

Ян Шуай, магистрант,
Забайкальский государственный университет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИВЕДЕННЫХ ЗАТРАТ НА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: ПЕНОПОЛИСТИРОЛ (EPS) ПРОТИВ КАМЕННОЙ ВАТЫ

Аннотация. Сравнение затрат жизненного цикла утеплителей для площади 2000 м² показало, что пенополистирол (EPS) имеет приведённые годовые расходы 924 тыс. руб., каменная вата – 1291 тыс. руб., подтверждая экономическое преимущество EPS

Ключевые слова: Пенополистирол, каменная вата, приведённые. затраты, теплоизоляция, экономическая эффективность.

Введение

С постоянным ростом глобального энергопотребления и повышением осознания важности охраны окружающей среды, энергосбережение в строительстве стало ключевым звеном в достижении целей устойчивого развития. В этом контексте выбор и применение теплоизоляционных материалов – важного технического средства для снижения энергопотребления зданий и повышения комфортности внутренней среды – привлекают широкое внимание. Идеальный теплоизоляционный материал должен не только обладать превосходными теплотехническими характеристиками, но также требует комплексного учёта его экономической эффективности, безопасности и воздействия на окружающую среду, чтобы максимизировать выгоду в течение длительного срока службы.

Среди множества теплоизоляционных материалов пенополистирол (EPS) и асбест представляют собой два типичных материала, разработанных в разные исторические периоды и с использованием различных технологических подходов. EPS, как легкий полимерный пенопласт с закрытой ячеистой структурой, благодаря своим превосходным теплоизоляционным свойствам, низкому водопоглощению, простоте обработки и монтажа, а также относительно низкой стоимости, нашел широкое применение в наружной теплоизоляции зданий, холодильных перевозках и других областях. В отличие от него, асбест, как природное минеральное волокно, ранее широко использовался в XX веке в строительстве, промышленном оборудовании и изоляции трубопроводов благодаря своим превосходным огнестойким, теплоизоляционным и антикоррозийным свойствам, а также чрезвычайно низкой стоимости сырья. Однако с углублением медицинских исследований волокна асбеста были признаны сильным канцерогеном, и их серьёзный вред для здоровья человека (такой как асбестоз, рак лёгких, мезотелиома и др.) привёл к строгим ограничениям или запретам на его использование по всему миру, и его применение постепенно стало проблемой исторического наследия.

Хотя асбест в основном исключен из новых проектов, его исторические данные о затратах и экономические характеристики по-прежнему представляют ценность для сравнительных исследований при оценке реконструкции и обслуживания большого количества существующих зданий и объектов, а также в специфических промышленных сценариях. В то же время полный жизненный цикл затрат на EPS, как одного из современных основных теплоизоляционных материалов, включая сырьё, производство, транспортировку, установку, обслуживание и даже затраты на утилизацию, становится ключевым фактором для принятия проектных решений. Поэтому сравнительное исследование затрат этих двух материалов направлено не на поощрение повторного использования асбеста, а на глубокий анализ экономической структуры теплоизоляционных материалов в соответствии с



различными техническими, нормами безопасности и экологическими стандартами, используя историческую и комплексную перспективу, чтобы выявить эволюцию логики калькуляции затрат, лежащей в основе выбора материалов.

1. Плиты из вспененного пенополистирола (EPS)

Предварительные затраты (К)

Затраты на приобретение: $2000 \text{ м}^2 \times 500 \text{ руб./м}^2 = 1\,000\,000 \text{ руб}$ [1]

Транспортные расходы: 5 юаней/м² (диапазон 3–8 юаней/м²) [1]

Общая стоимость перевозки: $2000 \text{ м}^2 \times 5 \text{ юаней/м}^2 = 10\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 110\,000 \text{ руб}$).

Амортизация упаковки: $2000 \text{ м}^2 \times 0,5 \text{ юаня/м}^2 = 1\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 11\,000 \text{ руб}$).

Погрузочно-разгрузочные работы: $2000 \text{ м}^2 \times 2 \text{ юаня/м}^2 = 4\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 44\,000 \text{ руб}$).

Итого по транспорту и упаковке: $\approx 15\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 165\,000 \text{ руб}$).

Затраты на хранение (6 месяцев)

Водонепроницаемые тенты: $2000 \text{ м}^2 \times 0,5 \text{ юаня/м}^2 \times 6 \text{ мес} = 6\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 66\,000 \text{ руб}$).

Противопожарное оборудование: $2000 \text{ м}^2 \times 1 \text{ юань/м}^2 = 2\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 22\,000 \text{ руб}$) [2]

Поддоны: $2000 \text{ м}^2 \times 0,5 \text{ юаня/м}^2 = 1\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 11\,000 \text{ руб}$).

Естественная убыль (3%): $2000 \text{ м}^2 \times 3\% \times 20 \text{ юаней/м}^2 = 1\,200 \text{ юаней}$ ($\approx 13\,200 \text{ руб}$) [3]

Итого за хранение: 10 200 юаней ($\approx 112\,200 \text{ руб}$).

Затраты на монтаж

Трудозатраты:

Стандартный монтаж: $2000 \text{ м}^2 \times 20 \text{ юаней/м}^2 = 40\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 440\,000 \text{ руб}$) [4].

Сложные конструкции (10% площади): $200 \text{ м}^2 \times 30 \text{ юаней/м}^2 = 6\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 66\,000 \text{ руб}$) [4].

Аренда инструмента: $2000 \text{ м}^2 \times 3 \text{ юаня/м}^2 = 6\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 66\,000 \text{ руб}$) [4]

Материалы:

Клеевой раствор: $2000 \text{ м}^2 \times 5 \text{ кг/м}^2 \times 0,8 \text{ юаня/кг} = 8\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 88\,000 \text{ руб}$) [4]

Крепежные элементы: $2000 \text{ м}^2 \times 5 \text{ шт./м}^2 \times 1,5 \text{ юаня/шт.} = 15\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 165\,000 \text{ руб}$) [4].

Сетка/грунтовка: $2000 \text{ м}^2 \times 3 \text{ юаня/м}^2 = 6\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 66\,000 \text{ руб}$) [4]

Потери:

Естественная убыль (5%): $2000 \text{ м}^2 \times 5\% \times 20 \text{ юаней/м}^2 = 2\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 22\,000 \text{ руб}$) [3].

Итого за монтаж: 83 000 юаней ($\approx 913\,000 \text{ руб}$).

Капиталовложения (К)

$K = 1\,000\,000 + 165\,000 + 112\,200 + 913\,000 = 2\,190\,200 \text{ руб}$.

Регулярное техническое обслуживание (за 20 лет)

Инспекции: $2000 \text{ м}^2 \times 1,5 \text{ юаня/м}^2 \times 10 \text{ раз} = 30\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 330\,000 \text{ руб}$).

Ремонт (ежегодно 1%): $2000 \text{ м}^2 \times 1\% \times 20 \text{ лет} \times 10 \text{ юаней/м}^2 = 4\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 44\,000 \text{ руб}$).

Специальная обработка:

Огнезащитная обработка: $2000 \text{ м}^2 \times 6 \text{ юаней/м}^2 = 12\,000 \text{ юаней}$ ($\approx 132\,000 \text{ руб}$).

Гидрофобизация (20% площади): $400 \text{ м}^2 \times 12 \text{ юаней/м}^2 = 4\,800 \text{ юаней}$ ($\approx 52\,800 \text{ руб}$).

Итого за обслуживание: 50 800 юаней ($\approx 558\,800 \text{ руб}$).

Эксплуатационные затраты (Отопление)

Маньчжурская ТЭЦ: использует низкокалорийный уголь (бурый уголь) Залаинурского угольного бассейна

Система отопления: Электрическая система отопления (КПД $\eta = 76,3\%$)

Общее потребление тепла за отопительный сезон: $E = 2,494 \times 10^8 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$

Теплотворная способность угля: 16,5 МДж/кг или 4,59 кВт·ч/кг [5]

Годовое потребление: $2,494 \times 10^8 / (4,59 \times 0,763) = 71213 \text{ кг} = 71,21 \text{ тонны}$

Цена угля: 8800 руб/тонна [6]

Годовые затраты на отопление: $72 \times 8800 = 633\,600 \text{ руб/год}$



Расчет приведенных затрат ($Z_{пр}$) для EPS

Ежегодные затраты (N): $N = 633\ 600 + (558\ 800 / 20) = 661\ 540$ руб/год

Приведенные затраты: $Z_{пр} = N + E_n \times K = 661\ 540 + (0.12 \times 2\ 190\ 200) = 924\ 364$ руб/год

2. Плиты из каменной ваты

Предварительные затраты (K)

Затраты на приобретение: $2000\ м^2 \times 1100\ руб./м^2 = 2\ 200\ 000$ руб [7].

Транспортные расходы: $200\ м^3 \times 6\ юаней/м^3 = 12\ 000$ юаней ($\approx 132\ 000$ руб) [8].

Погрузочно-разгрузочные работы: $2000\ м^2 \times 3\ юаня/м^2 = 6\ 000$ юаней ($\approx 66\ 000$ руб) [8].

Упаковка: $2000\ м^2 \times 1\ юань/м^2 = 2\ 000$ юаней ($\approx 22\ 000$ руб).

Итого по транспорту и упаковке: $20\ 000$ юаней ($\approx 220\ 000$ руб).

Затраты на хранение

Аренда склада: $2000\ м^3 \times 10\ юаней/м^3 = 2\ 000$ юаней ($\approx 22\ 000$ руб).

Противопожарные меры: 500 юаней ($\approx 5\ 500$ руб).

Потери/деформация ($\leq 1\%$): $2000\ м^2 \times 1\% \times 60\ юаней/м^2 = 1\ 200$ юаней ($\approx 13\ 200$ руб).

Итого за хранение: $3\ 700$ юаней ($\approx 40\ 700$ руб).

Затраты на монтаж

Трудозатраты:

Подготовка основания: $3\ юаня/м^2 \times 2000\ м^2 = 6\ 000$ юаней ($\approx 66\ 000$ руб) [9].

Укладка и крепление:

Основной объем: $25\ юаней/м^2 \times 2000\ м^2 = 50\ 000$ юаней ($\approx 550\ 000$ руб).

Сложные участки (5% площади): $100\ м^2 \times 30\ юаней/м^2 = 3\ 000$ юаней ($\approx 33\ 000$ руб).

Материалы:

Плиты: $200\ м^3 \times 600\ юаней/м^3 = 120\ 000$ юаней ($\approx 1\ 320\ 000$ руб) [4]

Клеевой раствор: $2000\ м^2 \times 5\ кг/м^2 \times 1,2\ юаня/кг = 12\ 000$ юаней ($\approx 132\ 000$ руб) [4]

Крепежные элементы: $2000\ м^2 \times 6\ шт./м^2 \times 1,5\ юаня/шт. = 18\ 000$ юаней ($\approx 198\ 000$ руб) [4].

Сетка/грунтовка: $2000\ м^2 \times 4\ юаня/м^2 = 8\ 000$ юаней ($\approx 88\ 000$ руб) [4]

Механизмы и потери:

Аренда инструмента: $3\ 000$ юаней ($\approx 33\ 000$ руб).

Потери (5%): $2000\ м^2 \times 5\% \times 60\ юаней/м^2 = 6\ 000$ юаней ($\approx 66\ 000$ руб).

Итого за монтаж: $226\ 000$ юаней ($\approx 2\ 486\ 000$ руб).

Капиталовложения (K)

$K = 2\ 200\ 000 + 220\ 000 + 40\ 700 + 2\ 486\ 000 = 4\ 946\ 700$ руб.

Регулярное техническое обслуживание (за 20 лет)

Инспекции: $2000\ м^2 \times 2\ юаня/м^2 \times 7\ раз = 28\ 000$ юаней ($\approx 308\ 000$ руб).

Ремонт: $2000\ м^2 \times 1\% \times 20\ лет \times 15\ юаней/м^2 = 6\ 000$ юаней ($\approx 66\ 000$ руб).

Специальные работы:

Огнезащитная обработка (2 раза): $2000\ м^2 \times 8\ юаней/м^2 \times 2 = 32\ 000$ юаней ($\approx 352\ 000$ руб)

Гидрофобизация (10% площади): $200\ м^2 \times 10\ юаней/м^2 = 2\ 000$ юаней ($\approx 22\ 000$ руб)

Итого за обслуживание: $68\ 000$ юаней ($\approx 748\ 000$ руб)

Эксплуатационные затраты (Отопление)

Маньчжурская ТЭЦ: использует низкокалорийный уголь (бурый уголь) Залаинурского угольного бассейна

Система отопления: Электрическая система отопления (КПД $\eta = 76.3\%$)

Общее потребление тепла за отопительный сезон: $E = 2.609 \times 10^8$ Вт·ч

Теплотворная способность угля: $16,5$ МДж/кг или $4,59$ кВт·ч/кг [5].

Годовое потребление: $2.609 \times 10^8 \div (4.59 \times 0.763) = 74497$ кг = 75 т

Годовое потребление угля: 75 тонн

Цена угля: 8800 руб/тонна [6].



Годовые затраты на отопление: $75 \times 8800 = 660\,000$ руб/год

Расчет приведенных затрат ($Z_{пр}$) для каменной ваты

Ежегодные затраты (N): $N = 660\,000 + (748\,000 / 20) = 697\,400$ руб./год

Приведенные затраты: $Z_{пр} = N + E_n \times K = 697\,400 + (0.12 \times 4\,946\,700) = 1\,290\,944$ руб/год

Итог: Согласно расчетам, годовые приведенные затраты для системы утепления из пенополистирола (EPS) составляют 924 364 руб, в то время как для системы утепления из каменной ваты 1 290 944 руб.

Обзор

В данном исследовании проводится систематический количественный сравнительный анализ полных жизненных затрат на применение пенополистирольных плит (EPS) и каменной ваты в качестве теплоизоляции в строительстве. Путем построения комплексной стоимостной модели, охватывающей закупку материалов, транспортировку, хранение, монтаж, долгосрочное обслуживание и эксплуатационные энергозатраты, и с использованием метода приведенных годовых затрат для экономической оценки, получены следующие результаты: в течение жизненного цикла 20 лет и при одинаковой площади утепления (2000 м²) первоначальные инвестиционные затраты на EPS (примерно 2,19 млн рублей) значительно ниже, чем на каменную вату (примерно 4,95 млн рублей), а общие приведенные годовые затраты на EPS (примерно 924,4 тыс. рублей/год) также демонстрируют явное экономическое преимущество по сравнению с каменной ватой (примерно 1,29 млн рублей/год). Данное различие в первую очередь обусловлено разницей в удельной стоимости материалов, сложности монтажа и требований к техническому обслуживанию.

Хотя каменная вата обладает определенными преимуществами в таких характеристиках, как огнестойкость и долговечность, ее более высокая стоимость материалов и монтажа напрямую влияет на экономическую целесообразность проекта. Исследование также показывает, что разница в затратах на отопление из-за близких теплоизоляционных свойств незначительна, что дополнительно подчеркивает ключевую роль первоначальных инвестиций и затрат на обслуживание при принятии долгосрочных экономических решений.

Ценность данного исследования заключается в предоставлении детализированной разбивки затрат и динамических расчетов, которые предлагают аналитическую основу, основанную на полных жизненных затратах, для выбора теплоизоляционных материалов в строительстве. Результаты четко показывают, что в текущих условиях EPS демонстрирует лучшую экономическую эффективность. Тем не менее, выбор материала по-прежнему требует комплексного учета неэкономических факторов, таких как пожарная безопасность, экологичность и долговечность, особенно в проектах, связанных с особыми требованиями безопасности или устойчивого развития. Этот анализ не только способствует оптимизации контроля затрат в новых проектах, но и предоставляет эмпирический ориентир для решений по замене материалов при энергетической модернизации существующих зданий.

Список литературы:

1. Цицзя: [сайт]. – URL: <https://m.jia.com/zixun/article/1138919.html> (дата обращения: 09.11.2025).
2. Противопожарное проектирование и стандарты конфигурации оборудования для складов [Электронный ресурс] // Соху. – 2023. – 16 августа. – URL: https://m.sohu.com/a/712172568_121684398/?pvid=000115_3w_a (дата обращения: 09.11.2025).
3. Справочная таблица норм расхода и потерь строительных и отделочных материалов: [сайт]. URL: https://www.sjms.info/index.php/default/content/22855.html?use_xbridge3=true&loader_name=forest&need_sec_1ink=1&sec_link_scene=im&theme=light (дата обращения: 09.11.2025).



4. Строительство и управление проектами: [канал в WeChat] – URL: https://mp.weixin.qq.com/s?__biz=MzAxMjkwODA1Mw==&mid=2247486410&idx=1&sn=b09c6528ed5b4614143886ee67279e10&chksm=9a2e6f33593f80a3a6271ac43726d3139bd813f3c9f07ed1c380c436b5f24635d02da8d27afd&app_lang=zh-CN#rd (дата обращения: 09.11.2025).

5. Синьлан Кэцзи: [сайт]. – URL: https://feeds-drcn.cloud.huawei.com.cn/landingpage/latest?docid=10510535f6d6ecceb733a8d8373765ad79a6257&to_app=hwweather&dy_scenario=recomm&tn=e32e7b9d4cd431cd593d015cda63c9edee69aae910723eb3af8a1684fb8a0879&ctype=news&share_to=system (дата обращения: 09.11.2025).

6. Российская информационная сеть по углю: [сайт]. – URL: http://www.ru-chinacoal.com/guwx_details/264.html?use_xbridge3=true&loader_name=forest&need_sec_link=1&sec_link_scene=im&theme=light (дата обращения: 09.11.2025).

7. Цицзя: [сайт]. – URL: <https://m.jia.com/zixun/article/1154147.html> (дата обращения: 09.11.2025).

8. Цицзя: [сайт]. – URL: <https://m.jia.com/zixun/article/1147451.html> (дата обращения: 09.11.2025).

9. Цицзя: [сайт]. – URL: <https://m.jia.com/zixun/article/1127615.html> (дата обращения: 09.11.2025).

