

УДК 699.86

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ СТЕНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Е.Ю. Чакин**

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

**Аннотация.** Правильный выбор энергоэффективного теплоизоляционного материала способствует повышению эксплуатационных характеристик здания. При этом эти материалы должны характеризоваться доступностью сырья, малой энергоемкостью и низкой себестоимостью производства, обладать водо- и морозостойкостью, механической прочностью, экологической и пожарной безопасностью. В статье рассмотрены и проанализированы основные теплотехнические и стоимостные характеристики теплоизоляционных материалов, представленных на строительном рынке Санкт-Петербурга, таких, как: каменная вата, стекловата, фибролитовые плиты и экструдированный пенополистирол. Выполнен теплотехнический расчет и сравнительный анализ теплофизических характеристик рассматриваемых теплоизоляционных материалов, по итогам которого были определены наиболее эффективные утеплители по критериям энергетической и экономической эффективности, долговечности, пожароопасности. По итогам расчетов и сравнительного анализа было получено, что наиболее эффективным и рациональным со всех точек зрения будет использование теплоизоляционных материалов из каменной ваты.

**Ключевые слова:** теплоизоляционные материалы, утеплитель, ограждающие конструкции, энергоэффективность, каменная вата, стекловата, фибролитовые плиты, экструдированный пенополистирол, теплотехнический расчет.

**Ссылка для цитирования:** Чакин Е.Ю. Энергоэффективные теплоизоляционные материалы для ограждающих стеновых конструкций // Инженерные исследования. 2022. № 1(6). С. 9-18. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/9-18.pdf>

## ENERGY EFFICIENT THERMAL INSULATION MATERIALS FOR ENCLOSING WALL STRUCTURES

**E.Yu. Chakin**

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

**Abstract.** The right choice of energy-efficient thermal insulation material improves the performance of the building. At the same time, these materials should be characterized by the availability of raw materials, low energy intensity and low production costs, have water and frost resistance, mechanical strength, environmental and fire safety. The article discusses and analyzes the main heat engineering and cost characteristics of heat-insulating materials presented on the construction market of St. Petersburg, such as stone wool, glass wool, fibrolite boards and extruded polystyrene foam. A thermotechnical calculation and a comparative analysis of the thermophysical characteristics of the considered heat-insulating materials were performed, as a result of which the most effective heaters were determined according to the criteria of energy and economic efficiency, durability, and fire hazard. Based on the results of calculations and comparative analysis, it was found that the most efficient and rational from all points of view would be the use of heat-insulating materials made of stone wool.

**Keywords:** thermal insulation materials, insulation, enclosing structures, energy efficiency, stone wool, fiberglass, fiberboard, extruded polystyrene foam, thermal engineering calculation.

**For citation:** Chakin E.Yu. Energy efficient thermal insulation materials for enclosing wall structures // Inzhenernyye issledovaniya [Engineering Research]. 2022. No. 1(6). Pp. 9-18. URL: <http://eng-res.ru/archive/2022/1/9-18.pdf>

## ВВЕДЕНИЕ

Теплоизоляция является одним из наиболее приоритетных направлений в строительстве на сегодняшний день, поскольку, выбор энергоэффективного теплоизоляционного материала, приведет к повышению эксплуатационных характеристик здания. Здание с правильно подобранным утеплителем гораздо меньше промерзает зимой, что снижает затраты на его отопление. Также здание менее склонно к перегреву летом, сохраняя внутри комфортную температуру, благодаря чему экономится ресурс кондиционерного оборудования.

К энергоэффективным теплоизоляционным материалам относят утеплители, имеющие коэффициент теплопроводности не выше  $0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ . При этом данные материалы должны характеризоваться доступностью сырья, малой энергоемкостью и низкой себестоимостью производства, обладать водо- и морозостойкостью, механической прочностью, экологической и пожарной безопасностью [1-4].

Наличие теплоизоляции дает возможность избежать резких скачков температуры в помещении. Отсутствие существенных колебаний температуры дает возможность убрать благоприятные условия для образования конденсата. Именно применение теплоизоляции исключает появление сырости и развития плесени. Конечно при условии, что влага не образовывается внутри помещения слишком интенсивно от других факторов или накапливается в результате отсутствия гидроизоляции между фундаментом и фасадными стенами.

Стоит отметить, что теплоизоляционные материалы помимо своего прямого предназначения обладают также звукоизоляционными свойствами.

Чтобы защитить здание от теплопотерь и повышенной влажности, его покрывают различными типами утеплителей [5, 6]. Выбрать лучший из них очень сложно, ведь у каждого изделия собственные уникальные свойства и область применения. Теплоизоляционные материалы, которые применяются в современном строительстве, с одной стороны - экологичны, с другой – удобны в монтаже. Изучив основные виды утеплителей, можно выбрать лучший теплоизоляционный материал.

Во время отопительного сезона неизбежно происходят потери тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции (трансмиссионные потери), в том числе сквозь стены, которые могут составлять от 30 до 80 % всей теряемой энергии. Не утепленные и плохо утепленные наружные стены способствуют большому расходу энергии и создают в помещении дискомфортный микроклимат. Чем выше уровень теплоизоляции наружных ограждающих конструкций, тем меньше оказываются потери тепловой энергии в здании через оболочку, а значит, можно сэкономить энергетические ресурсы и уменьшить платежи жителей за тепловую энергию [7].

В случае применения эффективного теплоизоляционного материала разница в температурах воздуха и поверхности стены так мала, что воздух охлаждается незначительно, не вызывая дискомфорта. Холодные наружные стены в помещениях, воздух которых характеризуется повышенной влажностью, способствуют образованию конденсата (особенно в области "мостиков холода"), следствием чего является намокание элементов конструкции, снижение их эксплуатационных параметров и образование плесени. Это оказывает отрицательное влияние на самочувствие и здоровье жильцов. Эти проблемы можно решить посредством достаточного утепления наружных стен. При утеплении фасадов зданий значительно снижаются шумовые нагрузки, которые оказывают влияние на психическое состояние людей. В помещениях здания, утепленного системой теплоизоляции, постоянно сохраняется благоприятный тепловлажностный режим [8].

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Существует довольно широкий ассортимент предлагаемых на рынке материалов, которые могут применяться в качестве эффективного утеплителя. Для нашего сравнения выберем четыре распространённых на данный момент времени утеплителя, основные теплотехнические характеристики которых представлены в табл. 1. А в табл. 2 представлены основные пожаротехнические характеристики теплоизоляционных материалов.

Выбранные виды теплоизоляционных материалов:

1. Каменная вата
2. Стекловата
3. Фибролитовые плиты
4. Экструдированный пенополистирол

Таблица 1. Основные характеристики теплоизоляционных материалов  
Table 1. The main characteristics of thermal insulation materials

Название материала	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Паропроницаемость, мг/м·ч·Па	Долговечность, лет
Каменная вата	10-190	0,030-0,059	0,25-0,35	До 50
Стекловата	10-140	0,032-0,043	0,40-0,70	От 20 до 50
Фибролитовые плиты	250-1050	0,06-0,17	0,03-0,15	Более 60
Экструдированный пенополистирол	19-45	0,026-0,034	0,018	До 50

Таблица 2. Основные противопожарные характеристики материалов  
Table 2. Basic fire performance characteristics of materials

Название материала	Горючесть	Воспламеняемость	Дымообразующая способность	Токсичность
Каменная вата	НГ	В1	Д1	-
Стекловата	НГ	В1	Д1	-
Фибролитовые плиты	Г1	В1	Д1	-
Экструдированный пенополистирол	Г3-Г4	В2-В3	Д3	Т3,Т4

Каменная вата - это волокнистый теплоизоляционный материал, получаемый из силикатных расплавов горных, вулканических пород, а также базальта. Данный утеплитель имеет отличные технические характеристики, благодаря которым он стал широко востребованным в сфере теплоизоляции жилых и нежилых объектов. Основой для производства каменной ваты служит базальт, который плавят в специальных печах при температуре около 1500°C.

При производстве из такой расплавленной базальтовой массы формируются волокна, в которые потом добавляют синтетическое связующее, которое скрепляет эти волокна, а также дополнительные химические «присадки», с помощью которых вату пытаются наделить такими свойствами как, например, гидрофобность, плотность и т.п. В итоге мы получаем материал с открытой ячеистой структурой, который в зависимости от модификации способен работать при температурах до 1000°C [9].

Стекловата по своему внешнему виду очень похожа на каменную и шлаковую вату. Все они входят в группу минеральной ваты согласно принятому у нас ГОСТ 31913-2011. Для её изготовления применяют то же сырьё, что и для изготовления обыкновенного стекла либо стеклобой. Она обладает высокой химической устойчивостью, плотность стекловаты составляет до 130 килограмм на метр кубический. Её изготавливают из песка, соды, доломитов, буры и известняков. В наше время используется стеклобой. Материал обладает большим объёмом, потому что содержит много воздуха. Поэтому он подвергается прессованию. Это делается для экономии пространства во время перевозки и хранения. Её упругость позволяет полностью восстановить первоначальный размер. Её волокна обладают толщиной 3-15 микрометров, они в 2-4 раза длиннее, чем у каменной ваты. Поэтому стекловата имеет высокую упругость и прочность. Она почти полностью состоит из волокон и имеет устойчивость к вибрациям. Не горит [10].

Основным же недостатком стекловаты является экологические последствия изготовления данного утеплителя. Изготовление стекла требует большого количества затрат энергии, что приводит к выбросу продуктов сжигания топлива, которые поступают в окружающую среду [11].

Фибролитовая плита (фиброплита) – утеплитель, который состоит из древесной стружки особой формы и застывшего цементного камня. Изготовление материала производится методом прессования. Прочность древесно-стружечных плит гораздо выше, чем аналогичных древесно-волокнистых. Плиты в своем составе не содержат вредных компонентов, таких как фенол, асбест и т.д., которые могут губительно повлиять на здоровье человека. В состав фибролитовых плит входит древесина, которую нам дает природа. Стоит отметить, что древесина является возобновляемым ресурсом планеты, в отличие от нефтепродуктов, которые используются для изготовления синтетических утеплителей. Кроме того, древесная стружка, может быть изготовлена из отходов лесоперерабатывающей промышленности, что помогает удешевить стоимость материала и добиться безотходного производства [12].

Экструдированный пенополистирол – синтетический материал для теплоизоляции, разработанный американской строительной компанией в 50-е годы XX века. Этот материал имеет такое свойство как равномерная структура, которая состоит из мелких закрытых ячеек, размерами от 0,1-0,2 мм. В производстве гранулы полистирола смешивают при достаточно высоких давлениях и температуре, вводят

вспенивающие смеси легких фреонов и двуокись углерода, называемыми агентом, после этого выдавливают из экструдера. Так же немаловажное качества утеплителя из этого материала – это полное отсутствие водопоглощения. Результаты прошедших испытаний показывают, что водопоглотительная способность этого материала составляет не более 0,2% по объему. При этом заполняются лишь ячейки, расположенные на поверхности, а во внутрь экструдированного пенополистирола влага не попадает. Благодаря этому свойству материал можно применять для устройства пола, кровли и подвала, причем дополнительная защита материала не требуется [12].

Все выбранные теплоизоляционные материалы обладают своими преимуществами и недостатками, которые сведены в табл. 3.

Таблица 3. Преимущества (+) и недостатки (-) теплоизоляционных материалов  
 Table 3. Advantages (+) and disadvantages (-) of thermal insulation materials

Свойства теплоизоляционных материалов	Каменная вата	Стекловата	Фибролитовые плиты	Экструдированный пенополистирол
Высокая звукоизоляция	+	-	+	-
Морозостойкость	+	+	+	+
Долговечность	+	-	+	+
Огнестойкость	+	+	+	-
Низкая паропроницаемость	+	-	+	+
Экологичность	+	-	+	-
Водостойкость	+	+	-	+
Нетоксичность	+	+	+	-
Биостойкость	+	-	+	+
Пыльность	+	-	-	-
Высокая стоимость	-	-	+	+

Для более детального сравнения, рассмотрим различные виды утеплителей от разных производителей с одинаковой толщиной теплоизоляционного слоя; результаты сравнения сведены в табл.4. Для большей наглядности сведем полученные результаты в графики (рис.1 – рис.4).

Таблица 4. Сравнение производителей теплоизоляционных материалов (толщина утеплителя - 50 мм)  
 Table 4. Comparison of manufacturers of thermal insulation materials (insulation thickness - 50 mm)

Производитель	Утеплитель	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, мВт/(м°К)	Стоимость утеплителя за упаковку, руб.	Площадь упаковки, м <sup>2</sup>	Стоимость утеплителя за м <sup>2</sup> , руб.
<b>Каменная вата</b>						
ISOVER	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	21	0,034	690,00	6,10	113,11
	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЙ ДОМ	12,5	0,038	951,00	9,99	95,20
	ИЗОВЕР ПРОФИ	14	0,037	936,00	10,00	93,60
KNAUF	ТЕПЛОКНАУФ NORD 032 (НОРД)	30	0,032	1990,00	7,38	269,65
	ТеплоКНАУФ Для Кровли и стен	14,5	0,036	2175,00	12,00	181,25
	КНАУФ NORD 033 (НОРД)	25	0,033	2090,00	9,00	232,22
ROCKWOOL	Rockwool Лайт Баттс Скандик	32	0,036	939,00	5,76	163,02
	Rockwool Лайт Баттс Экстра	45	0,035	1128,00	4,80	235,00
	Rockwool Эконом	29	0,039	790,00	7,20	109,72
IZOVOL	Izovol Л-35	35	0,035	997,00	5,76	173,09
	IZOVOL СТ-50	50	0,035	1125,00	5,76	195,31
	Izovol Izobel Л-25	25	0,035	695,00	4,80	144,79

Производитель	Утеплитель	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, мВт/(м°К)	Стоимость утеплителя за упаковку, руб.	Площадь упаковки, м <sup>2</sup>	Стоимость утеплителя за м <sup>2</sup> , руб.
Технониколь	ТЕХНОНИКОЛЬ ТЕХНОФАС ЭФФЕКТ	131	0,037	2601,00	4,32	602,08
	ТЕХНОНИКОЛЬ РОКЛАЙТ	35	0,036	1306,00	8,64	151,16
	ТЕХНОНИКОЛЬ Технолайт Оптима	38	0,035	1745,00	8,64	201,97
<b>Стекловата</b>						
ISOVER	Isover Теплый Дом Твин	11	0,040	1254,00	13,40	93,58
ISOROC	Isoroc Супер Теплый	28	0,032	957,00	6,10	156,89
URSA	Ursa Terra	16	0,036	979,00	7,63	128,31
	Ursa Geo Лайт	11	0,044	1695,00	15,00	113,00
	Ursa Универсальная	16	0,036	899,00	7,50	119,87
<b>Фибролитовые плиты</b>						
GreenBoard	GreenBoard GB1	300	0.063	893,00	1,80	496,11
	GreenBoard GB600	600	0.095	1384,00	1,80	768,89
NORDECO	NORDECO-400	400	0,090	908,00	1,56	582,05
<b>Экструдированный пенополистирол</b>						
ПЕНОПЛЭКС	ПЕНОПЛЭКС КОМФОРТ	19	0,034	1593,00	4,83	329,81
Технониколь	ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO	24	0,032	1926,00	5,48	351,46
URSA	URSA XPS СТАНДАРТ N-II-L	30	0,030	2039,00	5,66	360,25
	URSA XPS N-III-G3-L	35	0,032	2464,00	5,66	435,34
	URSA XPS N-III-L pro	35	0,030	1908,00	4,96	384,68

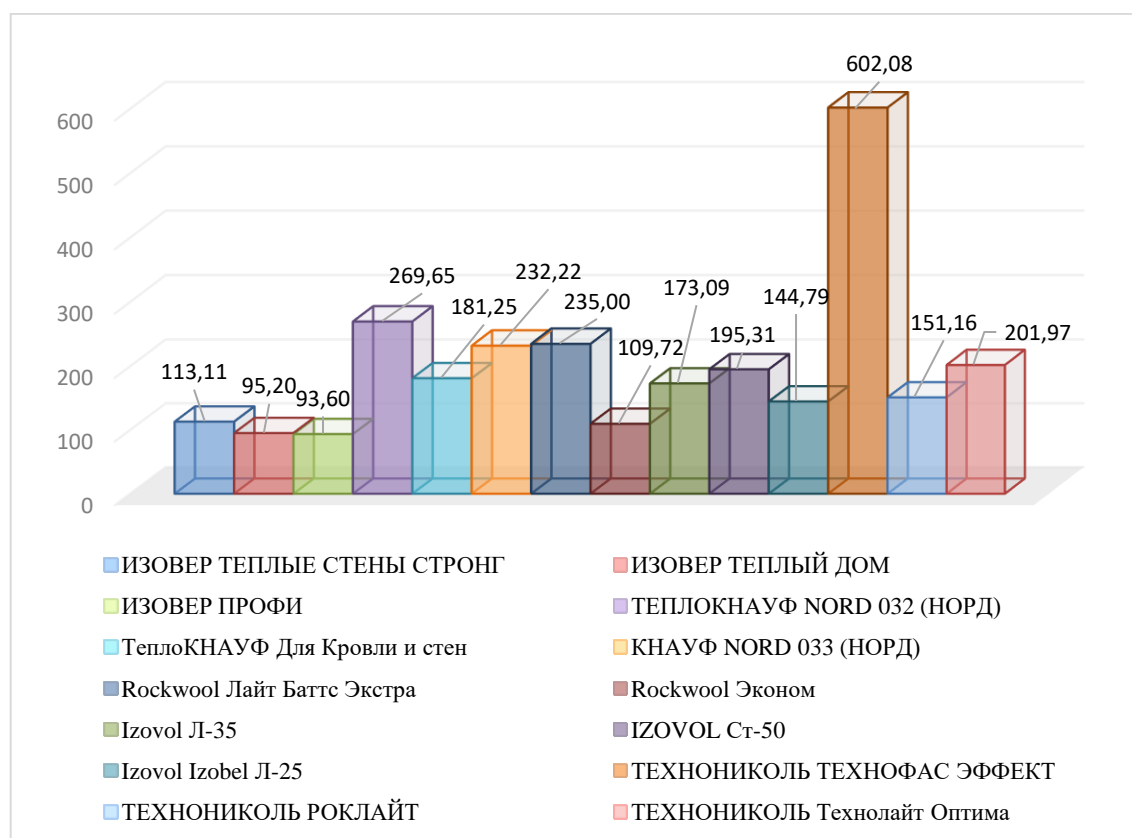
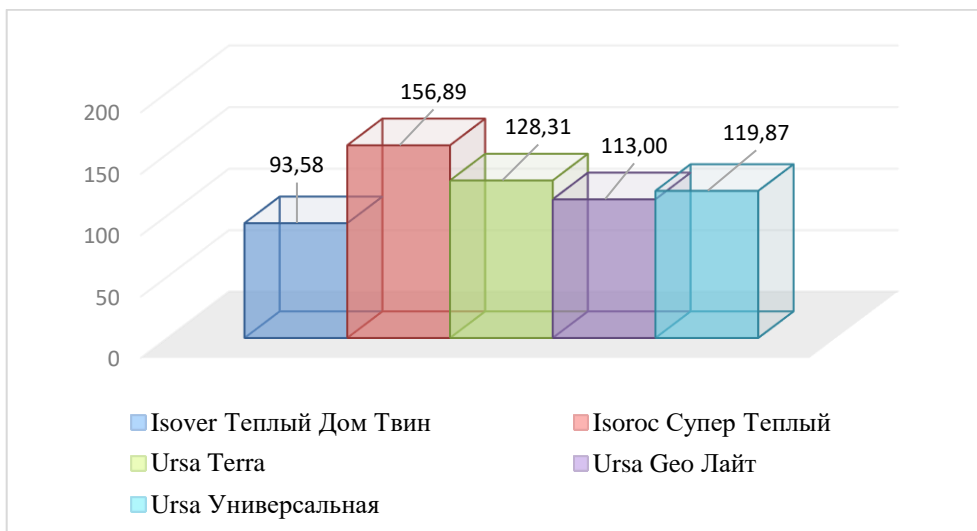
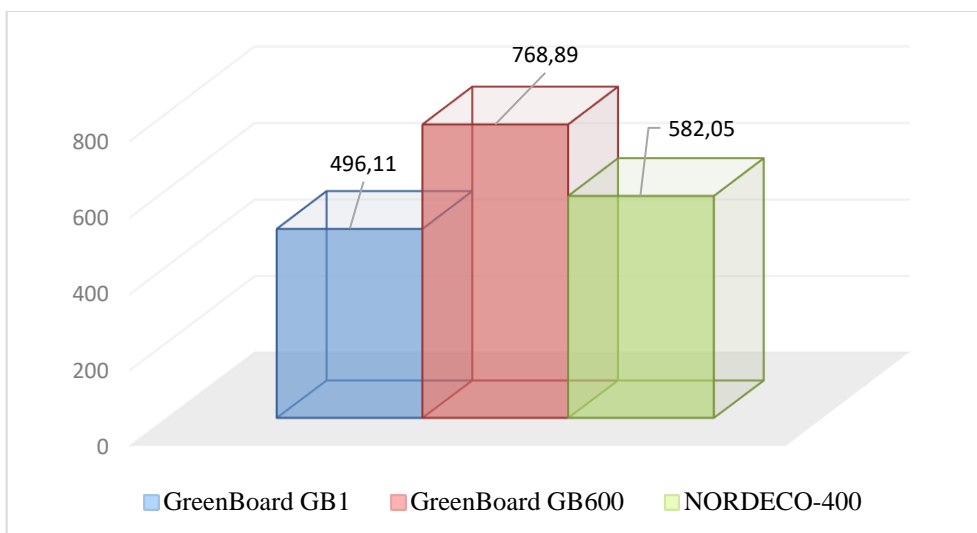


Рис. 1. Стоимость квадратного метра (каменная вата)

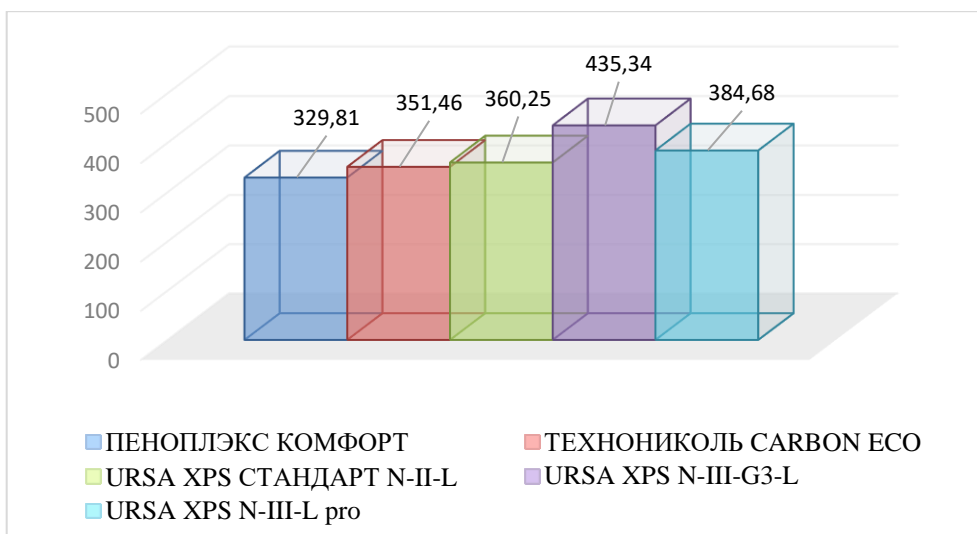
Fig. 1. Cost per square meter (stone wool)



**Рис. 2.** Стоимость квадратного метра (стекловата)  
**Fig. 2.** Cost per square meter (glass wool)



**Рис. 3.** Стоимость квадратного метра (фибритовые плиты)  
**Fig. 3.** Cost per square meter (fibreboard)



**Рис. 4.** Стоимость квадратного метра (экструдированный пенополистирол)  
**Fig. 4.** Cost per square meter (extruded polystyrene foam)



Обеспечение необходимого сопротивления теплопередаче несветопрозрачных ограждений связано с подбором наиболее эффективного утеплителя и применения общепринятых подходов, направленных на повышение теплотехнической однородности ограждающих конструкций за счет уменьшения влияния теплопроводных включений. Для достижения нормативных показателей, обусловленных современными требованиями к энергоэффективности, наружные стены зданий делают многослойными, включающими несущий и теплоизоляционный слой [13].

Далее для сравнительного анализа будем использовать климатические данные г. Санкт-Петербург.

По формуле (1) согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» определим нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередачи ограждающей стеновой конструкции:

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} \cdot m_p \quad (1)$$

$R_0^{\text{тп}}$  - базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкции стены.

Для г. Санкт-Петербург в зданиях жилые, гостиницы и общежития  $R_0^{\text{тп}} = 3,08$  Вт/(м·°C).

$m_p$ - коэффициент, учитывающий особенности региона строительства (принимается равным:  $m_p = 0,95$  – для стен).

$$R_0^{\text{норм}} = 3,08 \cdot 0,95 = 2,93 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Так, требуемую толщину однородного материала можно найти по формуле (2):

$$\delta = R_0^{\text{норм}} \cdot \lambda \quad (2)$$

Проведем сравнение основных и современных теплоизоляционных материалов для того чтобы наглядно показать какой толщины необходим материал для выполнения требования  $R_{\text{тп}} \geq R_0^{\text{норм}}$  и рассчитать экономическую эффективность данных материалов.

Так для ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ рассчитаем требуемую толщину однородного материала:

$$\delta = 2,93 \cdot 0,034 = 0,100 \text{ м}$$

Для сравнительного анализа условно примем проектируемое здание с общей площадью наружных стен 5000 м<sup>2</sup> (S), тогда можем рассчитать требуемое количество теплоизоляционного материала (сколько слоёв утеплителя необходимо), зная требуемую толщину однородного материала ( $\delta$ ) можно узнать какое количество утеплителя толщиной 50мм. понадобится.

$$n = \frac{\delta}{t} = \frac{0,100}{0,050} = 2$$

Тогда, затраты на теплоизоляцию (ЗТ), проектируемого здания, однородным материалом, будут составлять произведение стоимости утеплителя за м<sup>2</sup> (С) на требуемое количество слоев теплоизоляционного материала:

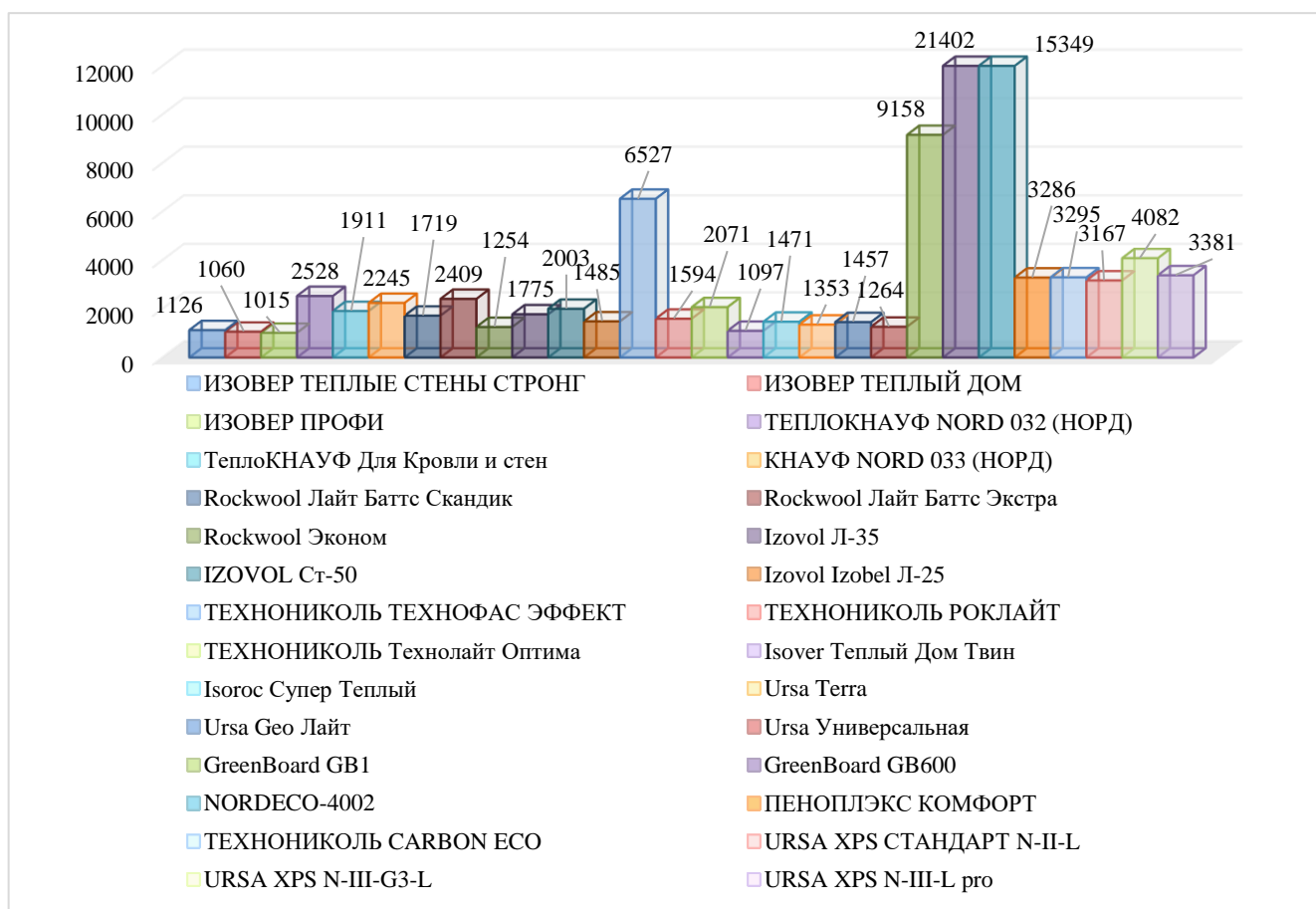
$$\text{ЗТ} = C \cdot S \cdot n = 113,11 \cdot 5000 \cdot 2 = 1131,10 \text{ тыс.руб.}$$

Все затраты на теплоизоляционные материалы для различных видов утеплителей и производителей приведены в табл.5. Для большей наглядности полученный объем затрат сведем в общий график (рис.5).

Таблица 5. Затраты на теплоизоляционные материалы (толщина утеплителя - 50 мм)  
 Table 5. The cost of thermal insulation materials (insulation thickness - 50 mm)

Производитель	Утеплитель	Требуемая толщина утеплителя, м	Необходимое количество слоёв утеплителя, м <sup>2</sup>	Затраты на теплоизоляцию, тыс. руб.
Каменная вата				
ISOVER	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЕ СТЕНЫ СТРОНГ	0,100	1,99	1126,80
	ИЗОВЕР ТЕПЛЫЙ ДОМ	0,111	2,23	1059,96
	ИЗОВЕР ПРОФИ	0,108	2,17	1014,72
KNAUF	ТЕПЛОКНАУФ NORD 032 (НОРД)	0,094	1,88	2528,24
	ТеплоКНАУФ Для Кровли и стен	0,105	2,11	1911,83
	КНАУФ NORD 033 (НОРД)	0,097	1,93	2245,34
ROCKWOOL	Rockwool Лайт Баттс Скандик	0,105	2,11	1719,53
	Rockwool Лайт Баттс Экстра	0,103	2,05	2409,93

Производитель	Утеплитель	Требуемая толщина утеплителя, м	Необходимое количество слоёв утеплителя, м <sup>2</sup>	Затраты на теплоизоляцию, тыс. руб.
	Rockwool Эконом	0,114	2,29	1253,77
IZOVOL	Izovol Л-35	0,103	2,05	1775,04
	IZOVOL Ст-50	0,103	2,05	2002,90
	Izovol Izobel Л-25	0,103	2,05	1484,82
Технониколь	ТЕХНОНИКОЛЬ ТЕХНОФАС ЭФФЕКТ	0,108	2,17	6527,15
	ТЕХНОНИКОЛЬ РОКЛАЙТ	0,105	2,11	1594,44
	ТЕХНОНИКОЛЬ Технолайт Оптима	0,103	2,05	2071,20
<b>Стекловата</b>				
ISOVER	Isover Теплый Дом Твин	0,117	2,34	1096,76
ISOROC	Isoroc Супер Теплый	0,094	1,88	1471,00
URSA	Ursa Terra	0,105	2,11	1353,41
	Ursa Geo Лайт	0,129	2,58	1456,80
	Ursa Универсальная	0,105	2,11	1264,39
<b>Фибролитовые плиты</b>				
GreenBoard	GreenBoard GB1	0,185	3,69	9157,69
GreenBoard	GreenBoard GB600	0,278	5,57	21402,05
NORDECO	NORDECO-400	0,264	5,27	15348,66
<b>Экструдированный пенополистирол</b>				
ПЕНОПЛЭКС	ПЕНОПЛЭКС КОМФОРТ	0,100	4,86	3285,57
ТЕХНОНИКОЛЬ	ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO	0,094	5,48	3295,29
URSA	URSA XPS СТАНДАРТ N-II-L	0,088	5,66	3166,60
	URSA XPS N-III-G3-L	0,094	5,66	4081,75
	URSA XPS N-III-L pro	0,088	12,00	3381,34



**Рис. 5.** Затраты на теплоизоляцию проектируемого здания однородным материалом  
**Fig. 5.** The cost of thermal insulation of the designed building with a homogeneous material



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из стоимостной оценки теплоизоляционных материалов и объемов условно проектируемого здания, можно сделать вывод, самым экономически интересным предложением среди изоляции из каменной ваты является теплоизоляция ИЗОВЕР ПРОФИ (с затратами в размере 1015 тыс. руб.), а самым дорогим вариантом является ТЕХНОНИКОЛЬ ТЕХНОФАС ЭФФЕКТ (затраты в размере 6527 тыс. руб.) – использование данного утеплителя экономически нецелесообразно.

Сравнивая стекловолоконные утеплители, наиболее дешевым и эффективным вариантом является ISOVER ТЕПЛЫЙ ДОМ ТВИН (стоимость утепления составит 1097 тыс. руб.), наименее привлекательный же вариант является ISOROC СУПЕР ТЕПЛЫЙ (стоимость утепления составит 1471 тыс. руб.). Разница в затратах между данными вариациями утеплителя составляет 25%.

Выбирая между фибролитовыми плитами, экономически целесообразно использовать GREENBOARD GB1, так как они имеют наименьший показатель затрат (9158 тыс. руб.), наибольший же показатель имеет утеплитель GREENBOARD GB600 (21402 тыс. руб.). В целом можно сделать вывод о фибролитовых плитах, имея максимальную долговечность, они также имеют и максимальную стоимость, среди сравниваемых материалов. Исходя из экономических соображений использование данного вида утеплителя нерационально.

Сравнивая теплоизоляцию из ЭППС, делаю вывод о том, что наиболее эффективным и экономически выгодным будет утеплитель URSA XPS СТАНДАРТ N-II-L (с показателем затрат в 3167 тыс. руб.), наименее эффективным и самым дорогим является URSA XPS N-III-G3-L (с показателем затрат в 4082 тыс. руб.). Разница в затратах на утепление между данными теплоизоляционными материалами составляет 22%. В общем и целом, цены на экструдированный пенополистирол гораздо дороже чем на утеплители из каменной ваты и стекловаты.

Делая вывод о долговечности выбранных теплоизоляционных материалов, можно сказать, что стекловата имеет наименьший срок эксплуатации, это свидетельствует о том, что при долгом сроке эксплуатации стекловаты придется понести существенные затраты на замену утеплителя, этот факт делает данный утеплитель наименее привлекательным. Наиболее же привлекательный с точки зрения сроков службы является фибролит.

После рассмотрения пожаротехнических характеристик, можно сказать что из всех сравниваемых теплоизоляционных материалов экструдированный пенополистирол является самым пожароопасным, исходя из классов пожарной опасности, это указывает на то что его использование для теплоизоляции внешних стен не является разумным. Еще один несомненный и самый главный минус ЭППС заключается в его практически нулевой паропроницаемости, так наружные стены, выполненные с утеплением из ЭППС приведет к накоплению влаги внутри конструкции и не только к дальнейшему разрушению фасада, но и к образованию плесени и грибка.

Подводя итог, проанализировав выбранные виды утеплителей, наиболее эффективным и рациональным со всех точек зрения будет использование теплоизоляционных материалов из каменной ваты от производителя ИЗОВЕР ПРОФИ.

Каждый из сравниваемых материалов не идеален и не лишен недостатков. Идеального утеплителя, подходящего для любых целей, не существует. Выбирая оптимальный вариант, нужно принимать во внимание множество других факторов, таких как материал утепляемой конструкции, её форму и положение в пространстве, условия эксплуатации и другие моменты.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов М.Ю. Энергоэффективные утеплители в строительстве // Труды братского государственного университета. серия: естественные и инженерные науки - развитию регионов Сибири. 2012. №5. С. 161-166.
2. Чакин Е.Ю., Гамаюнова О.С. Современные тенденции повышения энергоэффективности зданий // В сборнике: Неделя науки ИСИ. Материалы всероссийской конференции в 3-х частях. Инженерно-строительный институт Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Санкт-Петербург, 2021. С. 212-215.
3. Gamayunova O., Musorina T., Petrichenko M., Goremikins V. Warming of panel houses in various climatic zones // В сборнике: Proceedings of EECSE 2019. Energy, Environmental and Construction Engineering. Cham, 2020. С. 253-263.
4. Попов Г.П. Анализ рынка теплоизоляционных материалов // Инженерные исследования. 2021. № 3 (3). С. 3-8. URL: <http://eng-res.ru/archive/2021/3/3-8.pdf>
5. Zubarev K., Gagarin V. Mathematical modeling of heat and moisture regimes of building for the facade thermal insulation composite system with mineral wool insulation // Smart Innovation, Systems and Technologies. 2022. Т. 247. С. 625-634.
6. Zubarev K., Gagarin V. Heat and moisture transfer in building enclosing structures // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Т. 247. С. 257-266.

7. Ватин Н.И., Немова Д.В., Рымкевич П.П., Горшков А.С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженерно-строительный журнал. 2012. №8(34). С. 4-14.
8. Кузнецова Л.В., Семёнова Е.Ю. Теплоизоляционные материалы как средство достижения повышения энергоэффективности зданий и сооружений // Научный журнал. инженерные системы и сооружения. 2013. №4(13). С. 22-28.
9. Бердюгин И.А. Теплоизоляционные материалы в строительстве. Каменная вата или стекловолокно: сравнительный анализ // Инженерно-строительный журнал. 2010. №1(11). С. 26-31.
10. Матвиенко А.В. Применение стекловаты в строительстве // Наука и образование сегодня. 2020. №7(54). С. 27-28.
11. Вольхин М.А., Николаева Ю.Е., Быкадорова О.А. Анализ выбросов вредных веществ в окружающую среду при сжигании топлива на примере производства стекловаты // Вестник НИЦ МИСИ: актуальные вопросы современной науки. 2017. №4. С. 29-33.
12. Жидко К.А., Резван И.В. Фибролитовые плиты, как экологичный утеплитель // Сборник материалов международных научно-практических конференций. 2018. С. 113-118.
13. Рудченко И.И., Саусь А.А., Клименко Н.Е. Эффективные решения по применению плит из экструдированного пенополистирола для утепления стен подвала // Научные горизонты. 2017. № 3. С. 188-191.

#### ОБ АВТОРАХ

**Егор Юрьевич Чакин** – студент. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29. E-mail: chakin34@gmail.com

#### ABOUT THE AUTHORS

**Egor Yu. Chakin** – student. Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University (SPbPU). 195251, Russia, St.Petersburg, Polytechnicheskaya st., 29. E-mail: chakin34@gmail.com