}) рассчитывается по формуле (6):

$$R_{ext} = \frac{1}{\alpha_{ext}} \quad (6)$$

где: α_{ext} – коэффициент теплопередачи внешней стеновой конструкции, назначаемый с использованием СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».

Ограждающие конструкции домов 137-ой серии выполнены из керамзитобетона толщиной 350 мм (коэффициент теплопроводности = 0,47 Вт/(м·°C)). С учетом этого термическое сопротивление конструкции будет равно:

$$R_0 = R_{int} + \sum_{i=1}^K R_i + R_{ext} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,35}{0,47} + \frac{1}{12} = 0,94 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

Полученное значение говорит о том, что условие тепловой защиты зданий не выполнено, а ограждающие стеновые конструкции требуют дополнительного утепления.

В качестве дополнительного слоя теплоизоляционного материала, например, можно использовать плиты минераловатные из каменного волокна Rockwool Венти Баттс Д (коэффициент теплопроводности равен 0,038 Вт/(м·°C)).

Требуемая толщина утеплителя (δ_{yt}^{TP}), которая обеспечит требуемое термическое сопротивление ограждающей конструкции, определяется по формуле (7).

$$\delta_{yt}^{TP} = \lambda_{yt} \cdot R_{yt}^{TP}, \quad (7)$$

где: λ_{yt} – коэффициент теплопроводности рассматриваемого утеплителя (значения этих показателей – справочные).

R_{yt}^{TP} – разница между требуемым сопротивлением теплопередаче (R_0^{TP}) и термическим сопротивлением конструкции (R_0).

С учетом коэффициента теплопроводности Rockwool Венти Баттс Д потребуется 78 мм теплоизоляционного материала. В виду того, что ближайшая к требуемой толщина данного утеплителя составляет 100 мм, то термическое сопротивление ограждающей стеновой конструкции будет равно:

$$R_0^{yt} = R_{int} + \sum_{i=1}^K R_i + R_{ext} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,35}{0,47} + \frac{0,1}{0,038} + \frac{1}{12} = 3,57 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$$

Таким образом, благодаря использованию теплоизоляционного материала, условие тепловой защиты будет выполнено.

ОКУПАЕМОСТЬ ИНВЕСТИЦИЙ В ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ УТЕПЛЕНИЕ ФАСАДОВ

Для расчета прогнозируемого дисконтированного срока окупаемости инвестиций [13], направленных на дополнительное утепление фасадов, будем использовать формулу (8):

$$T_D = \frac{\ln\left(1 + \frac{\Delta K}{\Delta \mathcal{E}} \cdot \frac{r - i}{1 + i}\right)}{\ln \frac{1 + r}{1 + i}} \quad (8)$$

где: T_D – прогнозируемый дисконтированный срок окупаемости инвестиций, год;

ΔK – разница капитальных затрат на возведение утепленного и базового вариантов наружных стен (фасадов) здания, руб.

$\Delta \mathcal{E}$ – разность потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции до и после утепления, руб.

r – средний ежегодный рост стоимости тарифов на тепловую энергию.

i - процентная ставка дисконтирования

Очевидно, что наиболее выгодным будет результат с минимальным временем окупаемости.

Капитальные затраты на дополнительное утепление наружной стены существующего здания примем равными 2510 руб./м²:

– 256 руб./м² - стоимость утеплителя Rockwool ВЕНТИ БАТТС 100 мм;

– 152 руб./м² - крепеж и направляющие;

– 393 руб./м² - сухие строительные смеси;

– 1709 руб./м² - стоимость полного цикла строительно-монтажных работ.

Предположим, что для проведения работ строительная компания взяла аннуитетный кредит под 11,12%³ на 3 года, тогда коэффициент аннуитета составит 0,033.

Тогда суммарные инвестиции на реализацию энергосберегающего проекта с учетом платежей по кредиту составят (при аннуитетных ежемесячных платежах 3960,8 руб./м²):

$$\Delta K = 36 \cdot 0,033 \cdot 2510 = 2982 \text{ руб./м}^2$$

Годовая экономия денежных средств, достигаемая в результате проведения работ по реновации фасадов существующего здания, определяется по формуле (9):

$$\Delta \Delta = (V_1 - V_2) \frac{0,024 \cdot \text{ГСОП}}{1163} \cdot c \quad (9)$$

где: c - стоимость тепловой энергии, руб./Гкал.

В нашем случае коэффициент теплопередачи наружных стен до утепления (V_1) равен:

$$V_1 = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{0,94} = 1,06$$

Аналогично коэффициент теплопередачи наружных стен после утепления (V_2) равен:

$$V_2 = \frac{1}{R_0^{yt}} = \frac{1}{3,57} = 0,28$$

С учетом того, что в 2022 году стоимость тепловой энергии установлена в размере 1947,79 руб./Гкал, величина уменьшения эксплуатационных затрат за первый отопительный период в результате внедрения энергосберегающих мероприятий составит 142,25 руб./м².

С учетом тенденций изменений тарифов на тепловую энергию в Санкт-Петербурге за последние 10 лет примем среднегодовой рост тарифов равным 6,45%. (табл.3)

Таблица 3. Динамика роста тарифов на тепловую энергию в Санкт-Петербурге в 2013–2022 гг.⁴

Table 3. Dynamics of growth of heat energy tariffs in St. Petersburg in 2013–2022

Год	Тариф на тепловую энергию, руб./Гкал	Прирост стоимости тепловой энергии к предыдущему году
2013	1 175,00	+11,9%
2014	1 351,25	+15,0%
2015	1 408,01	+4,20%
2016	1 541,78	+9,50%
2017	1 621,95	+5,20%
2018	1 678,72	+3,50%
2019	1 775,45	+5,76%
2020	1 818,29	+2,41%
2021	1 880,11	+3,40%
2022	1 947,79	+3,60%

Дисконтирование будущих денежных потоков произведем по ставке рефинансирования ЦБ РФ (7,5%), то есть параметр при расчете срока окупаемости инвестиций примем равным 0,075.

³ Процентные ставки по кредитам и депозитам и структура кредитов и депозитов по срочности [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.cbr.ru/> (дата обращения: 17.04.2022)

⁴ Тарифы и ставки [Электронный ресурс]. - URL: <https://www.gov.spb.ru/helper/tarif/> (дата обращения: 17.04.2022)

Наконец, применяя формулу (9) получаем срок окупаемости инвестиций на утепление фасадов равный 25,5 лет.

Аналогичные расчеты были проведены для теплоизоляционных материалов других торговых марок [14], представленных на рынке г. Санкт-Петербурга. Результаты сведены в табл. 4.

Таблица 4. Срок окупаемости теплоизоляционных материалов
Table 4. Payback period of thermal insulation materials

№ п/п	Теплоизоляционный материал	Коэффициент теплопроводности (λ_{yt}), Вт/(м·°С)	Требуемая толщина утеплителя (δ_{yt}^{tr}), мм	Цена утеплителя за 1м ² , руб.	Срок окупаемости, лет
1	KNAUF ECOROLL Плита, 1230x610x100 мм	0,04	82	131	24,3
2	ISOROC Ультралайт Л, 1000x600x100 мм	0,038	78	165	24,2
3	ISOVER Классик Плюс, 1170x610x100 мм	0,037	76	128	23,7
4	ROCKWOOL Лайт Баттс, 1000x600x100 мм	0,036	74	218	24,3
5	PAROC eXtra Light, 1200x600x100 мм	0,038	78	162	24,2
6	URSA Универсальный, 1250x600x100 мм	0,036	74	123	23,5
7	ЭКОБЕР Лайт 45, 1000x600x100 мм	0,035	72	196	23,9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Любые работы по реновации зданий должны не только приводить здания в соответствие к нормам, но и быть экономически выгодными. В статье приведен пример теплотехнического расчета для внешних ограждающих стеновых конструкций домов 137-ой серии в г. Санкт-Петербурге, а также определен срок окупаемости инвестиций в дополнительное утепление фасадов.

С учетом тенденции изменения тарифов на тепловую энергию в Санкт-Петербурге за последние 10 лет при среднегодовом росте тарифов в 6,45%, средний срок окупаемости инвестиций составляет 23-25 лет. Эти значения получены на основании расчетов по выборке теплоизоляционных материалов различных торговых марок, представленных на строительном рынке Санкт-Петербурга. Аналогичные расчеты можно провести и для других типовых серий жилых домов. При этом следует учесть целесообразность инвестиций в утепление фасадов домов, подлежащих реновации, так как, возможно, некоторые серии будут выведены из эксплуатации раньше срока окупаемости. Отдельное внимание стоит уделить влажностному режиму ограждающих конструкций [15-17], а также изучению особенностей повышения энергоэффективности ограждающих конструкций в различных климатических зонах [18-21]. Кроме того, в виду появления новых строительных материалов, одним из направлений исследования могут быть различные добавки в уже известные строительные материалы для повышения их энергоэффективности [22, 23].

Дополнительно необходимо отметить, что снижение сроков окупаемости мероприятий по повышению энергетической эффективности ограждающих конструкций возможно путем сокращения затрат на материалы (например, за счет использования более дешевых, но не менее качественных, или оптовых скидок). Несмотря на длительные сроки окупаемости энергосберегающих мероприятий при капитальном ремонте жилых домов типовых серий, их реализация может обеспечить в краткосрочной перспективе значительную экономию энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Немова Д.В., Ватин Н.И. Методика расчета окупаемости инвестиций по реновации фасадов существующих зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2(17). С. 82-106. EDN RWGNPV.
2. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Оценка прогнозируемых сроков окупаемости работ по утеплению фасадов при капитальном ремонте жилых зданий первых массовых серий // Кровельные и изоляционные материалы. 2015. № 6. С. 33-39. EDN VSUTON.

3. Мусорина Т.А., Багаутдинов Р.И., Ракова К.М. Энергоэффективность промышленного района в составе проекта реновации // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 12(51). С. 61-72. DOI 10.18720/CUBS.51.5. EDN XUWFGX.
4. Горшков А.С. Об окупаемости инвестиций на утепление фасадов существующих зданий // *Энергосбережение*. 2014. № 4. С. 12-27. EDN QKWQFH.
5. Gamayunova O., Musorina T., Ishkov A.D. Humidity Distributions in Multilayered Walls of High-rise Buildings // *E3S Web of Conferences, Samara, 04-08 сентября 2017 года*. Vol. 33. Samara: EDP Sciences, 2018. P. 02045. DOI 10.1051/e3sconf/20183302045. EDN YUMGLC.
6. Vostrikova E.V., Gayevskaya Z.A. Modernization of residential buildings of the 1960s // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 941-944. P. 858-863. DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.941-944.858. EDN UGOLMV.
7. Чиркова Ю.Э., Бабаев М.В., Птухина И.С. Преимущества применения энергоэффективных технологий в зданиях // *Неделя науки ИСИ: Материалы всероссийской конференции в 3-х частях, Санкт-Петербург, 26–30 апреля 2021 года / Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Том Часть 2. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2021. С. 220-223. EDN VHTRLJ.*
8. Абрамян С.Г., Михайлова Н.А., Котляревский А.А., Семочкин В.О. Теплоизоляционные материалы, обеспечивающие энергоэффективность фасадных систем // *Инженерный вестник Дона*. 2018. № 4(51). С. 221. EDN OFAKID.
9. Учнина Т.В., Бабичева Н.В. Обзор методов повышения энергоэффективности жилых зданий // *Молодой ученый*. 2017. № 10(144). С. 101-105. EDN YFWJWH.
10. Адигамова З.С., Килязова Е.А. Энергоэффективные строительные технологии как инвестиции в будущее // *Шаг в науку*. 2018. № 2. С. 107-110. EDN TFJROB.
11. Вафаева Х.М., Гаевская З.А. Параметрическая энергоэффективная оптимизация проекта реконструкции объекта культурного наследия // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 3. С. 156-164. EDN SZPWIP.
12. Лукаш К.А., Олехнович Я.А., Радаев А.Е. Обоснование характеристик теплоизоляционного материала в составе ограждающих конструкций жилых зданий // *Неделя науки ИСИ: Сборник материалов Всероссийской конференции, Санкт-Петербург, 03–09 апреля 2023 года. Том Часть 2. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2023. С. 161-164. EDN VMQAAW.*
13. Гамаюнова О.С. Модель и методика принятия рационального решения по обеспечению энергоэффективности домов старого фонда военных городков // *Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского*. 2019. № 669. С. 18-28. EDN OWUUGW.
14. Гамаюнова О.С. Методика обоснования теплотехнических характеристик стеновых конструкций жилых зданий: специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2021. 166 с. EDN CJHWXK.
15. Гагарин В.Г., Зубарев К.П. Математическое моделирование нестационарного влажностного режима ограждений с применением дискретно-континуального подхода // *Вестник МГСУ*. 2020. Т. 15, № 2. С. 244-256. DOI 10.22227/1997-0935.2020.2.244-256. EDN LQXAWF.
16. Gagarin V.G., Akhmetov V.K., Zubarev K.P. Assessment of enclosing structure unsteady-state moisture behavior using moisture potential theory // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: VIII International Scientific Conference Transport of Siberia, Novosibirsk, 22-27 мая 2020 года*. Vol. 918. Novosibirsk: IOP Publishing Ltd, 2020. P. 012113. DOI 10.1088/1757-899X/918/1/012113. EDN LYSSZF.
17. Zubarev K., Gagarin V. Heat and Moisture Transfer in Building Enclosing Structures // *Conference “INTERAGROMASH 2021”. Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, Volume 2: Conference proceedings, Ростов-на-Дону, 24-26 февраля 2021 года. Ростов-на-Дону: Springer, 2022. P. 257-266. DOI 10.1007/978-3-030-80946-1_26. EDN HSLOOO.*
18. Гамаюнова О. С. Выбор оптимального варианта утепления жилых домов в различных климатических зонах // *Строительство и техногенная безопасность*. 2019. № 16(68). С. 89-97. EDN ANXMJJ.
19. Старцев Я.В., Филиппова Т.М. Теплоизоляция в энергосберегающих технологиях в строительстве // *Вестник Ангарского государственного технического университета*. 2018. № 12. С. 227-230. DOI 10.36629/2686-777X-2018-1-12-227-230. EDN MILSWD.
20. Слободчиков Е.Г., Рожин В.Н., Местников А.Е. Комплексная оценка энергоэффективности стеновых изделий и ограждений в условиях экстремально холодного климата // *Фундаментальные исследования*. 2017. № 9-2. С. 357-361. EDN ZITTWL.
21. Окунцов И.И., Сычкина Е.Н. Проектирование Энергоэффективных жилых домов в климатических условиях Пермского края // *Химия. Экология. Урбанистика*. 2017. Т. 2017. С. 93-97. EDN ZHKVGF.
22. Мусорина Т.А., Наумова Е.А., Шонина Е.В., Петриченко М.Р., Куколев М.И. Теплотехнические свойства энергоэффективного материала на основе растительной добавки (сухой борщевик) // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14, № 12. С. 1555-1571. DOI 10.22227/1997-0935.2019.12.1555-1571. EDN JWTJIZ.
23. Мусорина Т.А., Петриченко М.Р., Заборова Д.Д., Гамаюнова О.С., Куколев М.И. Улучшение свойств бетонного композита, армированного сухой растительной добавкой // *Строительство и техногенная безопасность*. 2021. № 22(74). С. 57-65. DOI 10.37279/2413-1873-2021-22-57-65. EDN KELGCV.

ОБ АВТОРАХ

Матвей Константинович Андреев – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: andreev.mk@edu.spbstu.ru

Ольга Сергеевна Гамаюнова – к.т.н., доцент Высшей школы промышленно-гражданского и дорожного строительства. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru

ABOUT THE AUTHORS

Matvey K. Andreev – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: andreev.mk@edu.spbstu.ru

Olga S. Gamayunova – Ph.D., Associate Professor of the Higher School of Industrial, Civil and Road Construction. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: gamayunova_os@spbstu.ru