

Влияние энергоэффективных ограждающих конструкций на эксплуатационные расходы высотного жилого дома

С.Е. Манжилевская, М.А. Давыдов

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Проблема увеличивающегося потребления тепло- и энергоресурсов высотного жилищного строительства в условиях плотной городской застройки становится актуальнее с каждым годом, как для населения, так и для управляющих компаний. С целью снижения эксплуатационных расходов, уменьшения зависимости инженерных систем высотного жилого здания от городской инфраструктуры предлагается внедрить в проектируемый многоквартирный жилой дом некоторые энергоэффективные организационно-технологические решения. В ходе исследования, на примере высотного 25-ти этажного жилого дома в г. Ростов-на-Дону, проведено сравнение эксплуатационных затрат тепловой энергии на отопление с применением энергосберегающих материалов и конструкций с затратами в типовых условиях строительства такого же объекта. Результаты данной работы позволят, с практической точки зрения, проанализировать целесообразность применения в высотном домостроении таких энергоэффективных ограждающих конструкций и материалов как фольгированный PIR-утеплитель, низкоэмиссионный четырехкамерный стеклопакет, «зеленое» кровельное покрытие.

Ключевые слова: энергоэффективные ограждающие конструкции, расход тепловой энергии, затраты на отопление, высотный многоквартирный жилой дом, экономический анализ, устойчивое строительство

В связи с увеличением строительного производства, наряду с растущей потребностью в жилой площади и расширением градостроительного сектора в нашей стране необходимо создавать условия, при которых строительный сегмент смог бы отвечать социальным, экономическим и экологическим требованиям [1].

Особенно остро стоит вопрос строительства в условиях плотной городской застройки, где строительные организации стремятся увеличить плотность населения, сократить протяженность коммуникаций и инженерных систем путем возведения высотных многоквартирных жилых домов и комплексов. Однако такие здания, высотой более 75 м, обладают высоким ресурсо- и энергопотреблением и в большей степени зависят от городской инфраструктуры (отопление, водо- и электроснабжение).

Решение проблем с высоким потреблением энергии, материалов и ресурсов, сведение к минимуму воздействия высотного строительства на локальную экологическую обстановку в городской застройке может обеспечить, внедренная в 80-х годах прошлого столетия, концепция устойчивого строительства (от англ. sustainable construction, sustainable building) [2].

Целями устойчивого строительства являются минимизация отходов в процессах строительства, эксплуатации и сноса здания, а также эффективное использование всех видов ресурсов, включая территорию, энергию и материалы, а также уменьшение денежных затрат на техническое обслуживание и эксплуатацию на протяжении всего жизненного цикла.

По данным аналитического сообщества «Seed Scientific» главной первопричиной перехода к устойчивому строительству предполагается сокращение энерго-, тепло- и водопотребления [3].

Существуют определенные категории мероприятий, обеспечивающие понятие устойчивости зданий: оптимальные архитектурно-планировочные решения, оптимальные ограждающие конструкции, автоматизация инженерно-коммуникационных систем и оборудования (вентиляция, освещение, отопление). Эффективность устойчивых мероприятий можно увидеть на рис. 1.



Рис. 1. – Мероприятия по повышению энергоэффективности зданий

Перспектива внедрения энергоэффективных технологий в жилом градостроительном комплексе России является острой проблемой. В «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» согласно постановлению правительства от 13 ноября 2009 вопросы энергосбережения и энергоэффективности рассматриваются как одни из основных [4].

Большая доля застройщиков не решается увеличивать капитальные вложения и компенсировать дополнительные расходы на внедрение энергоэффективных технологий, занимающие до четверти всей сметной стоимости, что является основным сдерживающим фактором. Однако, рассматривая подобное строительство с экономической точки зрения, можно пронаблюдать, что уменьшенные эксплуатационные затраты жизненного цикла (содержание, обслуживание и потребляемые коммунальные ресурсы) окупают завышенные стартовые вложения в среднем в течение 6-8 лет, создавая при этом комфортную среду для проживания граждан.

В процессе эксплуатации можно проследить сокращение эксплуатационных расходов, составляющих до 80% затрат жизненного цикла [5], что изображено на рис. 2.



Рис. 2. – Затраты на всех этапах жизненного цикла здания



Рис.3. – Высотный
Многоквартирный 25-ти
этажный жилой дом в г.
Ростове-на-Дону

Цель данного исследования предполагает внедрение совокупности рациональных и оптимальных энергоэффективных решений, позволяющих сократить эксплуатационные затраты, что является актуальным вопросом для застройщиков с точки зрения поставок материалов, возможности получения субсидий на импортозамещение, создание привлекательных, коммерческих проектов на рынке недвижимости. Необходимо обосновать увеличение первоначальных капитальных вложений на внедрение энергоэффективных

технологий и доказать их инвестиционную привлекательность и выгоду коммерческой точки зрения, как для застройщиков, так и для покупателей.

Эксплуатационные затраты жизненного цикла высотных многоквартирных жилых зданий в Ростовской области, в связи с большим потреблением электроэнергии, водоснабжения, тепловой энергии, отличаются высоким уровнем цен на жилищно-коммунальные услуги.

В рамках обеспечения снижения расходов на эксплуатацию и внедрения устойчивых технологий в проектируемый высотный многоквартирный 25-ти этажный жилой дом с подземной автостоянкой, располагающийся в г. Ростов-на-Дону, пер. Чаленко, д. 11, требуется разработать ресурсо- и энергосберегающие меры и обосновать их экономическую эффективность в сравнении с типовыми решениями. Проектируемый объект представлен на рис. 3.

Следует отметить, что 25 % всех потерь тепла происходит через ограждающие конструкции здания, 30 % — через окна, 5 % — через пол и потолок. Остальные 40 % тепловой энергии используются для нагрева проникающего наружного воздуха.

В таблице №1 представлены среднестатистические эксплуатационные расходы высотных многоквартирных домов в период за 2023 год и первую половину 2024 года.

Таблица № 1

Затраты жилого дома на отопление за период 2023 - 2024г.

Месяц	Расход тепловой энергии по ОДПУ, Гкал	Общий расход тепловой энергии, Гкал	Тариф, руб./Гкал
Ноябрь	60,76	1236,93	1806,98
Декабрь	202,37		
Январь	309,18		
Февраль	328,14		
Март	336,48		
ИТОГО, затраты тепловой энергии на отопление дома, руб.			2 235 107, 77

В качестве мер по повышению экономической эффективности здания рассматривалось применение энергосберегающего остекления в виде низкоэмиссионного стеклопакета с селективным напылением, изоляция наружной стены здания PIR-плитами, а также вариант утепления и озеленения кровельного покрытия жилого дома.

PIR-утеплитель – это современный теплоизоляционный материал на основе жесткого полиуретана (полиизоцианурата). Утеплитель покрыт с двух сторон алюминиевой гидро- и паронепроницаемой фольгой, обладающей низким коэффициентом эмиссии (излучения поверхности ϵ), что позволяет сократить передачу тепла и энергии. Такие конструкции обладают «тепловым эффектом термоса», приводящим к снижению теплопотерь и значительной экономии энергоресурсов. Материал не подвержен горению, гниению и увлажнению. Состав утепленной стены представлен на рис.4.

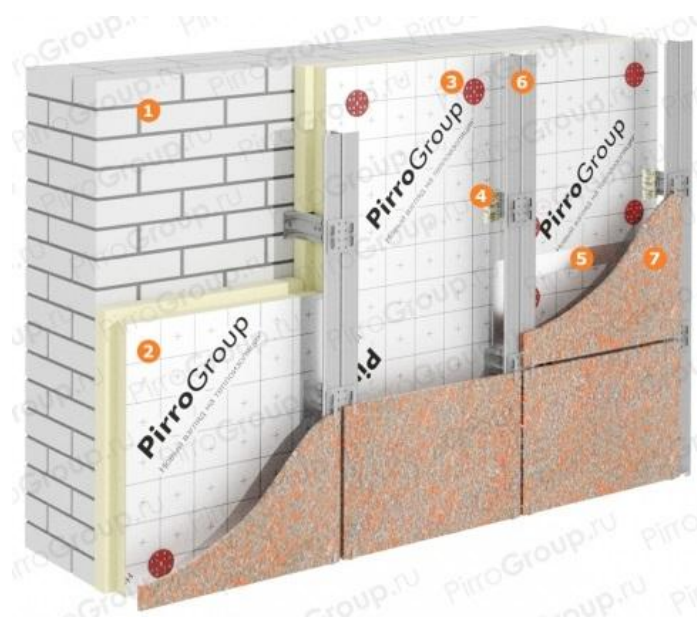


Рис. 4. – Утепление наружной стены теплоизоляцией из PIR-плит:
1 – кирпичная стена, 2 – PIR плита, 3 – анкер фасадный, 4 – монтажная пена,
5 – скотч алюминиевый, 6 – направляющая, 7 – панели фасадные.

Максимального результата от теплоизоляции из PIR-плит возможно достичь в местах, где отраженное от отопительных приборов тепловое излучение сохраняется внутри утепленного помещения. С этой задачей

успешно справляются энергосберегающие (низкоэмиссионные) стеклопакеты. Благодаря нанесенной на поверхность стекла оптическому покрытию (оксидов металлов), в холодное время потери тепла за счет теплового излучения через стекло сокращаются, а в теплое время – затрудняют доступ солнечной энергии и инфракрасного излучения внутрь помещения. Возможно заполнение межстекольного пространства инертными газами (аргон, криптон, ксенон). Это позволяет уменьшить уровень внешнего шума на 45дБ и снизить вероятность образования конденсата в межстекольном пространстве [6-8]. Принцип работы энергосберегающего стеклопакета изображен на рис. 5.

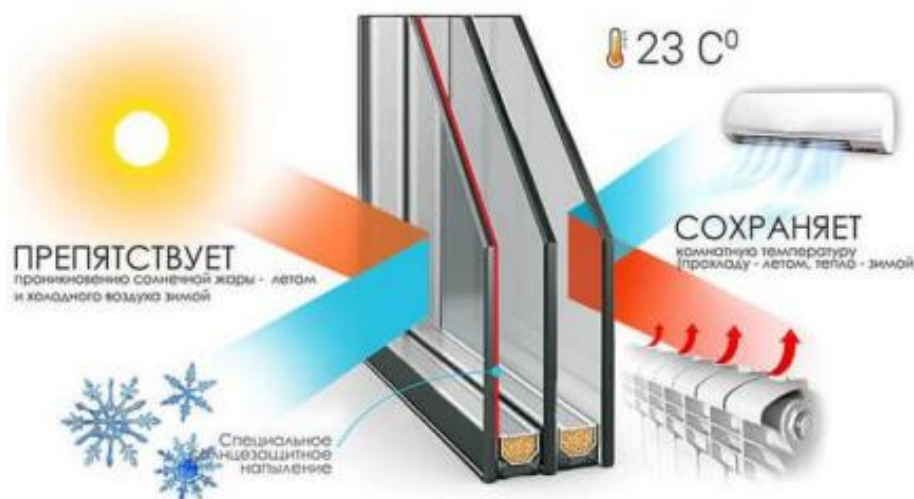


Рис. 5. – Принцип работы энергосберегающего стеклопакета

Внедрение технологии «зеленого кровельного покрытия» является одним из возможных решений по сокращению затрат на отопление и энергопотребление жилого дома. В случае высотного многоквартирного дома целесообразно применение интенсивного озеленения для создания рекреационных пространств и зон отдыха. Помимо этого, конструкция зеленой кровли способствует снижению загрязнения воздуха и пылеподавлению [9,10]. Конструкция «зеленой» кровли показана на рис. 6.

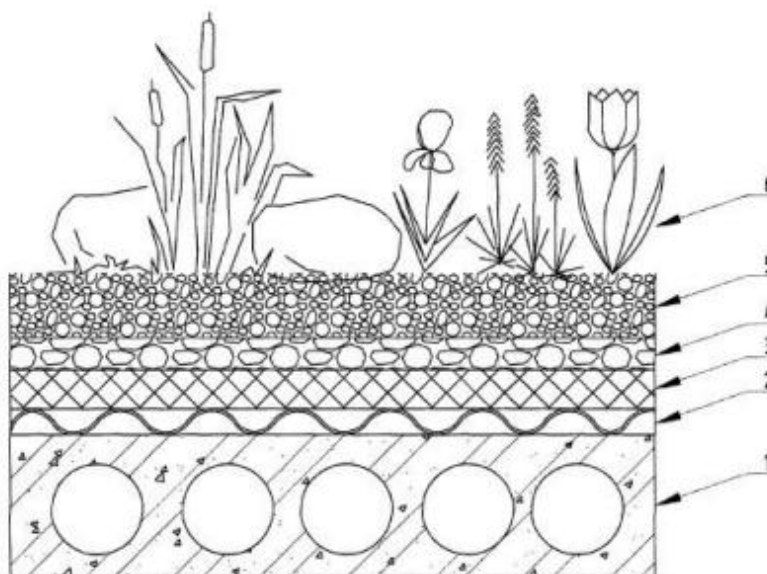


Рис. 6. – Состав «зеленой» кровли для жилых зданий:

1 – плита железобетонная пустотная, 2 – защитный слой - ондулин, 3 – теплоизолирующий слой из экструдированного пенополистирола, 4 – фильтрующий слой из керамзитового гравия, 5 – закрепляющий слой грунта, 6 – субстрат с зелеными насаждениями

На основании выбора энергоэффективных технологий, внедряемых в проектно-сметную документацию на строительство рассматриваемого объекта исследования произведен расчет расходов на потребление тепловой энергии в течение отопительного периода.

Расчеты сопротивления теплопередачи проводились исходя из климатических особенностей региона строительства г. Ростов-на-Дону, представленных в таблице №2, а также на основании СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий, СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.

Таблица № 2

Климатические характеристики г. Ростов-на-Дону

№ п/п	Показатель	Обозначение параметра	Ед. изм.	Расчетное значение
1	Расчетная температура внутреннего воздуха	$t_{в}$	$^{\circ}\text{C}$	20
2	Расчетная температура наружного воздуха в	$t_{н}$	$^{\circ}\text{C}$	-25

	холодный период года			
3	Продолжительность отопительного периода	$z_{от}$	сут/год	167
4	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	$t_{от}$	$^{\circ}\text{C}$	0
5	Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	$^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут/год}$	3340

Основные теплотехнические характеристики наружных ограждающих конструкций (тип конструкции, толщина слоя, коэффициент теплопроводности) проектируемого 25-ти этажного многоквартирного жилого дома представлены в таблице №3. В расчете принят «сухой» влажностной режим помещения на основе информации о районе строительства.

Таблица № 3

Характеристики ограждающих конструкций здания

№ п/п	Тип наружной ограждающей конструкции	Материал	Толщи на слоя δ , мм	Коэффициент теплопроводности λ_A , Вт/(м · $^{\circ}\text{C}$)
1	Наружные стены (вентилируемый фасад)	Керамогранитные плиты	12	0,31
		Воздушная прослойка	60	0,18
		Утеплитель PIR-плита	100	0,023
		Газосиликат (400 кг/м ³)	250	0,11
2	Окна, балконные двери и витражи	Четырехкамерный стеклопакет с I-стеклом Veka Proline	70	-
		Свето-прозрачный фасад ALUTECH	60-80	0,65
3	Наружные входные двери	«Теплая» дверная серия ALT 65 АЛНЕО	65	-
4	Покрытие (зеленая кровля)	растительный субстрат	250	1,21
		закрепляющий слой грунта	150	0,47
		керамзитовый гравий (500 кг/м ³)	40	0,15
		XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON	100	0,032
		слой ондулина	36	0,20
5	Перекрытие над неотапливаемым подвалом	монолитная ж/б плита	200	1,92
		кварцвиниловая SPC плитка Floorwood	5	0,14
		подложка под напольное	1,5	0,44

		покрытие Atrium		
		ЦПС армированная	50	0,76
		XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON	50	0,032
		рулонная гидроизоляция пола ТЕХНОНИКОЛЬ	4	0,17
		ЦПС выравнивающая	20	0,76
		монолитная ж/б плита	200	1,92
6	Стены, заглубленные в грунт	рулонная гидроизоляция фундамента Технониколь	4	0,17
		пароизоляция ROCKWOOL 70	4	-
		XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON	100	0,032
		монолитная ж/б стена	300	1,92
7	Полы по грунту	смесь магнезиальная напольная	30	0,96
		ЦПС уклонообразующая	50	0,76
		рулонная гидроизоляция фундамента Технониколь	4	0,17
		монолитная ж/б плита	1500	1,92

Расчет сопротивления теплопередаче, а также площади наружных поверхностей для каждого типа энергоэффективной ограждающей конструкции представлены в таблице №4.

Таблица № 4

Расчетные и требуемые сопротивления теплопередаче

№ п/п	Тип наружной ограждающей конструкции	Нормируемое сопротивление теплопередаче $R_0^{норм}$, (м ² · °С)/Вт	Расчетное сопротивление теплопередаче R , (м ² · °С)/Вт	Площадь конструкции, A , м ²
1	Стены наружные	1,62	6,16	6399,60
2	Четырехкамерный стеклопакет	0,38	0,78	2726,40
	Свето-прозрачный фасад	0,38	1	3633,12
3	Наружные входные двери	0,98	0,53	30,24
4	Покрытие (зеленая кровля)	3,096	4,36	747,07
5	Перекрытие над неотапливаемым подвалом	2,72	2,11	783,59
6	Стены, заглубленные в грунт	1,62	2,43	909,33
7	Полы по грунту	3,096	9,66	1134,07

Расчет общего расхода тепловой энергии на отопление за отопительный период, а также расчет сопротивления теплопередаче проводится на основании СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \times \text{ГСОП} \times \sum_i \left(\frac{A_i}{R_i} \times n \right), \quad (1)$$

где $Q_{\text{от}}^{\text{год}}$ – общие тепловые потери здания на отопление за отопительный период, кВт · ч/год; 0,024 – переводной коэффициент потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции из Вт · сут в кВт · ч (1 сут = 24 ч, 1Вт = 0,001 кВт, 1 Вт · сут = 0,024 кВт · ч); A_i – площадь соответствующей наружной ограждающей конструкции, м²; R_i – приведенное сопротивление теплопередаче наружной ограждающей конструкции, (м² · °С)/Вт; n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, определяемый по формуле 5.3 СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.

Показатели бытовых тепловыделений, теплопоступлений в здание от солнечной радиации, а также инфильтрационные затраты в рамках расчета остаются неизменными. На основании нормативного документа СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий коэффициент n определяется по формуле (2):

$$n = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{подв}})}{(t_{\text{в}} - t_{\text{от}})}, \quad (2)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °С; $t_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С; $t_{\text{подв}}$ – средняя температура внутреннего и наружного воздуха для холодного подвала, °С.

Тогда коэффициент n , определяемый по формуле (2) составляет:

$$n = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{подв}})}{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})} = \frac{(20 - 10)}{(20 - 0)} = 0,5.$$

Общий расход тепловой энергии на отопление 25-ти этажного многоквартирного жилого дома за отопительный период с применением утеплителя из PIR-плитам, низкоэмиссионных энергосберегающих

стеклопакетов с формулой остекления и технологии зеленой кровли, составит:

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \times \text{ГСОП} \times \left(\frac{6399,4}{6,16} + \frac{2726,4}{0,78} + \frac{3633,12}{1} + \frac{30,24}{0,53} + \frac{747,07}{4,36} + \frac{783,59}{2,11} + \frac{909,33}{2,43} + \frac{1134,07}{4,85} \times 0,5 \right) = 725\,904,11 \left(\text{кВт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{год}} \right).$$

Переведем [кВт·ч/год] в [Гкал/год], используя коэффициентом пересчета: 1 (кВт·ч)/год = $86 \cdot 10^{-5}$ Гкал/год.

$$725\,904,11 \left(\text{кВт} \cdot \frac{\text{ч}}{\text{год}} \right) \times 0,00086 = 624,28 \left(\frac{\text{Гкал}}{\text{год}} \right).$$

На основании постановления Региональной службы по тарифам Ростовской области от 28.11.2022 №69/43, стоимость 1 Гкал для Ростова-на-Дону равна 1806,98 руб. Умножив стоимость 1 Гкал на общий расход тепловой энергии за отопительный период, получим экономические затраты на отопление:

$$624,28 \left(\frac{\text{Гкал}}{\text{год}} \right) \times 1806,98 \text{ (руб./Гкал)} = 1\,128\,057,02 \text{ руб./год.}$$

$$\frac{2\,235\,107,77 - 1\,128\,057,02}{2\,235\,107,77} \times 100\% = 49\%$$

Таким образом, сравнивая полученный результат с затратами на отопление тепловой энергии за отопительный период (табл. № 1), можем сделать вывод, что применение эффективного утепления, энергосберегающего стекла и технологии «зеленой» кровли в качестве организационно-технологических решений, не только сокращает расход тепловой энергии за один отопительный период, но и уменьшает экономические расходы на отопление до 49%.

Литература

1. И.Ю. Зильберова, Н.Н. Петрова Модернизация зданий с целью повышения энергоэффективности, комфорта и безопасности проживания, а также продления срока эксплуатации жилых зданий // Инженерный вестник Дона, 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1120

2. Kibert, C.J. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery, 4th Edition. ISBN: 978-1119055174 изд. University of Florida: John Wiley & Sons, Inc, 2016.

3. Green Building Statistics: Important Step Towards Sustainability // URL: seedscientific.com/environment/green-building-statistics/ (дата обращения: 09.04.2024).

4. Цицин К. Г. Энергоэффективные технологии - будущее жилищного строительства // СРРМ. 2013. №2 (77). URL: cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnye-tehnologii-budushee-zhilischnogo-stroitelstva (дата обращения: 09.04.2024).

5. Долаева, З. Н., Урусов А.Р. Перспективность внедрения энергоэффективных технологий в строительстве // Молодой ученый. — 2016. — № 26 (130). — С. 32-35. — URL: moluch.ru/archive/130/36039/

6. Семенова Э.Е., Логвинова Е.О. Исследование применения энергосберегающих светопрозрачных конструкций зданий // Строительство: новые технологии - новое оборудование. 2018. № 1. С. 26–29.

7. Eleanor S. Lee. Innovative Glazing Materials // Handbook of energy efficiency in buildings. 2019. Chapter 6.3. Pp. 1–23.

8. Сотникова О.А., Семенова Э.Е., Богай В.А. Исследование энергосберегающих решений при проектировании светопрозрачных конструкций общественных зданий с применением низкоэмиссионного стекла // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции. 2019. С. 197–201.

9. Саматова В.М., Гамаюнова О.С. Энергетическая эффективность зданий с применением технологии «зеленая кровля» // Инженерные исследования. 2021. № 4 (4). С. 24-32.

10. Манжилевская С.Е., Грибанов А.В. Устройство зеленой кровли как способ повышения экологической безопасности окружающей среды при



реконструкции и строительстве // Инженерный вестник Дона, 2020, №. 5
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2020/6498

References

1. I.Ju. Zil'berova, N.N. Petrova Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1120
2. Kibert, C.J. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2016.
3. Green Building Statistics: Important Step Towards Sustainability URL: seedsscientific.com/environment/green-building-statistics/ (date assessed: 09.04.2024).
4. Cicin K. G. Jenergojefektivnye tehnologii budushhee zhilishhnogo stroitel'stva SRRM. 2013. №2 (77). URL: cyberleninka.ru/article/n/energoeffektivnye-tehnologii-budushee-zhilischnogo-stroitelstva (date assessed: 09.04.2024).
5. Z. N. Dolaeva, A. R. Urusov Molodoj uchenyj, 2016, № 26 (130). pp. 32-35 URL: moluch.ru/archive/130/36039
6. Semenova Je.E., Logvinova E.O. Issledovanie primeneniya jenergosberegajushhih svetoprozrachnyh konstrukcij zdaniy Stroitel'stvo: novye tehnologii - novoe oborudovanie. 2018. № 1. pp. 26–29.
7. Eleanor S. Lee. Innovative Glazing Materials Handbook of energy efficiency in buildings. 2019. Chapter 6.3. pp. 1–23.
8. Sotnikova O.A., Semenova Je.E., Bogaj V.A. Issledovanie jenergosberegajushhih reshenij pri proektirovanii svetoprozrachnyh konstrukcij obshhestvennyh zdaniy s primeneniem nizkojemissionnogo stekla Sbornik nauchnyh statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. 2019, pp. 197–201.
9. Samatova V.M., Gamajunova O.S. Inzhenernye issledovanija. 2021. № 4 (4). pp. 24-32.



10. Manzhilevskaja S.E., Griбанov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2020/6498

Дата поступления: 13.03.2024

Дата публикации: 22.04.2024