

Заключение

В процессе исследования для г. Воронежа и г. Екатеринбурга выполнено сравнение по четырем вариантам конструктивных схем наружных ограждающих конструкций с применением двух вариантов утеплителей по теплотехническими характеристикам и экономическим показателям. Проведено исследование температурно-влажностного режима. Выявлено, что

лучшим вариантом наружной ограждающей конструкции является схема № 1.1 с применением минераловатного утеплителя «Rockwool Фасад Баттс». Данный утеплитель, несмотря на его высокую стоимость, имеет наилучшие теплотехнические свойства и препятствует появлению большой зоны конденсации. Данные факторы способствуют повышению энергоэффективности проектируемого здания.

Список литературы

1. Подкопаева Е. В. Исследование ограждающих конструкций общественных зданий / Е. В. Подкопаева, А. Н. Шехватова, Э. Е. Семенова // Инженерные системы и сооружения. – 2020. – № 3–4 (41–42). – С. 6–11.
2. Турбина К. В. Анализ использования энергоэффективных строительных конструкций / К. В. Турбина, / Э. Е. Семенова // Инженерные системы и сооружения. – 2021. – № 1 (43). – С. 30–35.
3. Коносова М. М. Способы повышения энергоэффективности жилых зданий / М. М. Коносова, Э. Е. Семенова // Инженерные системы и сооружения. – 2021. – № 2 (44). – С. 8–12.
4. Ландаков А. С. Анализ проектирования зданий гостиниц с учетом энергосбережения / А. С. Ландаков, Э. Е. Семенова // Строительство и реконструкции : сборник научных трудов 2-й Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов, магистров и бакалавров. – 2020. – С. 124–129.
5. Семенова Э. Е. Анализ проектирования жилых зданий с учетом энергосбережения / Э. Е. Семенова, Е. Д. Мельников, Г. В. Пономарева // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2018. – № 1. – С. 30–33.
6. Щевцов К. К. Проектирование зданий для районов с особыми природно-климатическими условиями : учебник / К. К. Шевцов. – Москва : Высш. шк., 1986. – 231 с.
7. Архитектура и климат Южно-Российского региона : учебник / Под ред. Л. П. Шевченко. – Ростов-на-Дону : Рост. гос. архитектур. ин-т, 1998. – 182 с.
8. Семенова Э. Е. Проектирование наружных ограждающих конструкций в жарких климатических районах на примере г. Душанбе / Э. Е. Семенова, Ф. С. Абдулхамидов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 1. – С. 26–31.
9. Тарасова В. В. Математическое моделирование нестационарных тепловых процессов при возведении ограждающих конструкций зданий / В. В. Тарасова // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 8–2. – С. 265–269;
10. Пути повышения энергоэффективности гражданских зданий / Э. Е. Семенова, М. Г. Самсонова, Д. Е. Нецпляев, В. Ю. Компанец // Инженерных системы и сооружения. – 2019. – № 3 (36). – С. 20–24.
11. Борисова Н. И. К вопросу об энергоресурс обережении и энергоаудите ЖКХ регионов России в новых экономических условиях / Н. И. Борисова., А. В. Борисов // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. – 2014. – № 3 (03). – С. 70–75.
12. Семенова Э. Е. Повышение энергоэффективности эксплуатируемых зданий / Э. Е. Семенова, В. С. Думанова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 2 32). – С. 31–55.
13. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федер. закон : [принят Гос. Думой 11.11.2009] // Собрание законодательств РФ. – 2009. – № 261. – 62 с.
14. Семенов В. Н. Энергосбережение при проектировании зданий как ключевой фактор инновационного развития строительной отрасли / В. Н. Семенов, Э. Е. Семенова // Недвижимость: экономика, управление. – 2018. – № 3. – С. 44–48.
15. Куприянов В. Н. Градостроительная климатология : учеб, пособие / В. Н. Куприянов. – Казань : Казанский госуд. архит.-строит. ун-т, 2012. – 147 с.

© Э. Е. Семенова, А. А. Рыбалко, Ю. А. Черникова

Ссылка для цитирования:

Семенова Э. Е., Рыбалко А. А., Черникова Ю. А. Влияние климатического района строительства на теплотехнические характеристики наружных ограждающих конструкций с учетом энергосбережения // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 13–19.

UDC 69.036.2; 691.316

DOI 10.52684/2312-3702-2023-46-4-19-23

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ АЭРОГЕЛЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ ЭЛЛИпсоИДНОЙ ФОРМЫ

А. В. Исанова, Е. Д. Кретова, В. И. Лукьяненко

Исанова Анна Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7 (906) 677-97-73; e-mail: a.isanova@bk.ru;

Кретова Екатерина Дмитриевна, магистрант, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7 (980) 341-66-49; e-mail: shiroi.kretova@yandex.ru;

Лукьяненко Владимир Ильич, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и промышленной теплоэнергетики, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: +7 (920) 438-09-01; e-mail: lukanenko1@yandex.ru

В статье рассмотрено использование современной аэрогелевой теплоизоляции для утепления жилого здания эллипсоидной формы. Приведен комбинированный метод снижения тепловых потерь строения на основе архитектурно-планировочных и конструктивных решений. Данный способ являются наиболее энергоэффективными, и авторы данного исследования рассматривают доказательную базу этого утверждения. Определены геометрические и теплотехнические параметры эллипсоидального здания с заданным строительным объемом, рассчитаны его теплопотери при использовании аэрогелевой теплоизоляции. Проведен анализ изменения энергетических затрат на поддержание требуемых условий внутреннего микроклимата как для сферического, так



и для здания эллипсоидной формы. Приведен практический пример реализации комбинированного метода снижения энергозатрат на примере частного строения, расположенного в Воронежской области.

Ключевые слова: архитектурно-планировочное решение, аэрогелевая теплоизоляция, энергосбережение, теплоэффективность, теплопотери, теплоизоляция.

APPLICATION OF MODERN THERMAL INSULATION BASED ON AEROGEL WHEN DESIGNING ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS OF ELLIPSOIDAL SHAPE

A. V. Isanova, Ye. D. Kretova, V. I. Lukyanenko

Isanova Anna Vladimirovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Housing and Communal Services, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: +7 (906) 677-97-73; e-mail: a.isanova@bk.ru;

Kretova Yekaterina Dmitriyevna, graduate student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: +7 (980) 341-66-49; e-mail: shi-roi.kretova@yandex.ru;

Lukyanenko Vladimir Ilyich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Theoretical and Industrial Thermal Power Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: +7 (920) 438-09-01; e-mail: lukyanenko1@yandex.ru

The article discusses the use of modern airgel thermal insulation for insulating an ellipsoidal residential building. A combined method for reducing thermal losses of a structure based on architectural, planning and design solutions is presented. This method is the most energy efficient, and the authors of this study review the evidence base for this statement. The geometric and thermal parameters of an ellipsoidal building with a given building volume were determined, and its heat loss was calculated when using airgel thermal insulation. An analysis of changes in energy costs to maintain the required internal microclimate conditions for both spherical and ellipsoidal buildings was carried out. A practical example of the implementation of a combined method of reducing energy costs is given using the example of a private building located in the Voronezh region.

Keywords: architectural and planning solution, airgel thermal insulation, energy saving, thermal efficiency, heat loss, thermal insulation.

Введение

Повышение энергоэффективности зданий стало серьезной проблемой в строительной отрасли в связи с острой необходимостью сохранения истощающихся природных энергетических ресурсов. Во всем мире в последние десятилетия особое внимание уделяется энергоэффективности для смягчения воздействия на окружающую среду и продвижения различных методов в области строительства [1–3].

Постановка задачи

Целью исследования является подбор подходящего и максимально эффективного пассивного способа снижения энергоэффективности здания, который является важной задачей в строительстве, способствующей частичному решению проблемы ограниченности ресурсов. Основной поставленной задачей будет являться создание доказательной базы, свидетельствующей о выгоде того или иного варианта снижения теплопотерь. Для изучения вопроса используем теоретические методы научного исследования.

Научная новизна заключается в использовании комбинированного метода снижения потребления ресурсов жилого здания эллипсоидной формы при аэрогелевой теплоизоляции. Выявлены реальные сравнительные данные теплопотерь, позволяющие более объективно взглянуть на очевидные методы, но не имеющие широкого применения.

Методы исследования и результаты

Воспользуемся аналитическим методом определения параметров эллипсоидного здания. Возьмем за основу типовое пятиэтажное здание и проведем сравнительный анализ нескольких теплопотерь с одинаковым строительным объемом.

Подобное здание имеет следующие характеристики: строительный объем (жилой части) – 21517,8 м³; длина – 68,12 м; ширина – 37,12 м; высота здания – 16,00 м.

Определим параметры эллипсоидального здания с заданным объемом строительства и пересчитаем

эти параметры с учетом того, что здание имеет усеченную форму.

Для определения параметров эллипсоидального здания с заданным объемом 21517,8 м³ нам необходимо сделать некоторые предположения о форме эллипсоида. Допустим, что усеченная часть имеет 30 % от объема эллипсоида, значит, его общий объем с учетом усеченной части должен быть равен 30739,71 м. В частности, нам нужно предположить, что эллипсоид является сфероидом, а его малые полуоси равны между собой.

Размер большой полуоси рассчитаем по формуле (1.1):

$$a = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi b}} \quad (1.1)$$

Подключив заданный объем, получим:

$$a = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 30739,71}{4\pi b}}$$

Чтобы определить малую полуось, нам нужно принять значение отношения большой полуоси к малой, которое называется эксцентриситетом. Данное значение принимается в диапазоне от 0 до 1, зададим его равным 0,724. С этим значением мы можем использовать формулу (1.2):

$$b = \frac{a}{\sqrt{1-e^2}}, \quad (1.2)$$

где e – эксцентриситет.

Комбинируя эти формулы при решении численными методами, получаем значения a и b : $a \approx 24,89$ м; $b \approx 17,17$ м.

Чтобы найти расстояние от центра эллипса до плоскости, которая отсекает 30 % эллипса, мы можем воспользоваться формулой (1.3):

$$d = a * (1 - 0,3), \quad (1.3)$$

где d – расстояние от центра до секущей плоскости, a – малая полуось эллипса.

Учитывая, что малая полуось (a) равна 17,17, мы можем вычислить расстояние (d): $d = 12,019$. Учитывая данную величину, расстояние от центра до секущей плоскости составляет приблизительно 12,019.

Формула для общей площади поверхности усеченного эллипсоида (1.4) равна:

$$A = 2\pi b^2 + \left(\frac{\pi h}{3}\right)(a^2 + ab + b^2), \quad 4)$$

где a – длина большой полуоси, b – длина малой полуоси, h – высота усеченного участка.

Общая площадь поверхности эллипсоида равна 4453,52 м².

Учитывая изложенные выше вычисления, получаем следующие параметры эллипсоидного здания:

- площадь основания – 742,16 м²;
- площадь крыши – 240 м²;
- площадь стен – 3471,36 м².

Оконные проемы расположим в здании таким образом, чтобы они были отцентрованы по вертикальным дугам эллипса, который условно разделим на 32 вертикальных сектора, что значит на каждый этаж будет приходиться по 32 оконных проема с параметрами теплосопротивления и площадью, аналогичными тем, что использовались в здании стандартной формы. Исключениями будут только три верхних этажа из-за слишком плотного расположения и малой площади секторов.

Таким образом, здание будет представлять собой одиннадцатизэтажный усеченный эллипс с равно распределенными проемами (рис. 1).



Рис. 1. 3D-визуализация эллипсоидного здания с аэрогелевой теплоизоляцией

Для более точного расчета теплотерь на некоторых этажах можно воспользоваться двумя методами. Во-первых, использовать формулу сферического пояса, в которой мы можем взять радиус, применяемый при расчете площади пола конкретного этажа, за исключением этажа, находящегося в области образования купола.

Во-вторых, как и в случае поиска радиуса пола, можно воспользоваться измерением площади 3D-модели на конкретных областях или даже встроенными измерителями площадей, если программное обеспечение позволяет это сделать.

В ранее изданной статье [3] рассматривались теплотери при ином архитектурно-планировочном решении, а также было проанализировано несколько зданий с различными конструктивными решениями. В результате были получены следующие данные: минеральная вата и пенополистирол имеют практически идентичные показатели в 129159,882 Вт и 125485,039 Вт. Видимая разница есть, но она практически не ощутима, по сравнению с аэрогелем – 104293,442 Вт.

Далее рассмотрим теплотери в здании предложенной формы и конструкции. Результаты расчета теплотерь представлены в таблице 1.

Снижение теплотерь при применении ограждающих конструкций аэрогеля для утепления значительно. Теплотери здания стандартной формы с витражным остеклением составляют 279 894,49 Вт [3], аналогичный параметр эллипсоидного строения при использовании в качестве утеплителя аэрогеля равны 77 047,99 Вт. Таким образом, разница теплотерь между зданием стандартной формы с витражным остеклением, взятым за основу при сравнении, и эллипсоидного с утеплителем на основе аэрогеля будет около 74,5 %.

Подобные здания не просто энергоэффективны и экологичны, они также дают больше пространства, чем современные проекты: для организации прилегающей территории, более свободной, не привязанной к углам дома планировке, организации более экологичных способов добычи энергии, как, например, солнечные панели, которыми можно снабдить фасад здания по периметру и за счет формы здания на них будет гораздо больше попадать солнечного света.

Данные проекты еще нуждаются в доработке для многоэтажного строительства в промышленных масштабах, но главное – обратить внимание на подобную проектную возможность, а не останавливаться на идее.

Возведение здания эллипсоидной формы является нестандартным архитектурным приемом, вносящим разнообразие в жилую или общественную застройку городов. На данный момент проект эллипсоидного здания уже принят в работу для застройки частного дома (рис. 2). Территориально объект находится в Воронежской области.



Рис. 2. 3D-визуализация проекта частного дома эллипсоидной формы

Проектирование данного дома было начато в начале 2022 года. Владелец хотел получить максимально энергоэффективный и экологичный дом. С учетом того, что участок находится далеко от крупного населенного пункта, была возможность свободно выбирать формфактор самого дома и остальных построек на участке. После рассмотрения большого количества вариантов было принято решение о постройке именно эллипсоидного трехэтажного здания.

Был возведен деревянный каркас (рис. 3) здания на бетонном фундаменте. Застройщиком было заявлено, что подобная форма не является проблемой при возведении каркаса на бетонной или блоковой основе.

Таблица 1

Теплотери эллипсоидного здания с аэрогелевой теплоизоляцией

Номер помещения	Наименование помещения и расчетная температура воздуха $t_{в}, ^\circ\text{C}$	Характеристики ограждений		Площадь, А, м	Коэффициент теплопередачи К, Вт / (м ² × °С)	Расчетная разность температур (t _в -t _н)*п, °С	Коэффициент учета добавочных теплопотерь 1 + Σβ	Основные потери теплоты через ограждения Q _{отр} , Вт
		Наименование	Ориентация по сторонам горизонта					
1	Помещение первого этажа	ПЛ	-	742,16	0,35	34,5	1	8961,58
		ОК	С	5,62	1,47	46	1,1	417,73
		ОК	СВ	5,62	1,47	46	1,1	417,73
		ОК	СЗ	5,62	1,47	46	1,1	417,73
		ОК	В	5,62	1,47	46	1,1	417,73
		ОК	З	5,62	1,47	46	1,05	398,74
		ОК	Ю	5,62	1,47	46	1	379,75
		ОК	ЮВ	5,62	1,47	46	1,05	398,74
		ОК	ЮЗ	5,62	1,47	46	1	379,75
		НС	С	43,14	0,227	46	1,1	495,56
		НС	СВ	43,14	0,227	46	1,1	495,56
		НС	СЗ	43,14	0,227	46	1,1	495,56
		НС	В	43,14	0,227	46	1,1	495,56
		НС	З	43,14	0,227	46	1,05	473,04
2,3,4,5,6,7,8,9,10	Помещение второго-десятого этажей	ОК	С	44,93	1,47	46	1,1	3341,83
		ОК	СВ	44,93	1,47	46	1,1	3341,83
		ОК	СЗ	44,93	1,47	46	1,1	3341,83
		ОК	В	44,93	1,47	46	1,1	3341,83
		ОК	З	44,93	1,47	46	1,05	3189,93
		ОК	Ю	44,93	1,47	46	1	3038,03
		ОК	ЮВ	44,93	1,47	46	1,05	3189,93
		ОК	ЮЗ	44,93	1,47	46	1	3038,03
		НС	С	297,27	0,227	46	1,1	3414,53
		НС	СВ	297,27	0,227	46	1,1	3414,53
		НС	СЗ	297,27	0,227	46	1,1	3414,53
		НС	В	297,27	0,227	46	1,1	3414,53
		НС	З	297,27	0,227	46	1,05	3259,32
		НС	Ю	297,27	0,227	46	1	3104,11
11	Помещение одиннадцатого этажа	ПТ	-	240,00	0,33	46	1	3643,20
		ОК	С	2,81	1,47	46	1,1	208,86
		ОК	СВ	2,81	1,47	46	1,1	208,86
		ОК	СЗ	2,81	1,47	46	1,1	208,86
		ОК	В	2,81	1,47	46	1,1	208,86
		ОК	З	2,81	1,47	46	1,05	199,37
		ОК	Ю	2,81	1,47	46	1	189,88
		ОК	ЮВ	2,81	1,47	46	1,05	199,37
		ОК	ЮЗ	2,81	1,47	46	1	189,88
		НС	С	40,15	0,227	46	1,1	461,19
		НС	СВ	40,15	0,227	46	1,1	461,19
		НС	СЗ	40,15	0,227	46	1,1	461,19
		НС	В	40,15	0,227	46	1,1	461,19
		НС	З	40,15	0,227	46	1,05	440,23
НС	Ю	40,15	0,227	46	1	419,27		
НС	ЮВ	40,15	0,227	46	1,05	440,23		
НС	ЮЗ	40,15	0,227	46	1	419,27		
ΣQ _{отр} =								77 047,99

Утеплителем стен выступает рулонная аэрогелевая теплоизоляция. Гидрофобность данного материала позволит в дальнейшем изолировать деревянный каркас дома от резких скачков влажности, защищая древесину от деформации, а также от образования грибка и плесени.

Равномерное поясающее расположение окон в доме вплоть до купола позволит сохранить высокую степень освещенности всех помещений в доме. Куполообразная крыша дает возможность избежать скопления осадков, а значит деформаций и протечек.

Застройка данной территории и дома, в частности, все еще не окончена. Впереди еще работа по

установке собственных солнечных панелей на поверхности вершины купола дома. Организация придомового участка и завершение строительства некоторых построек на участке.



Рис. 3. Эллипсоидный частный дом на этапе возведения каркаса

Заключение

Сравнительный анализ применения архитектурно-планировочных методов при проектировании сфероидных энергоэффективных зданий помог выявить следующие аспекты:

1) снижение теплотерь здания стандартной формы с витражным остеклением в сравнении со

зданием с тем же строительным объемом и утеплителем, используемым для ограждающих конструкций на основе аэрогеля, но эллипсоидной формы, составляет около 74,5 %;

2) у эллипсоидных зданий более обтекаемая форма, способствующая дополнительному притоку воздуха в окна здания со всех сторон;

3) за счет вытянутой эллипсоидной формы получаем дополнительный рост процента инсоляции всех помещений, дефицит которого испытываем в зданиях стандартной формы при плотной застройке и однобоком, не всегда грамотном расположении зданий относительно сторон света;

4) куполообразная крыша дает возможность избежать скопления осадков, а значит деформаций и протечек.

Выбор того или иного энергосберегающего метода зависит от конкретных условий строительной площадки и архитектурного видения. Исследование демонстрирует эффективность как конструктивного, так и архитектурно-планировочного способа снижения энергозатрат.

Список литературы

1. Энергетическая проблема человечества и пути ее решения. – Режим доступа: <https://yandex.ru/turbo/fb.ru/s/article/327190/energeticheskaya-problema-chelovechestva-i-puti-ee-resheniya>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
2. Пятиэтажный жилой дом. – Режим доступа: [http://sn-stroy.com/portfolio-item/pyatietazhnyj-zhiloj-dom/#prettyPhoto\[project-gallery\]/0/](http://sn-stroy.com/portfolio-item/pyatietazhnyj-zhiloj-dom/#prettyPhoto[project-gallery]/0/), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
3. Исанова А. В. Анализ использования современной теплоизоляции на основе аэрогеля при проектировании энергоэффективных зданий / А. В. Исанова, Е. Д. Кретова, Д. А. Драпалюк, Н. А. Драпалюк // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 4 (42). – С. 15–22.
4. Прошунина К. А. Теоретическая взаимосвязь эргономических принципов и концептуальной архитектуры жилого пространства астраханский государственный архитектурно-строительный университет / К. А. Прошунина, И. А. Овчеренко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2018. – № 4 (26). – С. 12–22.
5. Лисициан М. В. Архитектурное проектирование жилых зданий / М. В. Лисициан, В. Л. Пашковский, З. В. Петунина, Е. С. Пронин, Н. В. Федорова, М. А. Федяева. – Москва : Архитектура – С, 2006. – 488 с.
6. Архитектурное проектирование жилых зданий / М. В. Лисициан и др. – Москва : Архитектура – С, 2006. – 488 с.
7. Дерина М. А. Сравнительный анализ технико-экономических показателей проектных решений жилых и общественных зданий / М. А. Дерина, Л. Н. Петрянина, М. А. Чупряков // Региональная архитектура и строительство. – 2022. – № 1 (50). – С. 134–139.
8. Шевелев Р. А. Влияние формы здания на теплотехнические показатели / Р. А. Шевелев, М. В. Агеенко // Инженерные системы и сооружения. – 2021. – № 1 (43). – С. 69–73.
9. Шатохина Ю. А. Как форма и цвет здания влияют на его энергоэффективность / Ю. А. Шатохина // Теория и практика современной науки. – 2019. – № 7 (49). – С. 177–180.
10. Савин В. К. Энергетическая эффективность и формообразование зданий / В. К. Савин, Н. В. Савина // Вестник МГСУ. – 2011. – № 3–1. – С. 152–157.
11. Лихачева А. Е. Влияние проектных решений на энергоэффективность зданий / А. Е. Лихачева, А. Д. Лопатин // Творчество и современность. – 2019. – № 3–4 (11). – С. 53–62.
12. Дома необычной формы. – Режим доступа: <https://zs-z.ru/zagorodnoe-stroitelstvo/arhitektura-i-dizajn/doma-neobyichnoj-formy.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Форма имеет значение: дома с характером, которые могли появиться только в России. – Режим доступа: <https://45.ru/text/realty/2018/08/03/65223151/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
14. Колосов А. И. Теплогоснабжение многоквартирного жилого дома : учеб. пос. / А. И. Колосов, Д. М. Чудинов, Н. А. Петрикеева, С. А. Яременко, Г. Н. Мартыненко. – Воронеж : Воронежский ГАСУ, 2014. – 86 с.
15. Тихомиров К. В. Теплотехника, теплогоснабжение и вентиляция / К. В. Тихомиров, Э. С. Сергеев. – Москва : Стройиздат, 1991. – 480 с.

© А. В. Исанова, Е. Д. Кретова, В. И. Лукьяненко

Ссылка для цитирования:

Исанова А. В., Е. Кретова, Д., Лукьяненко В. И. Применение современной теплоизоляции на основе аэрогеля / при проектировании энергоэффективных зданий эллипсоидной формы // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С. 19–23.