

Выбор теплоизоляционного слоя для сэндвич-панелей на основе сравнения их параметров

Д.Ф. Кряжевских, В.Ю. Волохин, А.В. Кондрашов, Н.А. Шипилова

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар

Аннотация: Авторами в данной статье поднимается тема правильного подбора внутреннего материала для сэндвич-панелей. Использование этих конструкций широко распространено в строительстве промышленных объектов, поэтому важно учесть все параметры возможных вариантов для оптимального выбора. Целями статьи авторы определяют создание вспомогательной сравнительной таблицы с параметрами наиболее популярных теплоизоляционных материалов для сэндвич-панелей на основе нормативной и теоретической информации, а также формулировку рекомендаций к применению определенного материала в зависимости от заданных условий. Особое внимание в исследовании уделяется таким свойствам материалов, как влагостойкость, горючесть, долговечность, плотность и теплоизоляция. Также важно отметить, что в статье затронут стоимостный вопрос, а именно - сравниваются рыночные цены на сэндвич-панели с рассматриваемыми утеплителями некоторых поставщиков.

Ключевые слова: теплоизоляционные материалы, сэндвич-панели, свойства материалов, анализ свойств, влагостойкость конструкций, плотность.

Активное использование сэндвич-панелей в промышленных зданиях в России началось с 1980-х гг., но в то время данный материал транспортировали с иностранных заводов. Это сильно влияло на их стоимость и состояние к моменту начала монтажа конструкций. За 40 лет применения сэндвич-панелей в России были построены отечественные заводы по их производству, что сделало строительство зданий из сэндвич-панелей доступным и одновременно выгодным решением для многих областей применения.

Так, сэндвич-панели изначально использовались для быстрого возведения промышленных комплексов, производственных и вспомогательных площадей для различных сфер промышленности, складских зданий. Но за последние 2 десятилетия применение сэндвич-панелей всё больше распространяется на торговые площади, рынки, спортивные и выставочные центры и сооружения, котельные и тепловые

узлы, автозаправочные станции. Широкое распространение наряду с другими популярными строительными материалами сэндвич-панели получили благодаря нескольким преимуществам: простота и легкость конструкции, высокая скорость монтажа, устойчивость к воздействию внешней среды, экономичность ресурсов. Также следует отметить широту географии использования сэндвич-панелей – утеплители эффективно работают даже при очень низких температурах на крайнем севере [1].

Преимущество, которое будет нами проанализировано, заключено в простоте конструкции сэндвич-панелей: два жестких наружных слоя и внутренний из теплоизоляционного материала. Внешние слои, чаще всего из металла, и внутренний надежно склеены специальными адгезивами, которые обеспечивают прочное соединение и герметичность. Конструкция позволяет создать множество вариантов сочетания наружных и внутреннего слоев по различным требованиям, однако одновременно с этим появляется вопрос о выборе верного внутреннего материала сэндвич-панели.

Итак, **целью данного исследования** является сведение характеристик наиболее популярных материалов теплоизоляционного слоя сэндвич-панелей в единую таблицу, с помощью которой можно будет максимально быстро подобрать вариант в зависимости от заданных условий и требований к конструкции. Задачами следует выделить следующие пункты:

- составление списка наиболее популярных материалов для внутреннего слоя сэндвич-панелей;
 - составление сводной таблицы по свойствам материалов на основе анализа нормативной документации и теоретической информации научных статей, публикаций;
 - описание и сопутствующий анализ каждого из материалов составленного списка согласно плану: как производят материал, преимущества и недостатки;
-

- приведение примеров наиболее удачной области применения для каждого из проанализированных материалов.

Чтобы разобраться в том, какой материал необходимо использовать в конкретной ситуации, обратимся к основным материалам, используемым в качестве внутреннего теплоизоляционного слоя в сэндвич-панелях: минеральная вата, пенополистирол, экструдированный пенополистирол и пенополиизоцианурат (ПИР).

Источники, которые занимались этой проблемой

Известны научные статьи [1, 3], в которых авторы также обращались к сравнению материалов для сэндвич-панелей, на основе анализа свойств теплоизоляционных материалов внутренних слоев и внешних слоев.

В статье [2] автор анализирует качества сэндвич-панелей для обеспечения пожарной безопасности зданий. Это исследование важно, так как огнестойкость, воспламеняемость конструкций являются одними из самых важных качеств при эксплуатации.

Ещё в одном исследовании [4] автор уделяет внимание систематизации знаний, касающихся классификационных признаков сэндвич-панелей, на основе которой может быть совершен выбор технологии строительного процесса.

Методика исследования. В процессе исследования был выполнен сбор и анализ информации по научным статьям, сайтам профильных организаций и нормативной документации. Теоретическая информация была собрана для анализа параметров теплоизоляционных материалов для сэндвич-панелей в единую таблицу (табл. 1). Далее в процессе систематизации полученных знаний были выявлены общие и различные свойства материалов, описаны преимущества и недостатки, определены наиболее существенные свойства при выборе теплоизоляционного материала.

Таблица № 1

Сравнение характеристик основных теплоизоляционных материалов
сэндвич-панелей.

Рассматриваемая характеристика	Минеральная вата	Пенополистирол	Экструдированный пенополистирол	Пенополиизоцианурат (ППИР/PIR)
Теплоизолирующая способность	Высокая	Средняя	Средняя	Высокая
Горючесть	НГ	Г3	Г4	Г1
Звукопроницаемость	Низкая	Низкая	Низкая	Звукопроницаемый
Гигроскопичность	Низкая	Гигроскопичен	Гигроскопичен	Негигроскопичный
Стойкость к температурным деформациям	Высокая	Средняя	Средняя	Высокая
Химическая и биологическая стойкость	Высокая	Средняя	Средняя	Повышенная
Экологичность	Высокая	Высокая	Высокая	Средняя
Долговечность	50 лет	50 лет	50 лет	50 лет
Стойкость к нагрузкам	Высокая	Средняя	Средняя	Высокая
Влагостойкость	Не более 1%	Не более 5 %	Не более 5 %	Влагонепроницаемый
Теплопроводность	0,041-0,065	0,036-0,041	0,036-0,041	0,022
Прочность на сжатие	Средняя (30-100 кПа)	Высокая (40-250 кПа)	Высокая (40-250 кПа)	Высокая (150-400 кПа)
Воспламеняемость	Невоспламеняемый	В3	В3	В2, В3
Плотность	Варьируется, относительно высокая	Низкая	Низкая	Низкая

Примечание 1: зелёные ячейки в таблице показывают преимущественные свойства материалов, жёлтые ячейки - недостатки материалов.

Примечание 2: все численные значения взяты как наиболее распространенные для конкретного материала, при возможности свойства материалов могут быть улучшены в заданных условиях.

Анализ и сравнение материалов.

Минеральная вата. Наиболее распространенным материалом для теплоизоляции является минеральная вата – волокнистый материал, получаемый из расплавов горных пород, металлургических шлаков и их

смесей, предварительно раздробленных в капли и вытянутых в нити. При этом между волокон материала существуют воздушные карманы, которые и выполняют функцию теплоизолятора.

Именно минеральная основа ваты, дробленные вулканические породы, дает ей важные свойства, как экологичность и прочность. Экологичность материалов сегодня актуальна из-за растущей взволнованности по поводу изменения климата, истощения природных ресурсов и загрязнения окружающей среды. А прочность является ключевым фактором для обеспечения безопасности и долговечности строительных объектов.

Минеральная вата обладает чрезвычайно низкой гигроскопичностью: содержание влаги при нормальных условиях эксплуатации составляет примерно 0,5% по объему. Однако при это материал не отличается влагостойкостью: может впитывать влагу, что снижает её теплоизоляционные свойства и может привести к образованию плесени и грибка. По ГОСТ 4640-93 содержание влаги в % по массе в минераловатной плите должно быть не более 1.

Главным преимуществом минеральной ваты наряду с остальными теплоизолирующими материалами является негорючесть. По требованиям пожарной безопасности изделия из негорючих материалов эффективно препятствуют распространению пламени и применяются в качестве противопожарной изоляции и огнезащиты. Так же что касается стойкости к температурным деформациям – минеральная вата может выдерживать температуры до 1000 °С и более, что позволяет использовать её в производственных зданиях вблизи котлов, печей.

Пенополистирол (EPS) и экструдированный пенополистирол (XPS).

Пенополистирол и экструдированный пенополистирол производятся по-разному. Первый материал получают из компонентов на основе

полистирола, затем добавляя вспенивающие компоненты, легкокипящие углеводороды (эти компоненты создают пузырьки в материале) и добавки, которые улучшают свойства конечного продукта. Далее смолу с газом нагревают, что приводит к расширению газовых пузырьков и образованию структуры с закрытыми ячейками.

Экструдированный пенополистирол же получают через процесс экструзии, что обеспечивает более однородную и плотную структуру, представляющую собой массу закрытых ячеек, заполненных молекулами газа.

Пенополистирол и экструдированный пенополистирол обладают приблизительно одинаковыми теплоизоляционными свойствами. Благодаря своей структуре при использовании оба материала в значительной степени улучшают звукоизоляцию конструкций. Данные материалы не подвержены гниению и образованию плесени, что говорит об их высокой влагостойкости в сравнении с минеральной ватой.

Также в отличие от минеральной ваты оба материала отличаются более низкой плотностью (10-35 кг/м³, в то время как у минеральной ваты плотность варьируется от 35 до 50 кг/м³), что позволяет им обладать низкой теплопроводностью.

Пенополиизоцианурат (ПИР/PIR).

Пенополиизоцианурат (ПИР) – сравнительно новый материал, используемый в качестве утеплителя в сэндвич-панелях, но уже успевший активно распространиться на рынке строительных материалов. Если упрощенно сказать о его способе получения, то пенополиизоцианурат – это модифицированный пенополиуретан: он получается в результате реакции полилола и изоцианурата. Благодаря такому составу, ПИР сохраняет все позитивные свойства полиуретана.

Как и пенополистирол ПИР обладает низкими теплопроводностью и плотностью, при этом обладая хорошим пределом прочности. Благодаря плотной закрытой структуре, абсолютно водонепроницаем, обладает высокой устойчивостью к воздействию огня. Также долговечен, как вышеперечисленные материалы, сохраняет свои свойства и эксплуатационные характеристики более 50 лет.

В сравнении с минеральной ватой и пенополистиролами материал обладает самой высокой прочностью на сжатие и высокой химической стойкостью. Стойкость к химическому воздействию расширяет области применения для сэндвич-панелей из пенополиизоцианурата для производственных зданий, в которых происходят технологические процессы с использованием химически агрессивных жидкостей.

Сравнение цен на сэндвич-панели по рынку. Цены на сэндвич-панели могут варьироваться в зависимости от региона, производителя, толщины и других характеристик. Однако, в общем, можно выделить следующие тенденции по стоимости различных типов сэндвич-панелей, зафиксированные в таблице 2, сформированной на основе информации о ценах поставщиков, взятых из электронных каталогов онлайн:

1. Сэндвич-панели с минеральной ватой обычно имеют среднюю цену среди рассматриваемых материалов, занимают промежуточное значение между сэндвич-панелями с пенополистиролом и с экструдированным пенополистиролом.

2. Сэндвич-панели с пенополистиролом (EPS) обычно являются наиболее бюджетным вариантом.

3. Сэндвич-панели с экструдированным пенополистиролом (XPS) чаще всего стоят дороже, чем панели с обычным пенополистиролом, но дешевле, чем панели с минеральной ватой.

4. Сэндвич-панели с пенополиизоциануратом (ПИР) обычно имеют наивысшую цену среди перечисленных вариантов.

Таблица № 2

Сравнение цен на сэндвич-панели наиболее часто применяемых толщин.

Толщина	Поставщик 1				Поставщик 2				Поставщик 3			
	MB	EPS	XPS	ПИР	MB	EPS	XPS	ПИР	MB	EPS	XPS	ПИР
50	1140	960	1100	1900	2250	2025	2050	2080	2476	2009	2039	2650
100	1365	1300	1310	2075	3000	2200	2400	2730	3075	2183	2213	3213
150	1570	1440	1520	2475	3750	2375	2750	3380	3675	2356	2386	3885
200	1720	1640	1625	2900	4500	2550	3100	4030	4274	2530	2560	4353

Примечание: цены даны в у.е./1 м²

На основании таблицы 2 составим диаграмму средних цен на рассматриваемые материалы и сформулируем по ней выводы (рис.1). Для гистограммы взяты усредненные по толщинам значения цен у каждого поставщика.

На основании таблицы 2 и гистограммы в целом, если говорить о порядке цен, то можно выделить следующую последовательность (от самой низкой к самой высокой):

1. Пенополистирол (EPS);
2. Экструдированный пенополистирол (XPS);

3. Минеральная вата;
4. Пенополиизоцианурат (ПИР).

Однако при более детальном рассмотрении гистограммы можно выделить некоторые особенности у отдельных поставщиков. Так, например, у поставщика 2 цены за 1 м² сэндвич-панелей с утеплителем из пенополиизоцианурата ниже, чем с утеплителем из минеральной ваты. Это может быть связано с более дорогой транспортировкой минеральной ваты в регион поставщика 2. Также интересно обратить внимание на то, что цены на EPS и XPS в одном ценовом диапазоне. Это говорит о том, что при выборе теплоизоляционного материала для сэндвич-панелей между этими двумя вариантами показатель цены не будет иметь существенного значения.

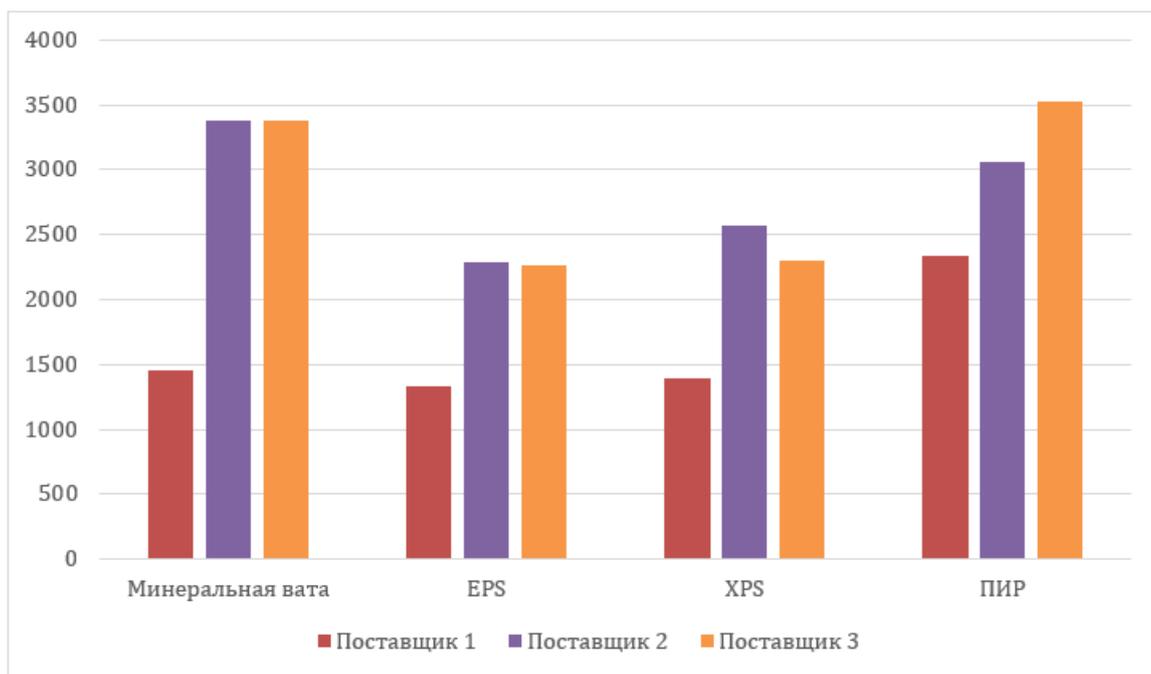


Рис. 1 – Гистограмма сравнения цен на сэндвич-панели с рассматриваемыми утеплителями.

Выводы. Итак, проанализировав вышеперечисленные теплоизоляционные материалы по основным свойствам, можно сформулировать некоторые выводы и рекомендации по применению материалов в тех или иных условиях:

- Наиболее безопасным материалом для зданий всех категорий огнестойкости является минеральная вата, наименее применимы пенополистирол и экструдированный пенополистирол. Именно поэтому даже в производственных и складских зданиях категории А (повышенной взрывопожароопасности) может применяться минеральная вата.

- В случаях повышенной влажности в зданиях (например, автомоек по назначению) не рекомендуется использование минеральной ваты. Остальные рассматриваемые утеплители применимы, пенополиизоцианурат вообще не впитывает влагу.

- Если необходимо выиграть в весе конструкций сэндвич-панелей, то наиболее применимым стоит выбрать пенополистирол – он обладает самой низкой плотностью среди рассматриваемых материалов; самым тяжелым из утеплителей будет минеральная вата.

- В случае, когда необходимо построить здание с I степенью огнестойкости, лучше использовать сэндвич панели с утеплителем из минеральной ваты, либо пенополиизоцианурата. При сооружении холодильных установок, наоборот, необходимо использовать сэндвич панели с утеплителем из пенополиуретана, пенополиизоцианурата.

- Если в здании необходимо обеспечить более высокую звукопроницаемость, то наименее подходящим вариантов является утеплитель из пенополиизоцианурата, а наиболее подходящим – минеральная вата за счет самой высокой плотности;

- При прочих равных показателях при выборе материала по стоимости дешевле всего выйдут сэндвич-панели с утеплителем из пенополистирола. Его применение широко распространено, а также производство данного материала дешевле остальных.

Таким образом, были проанализированы основные свойства самых популярных материалов теплоизоляционного слоя сэндвич-панелей. Собрана

сравнительная таблица с выделением преимущественных показателей и недостатков каждого материала, сформулированы некоторые рекомендации по выбору того или иного материала для внутреннего слоя сэндвич-панелей.

Литература

1. Артамонова А.А. Антоненко Н.А. Сравнительный анализ материалов для изготовления сэндвич-панелей // Новые технологии в учебном процессе и производстве. Материалы XIV Межвузовской научно-технической конференции, посвященной 60-летию института. Том 1. Под редакцией Платонова А.А., Бакулиной А.А., 2016. С. 315-319.

2. Постовой А.А. Анализ качества сэндвич-панелей для обеспечения пожарной безопасности зданий // Молодой исследователь Дона №6 (33), 2021. С. 77-83.

3. Ярцев В.П. Сравнение теплотехнических характеристик пенополистирола и минеральной ваты в условиях атмосферных воздействий // Вестник Тамбовского государственного технического университета. Строительство и архитектура, 2021, Том 27, №3. С. 468-475.

4. Кодзоев М.-Б. Х., Исаченко С. Л. Сэндвич-панель. Материалы и конструкции // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №2. С. 224-227. URL: bulletennauki.com/kodzoev-isachenko (дата обращения 24.10.2024).

5. Шеина С.Г., Миненко А.Н. Анализ и расчет «мостиков холода» с целью повышения энергетической эффективности жилых зданий // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 (часть 1). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1097

6. Набокова Я.С. Эффективные строительные материалы и способы возведения зданий // Инженерный вестник Дона, 2008, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2008/96

7. Ye Li, Xinbiao Xiao, Aipeng Pan. Acoustic optimization design of porous materials on sandwich panel under flow-induced vibration // International

Journal of Aeroacoustics, Volume 22, Issue 1-2, 2023. URL: journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1475472X221150180 (дата обращения 15.01.2025).

8. B. Abdi, S. Azwan, M.R. Abdullah, Amran Ayob, Yazid Yahya. Comparison of foam core sandwich panel and through-thickness polymer pin-reinforced foam core sandwich panel subject to indentation and flatwise compression loadings // Polymer Composites, Volume 37, Issue 2, 2014. P. 612-619. URL: 4srepublishations.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pc.23218 (дата обращения 30.12.2024).

9. Ларин Н.В., Толоконников Л.А. Определение законов неоднородности заполнителя сэндвич-панели с минимальной звукопроницаемостью // Чебышевский сборник, Том 25, Выпуск 4, 2024. С. 197-212.

10. Корольченко А.Д. Экспериментальное определение устойчивости сборных металлических конструкций к взрывным нагрузкам // Пожаровзрывобезопасность, 2023, Т. 32, № 3, С. 9-16. URL: cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnoe-opredelenie-ustoychivosti-sbornyh-metallicheskih-konstruktsiy-k-vzryvnyim-nagruzkam/viewer

References

1. Artamonova A.A. Antonenko N.A. Novye tehnologii v uchebnom processe i proizvodstve. Materialy XIV Mezhvuzovskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, posvjashhennoj 60-letiju instituta. Tom 1. Pod redakciej Platonova A.A., Bakulinoj A.A. 2016. pp. 315-319.

2. Postovoj A.A. Molodoj issledovatel' Dona №6 (33), 2021. pp. 77-83.

3. Jarcev V.P. Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura, 2021, Tom 27, №3. pp. 468-475.



4. Kodzoev M.-B. H., Isachenko S. L. B'ulleten' nauki i praktiki. 2018. T. 4. №2. pp. 224-227. URL: bulletennauki.com/kodzoev-isachenko (data obrashhenija 24.10.2024).
5. Sheina S.G., Minenko A.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №4 (chast' 1). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1097
6. Nabokova Ja.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2008, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2008/96
7. Ye Li, Xinbiao Xiao, Aipeng Pan. International Journal of Aeroacoustics, Volume 22, Issue 1-2, 2023. URL: journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1475472X221150180 (date assessed 15.01.2025).
8. B. Abdi, S. Azwan, M.R. Abdullah, Amran Ayob, Yazid Yahya. Polymer Composites, Volume 37, Issue 2, 2014. P. 612-619. URL: 4srepublications.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pc.23218 (date assessed 30.12.2024).
9. Larin N.V., Tolokonnikov L.A. Chebyshevskij sbornik, Tom 25, Vypusk 4, 2024. pp. 197-212.
10. Korol'chenko A.D. Pozharovzryvobezopasnost', 2023, T. 32, № 3, pp. 9-16. URL: cyberleninka.ru/article/n/eksperimentalnoe-opredelenie-ustoychivosti-sbornyh-metallicheskih-konstruktsiy-k-vzryvnym-nagruzkam/viewer.

Дата поступления: 2.02.2025

Дата публикации: 26.03.2025