

УДК 691.618.93

ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕНОСТЕКЛЬНОГО ЩЕБНЯ

Е.С. Малуха, Д.И. Сафончик

Гродненский государственный университет имени Янки Купалы,

г. Гродно, Республика Беларусь

e-mail: len4uk1991@yandex.ru, d.safonchik@mail.ru

В статье приведены некоторые сведения о целесообразности использования пеностекляного щебня, который в настоящее время не производится в Республике Беларусь. Выполнен сравнительный анализ возможных вариантов применения пеностекляного щебня при проектировании различных конструкций. На основе выполненных расчетов доказана экономическая целесообразность применения пеностекляного щебня в качестве теплоизоляционного материала.

Ключевые слова: пеностекляный щебень, энергоэффективность, пенополистирол, пеноплекс, керамзитовый гравий.

LIGHTWEIGHT ASSESSMENT OF THE FEASIBILITY OF USING FOAM GLASS RUBBLE

A. Malukha, D. Safonchik

Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus

e-mail: len4uk1991@yandex.ru, d.safonchik@mail.ru

The article provides some information on the feasibility of using foam glass rubble, which is currently not produced in the Republic of Belarus. A comparative analysis of possible options for using foam glass rubble in the design of various structures is performed. Based on the calculations performed, the economic feasibility of using foam glass rubble as a heat-insulating material is proven.

Keywords: foam glass rubble, energy efficiency, expanded polystyrene, styrofoam, expanded clay gravel.

Введение. В настоящее время одной из стратегических задач для Республики Беларусь является задача по повышению энергоэффективности зданий и сооружений [1], которую невозможно решить без применения эффективных теплоизоляционных материалов. Традиционно в нашей стране для утепления ограждающих конструкций применяют пенополистирол, пеноплекс и минеральную вату, которые обладают хорошими теплоизоляционными характеристиками, но и имеют ряд недостатков: невысокая долговечность, экологическая небезопасность, относительно низкая прочность. Указанных недостатков лишен пеностекляный материал, но он не выпускается предприятиями нашей страны. Это связано с тем, что стоимость изготовления пеностекла высока и материал малоизвестен в Беларуси.

Для оценки стоимости применения пеностекла, а точнее пеностекляного щебня, выполнен расчет применения теплоизоляционного материала в различных конструкциях.

Пеностекляный щебень – это универсальный теплоизоляционный материал засыпного типа, который представляет собой вспененную стекломассу, разделенную на куски (щебень) размером 30-60 мм и плотностью: 150-175 кг/м³ [2].

Экспериментальная часть. Для сравнительного анализа целесообразности применения пеностекляного щебня в строительных конструкциях использована сметная программа «RSTC.smeta» на основании НПП-2022 [3], расчеты выполнены в ценах на 01.04.2024 г.

Исходя из ряда литературных источников установлено, что пеностекольный щебень может быть использован при утеплении малоуклонных крыш, для повышения долговечности автомобильных дорог, при создании утепленных отмосток, для утепления полов, устраиваемых по грунту и в ряде других случаев. Проанализировав проектные решения, часто применяемые в Беларуси при проектировании утепленных конструкций, выполнена попытка установления целесообразности замены традиционных теплоизоляционных материалов на пеностекольный щебень, основные характеристики которого представлены Белорусской стекольной компанией (сопротивление теплопередаче пеностекольного щебня $0,081 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, плотность $130\text{-}170 \text{ кг}/\text{м}^3$).

Результаты выполненных расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Сводная ведомость вариантов применения пеностекольного щебня

| Наименование работ, расходов | Стоимость, тыс. бел. руб. | | | | Общая стоимость, тыс. бел. руб. |
|---|---------------------------|---|---------------------------------|------------------|---------------------------------|
| | Заработная плата | Эксплуатация машин и механизмов | Материалы, изделия, конструкции | ОХР и ОПР | |
| | | В том числе заработная плата машинистов | Транспорт | Плановая прибыль | Трудоемкость, человеко-час |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Малоуклонные крыши (площадь 100 м^2) | | | | | |
| Вариант №1 (теплоизоляционный слой – 100 мм пенополистирола; уклонообразующий слой – керамзитовый гравий) | 1,259 | 0,193 0,097 | 7,996 0,553 | 0,891 0,947 | 11,839 120 |
| Вариант №2 (теплоизоляционный слой – 215 мм пеностекольного щебня) | 1,737 | 0,662 0,28 | 7,111 0,491 | 1,326 1,41 | 12,737 180 |
| Вариант №3 (теплоизоляционный и уклонообразующий материал – 250 мм пеностекольного щебня) | 1,688 | 0,629 0,267 | 6,923 0,478 | 1,285 1,367 | 12,370 175 |
| Автомобильные дороги (100 м^2) | | | | | |
| Вариант №1 (теплоизоляционный слой – 60 мм пеноплекса) | 1,064 | 1,212 0,448 | 14,567 3,03 | 0,994 1,057 | 21,924 126 |
| Вариант №2 (замена 60 мм пеноплекса на 160 мм пеностекольного щебня) | 0,799 | 1,433 0,519 | 14,356 3,121 | 0,866 0,921 | 21,496 107 |
| Вариант №3 (50 мм пеноплекса и 25 мм пеностекольного щебня) | 1,112 | 1,269 0,467 | 14,519 3,203 | 1,037 1,103 | 22,243 132 |
| Утепленная отмостка (100 м^2) | | | | | |
| Вариант №1 (по цоколю пеноплекс 100 мм, по грунту пеноплекс 50 мм) | 1,608 | 0,247 0,104 | 3,204 2,004 | 1,125 1,197 | 9,385 157 |
| Вариант №2 (замена 50 мм пеноплекса по грунту на 130 мм пеностекольного щебня) | 1,444 | 0,26 0,105 | 3,004 2,084 | 1,018 1,083 | 8,893 145 |
| Вариант №3 (замена 50 мм пеноплекса по грунту на 170 мм пеностекольного щебня) | 1,5 | 0,272 0,11 | 3,559 2,169 | 1,058 1,126 | 9,684 150 |
| Утепленные полы по грунту (100 м^2) | | | | | |
| Вариант №1 (50 мм пеноплекса) | 1,804 | 0,232 0,102 | 3,287 0,862 | 1,252 1,332 | 8,769 173 |

Окончание таблицы 1.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|--|-------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| Вариант №2 (130 мм пено-стекляного щебня) | 2,012 | 0,397 0,166 | 3,087 0,942 | 1,431 1,522 | 9,391 200 |
| Вариант №3 (170 мм пено-стекляного щебня) | 2,208 | 0,365 0,182 | 3,57 1,023 | 1,571 1,671 | 10,408 217 |
| Вариант №4 (пеноплекс 20 мм и пеностекляный ще-бень 100 мм) | 2,223 | 0,376 0,162 | 2,471 0,905 | 1,567 1,667 | 9,209 217 |
| Плитный утепленный фундамент (100 м ²) | | | | | |
| Вариант №1 (экструдирован-ный пенополистирол 200 мм) | 1,639 | 0,378 0,137 | 9,312 1,966 | 1,167 1,242 | 15,704 157 |
| Вариант №2 (пеностекля-ный щебень 510 мм) | 1,636 | 0,467 0,167 | 8,341 2,262 | 1,185 1,26 | 15,151 166 |
| Вариант №3 (экстудиро-ванный пенополистирол 100 мм и пеностекляный ще-бень 250 мм) | 1,631 | 0,421 0,152 | 8,79 2,105 | 1,171 1,246 | 15,364 160 |

Выполненное сравнение вариантов малоуклонных кровель показало, что прямые затраты меньше всего у варианта №1 (базовый вариант с утеплением 100 мм пенополистиролом ППТ-25на и разуклонкой керамзитовым гравием толщиной 39-70 мм). Вариант №2 (замена 100 мм пенополистирола на 215 мм пеностекляного щебня) дороже на 7,6%, чем вариант №1. Вариант №3 (замена 100 мм пенополистирола и керамзитового гравия разуклонки на 250 мм пеностекляного щебня) дороже на 4,5%, чем вариант №1. Если учитывать, что прогнозируемая долговечность пенополистирола составляет 10-15 лет, а у пеностекляного щебня 100 лет, то можно сделать вывод о том, что варианты №2 и №3 применять целесообразнее. Кроме того, в процессе эксплуатации основные характеристики пеностекляного щебня не изменяются. Прочность на сжатие пеностекляного щебня также выше.

Сравнительный анализ стоимости трёх вариантов конструкций автомобильных дорог показал, что даже по прямым затратам применение пеностекляного щебня выгоднее. При этом вариант №2 дешевле варианта №1 примерно на 2 %. Вариант №3 дороже варианта №1 на 1,5 %. То есть стоимость всех трёх вариантов практически одинакова. При этом долговечность пеностекляного щебня примерно в 2 раза больше долговечности пеноплекса, а значит стоимость варианта №2 с учётом жизненного цикла значительно ниже стоимости варианта №1.

Доказана экономическая целесообразность применения пеностекляного щебня в конструкции утепленной отмостки. Об этом свидетельствует то, что вариант №2 дешевле варианта №1 на 5,2 %. Попытка применить достаточно распространённый в Республике Беларусь керамзитовый гравий (вариант №3) вместо пеноплекса привела к удорожанию стоимости утепленной отмостки на 8,9 %.

В конструкции утепленных полов наименьшие стоимость и трудоёмкость соответствуют варианту №1, где применен пеноплекс. Вариант №2 (вместо пеноплекса пеностекляный щебень) дороже приблизительно на 7%. Вариант №4 (частично пеноплекс, частично пеностекляный щебень) – дороже варианта №1 на 5%. Вариант №3 (замена пеноплекса керамзитовым гравием) является самым дорогим. Этот вариант дороже варианта №1 на 18,7%. Можно сделать вывод о целесообразности применения пеностекляного щебня вместо пеноплекса в конструкции утепленных полов, выполненных по грунту, так как прямые затраты больше всего на 7%, а долговечность пеностекляного щебня примерно в 2 раза больше долговечности пеноплекса.

Использование пеностекляного щебня в конструкции монолитного плитного утепленного фундамента (вариант №2) позволяет сократить стоимость в сравнении с вариантом, где

использован экструдированный пенополистирол (вариант №1) на 3,5%. Частичная замена экструдированного пенополистирола на пеностекольный щебень (вариант №3) позволит снизить стоимость на 2,17%. При этом пеностекольный щебень гораздо долговечнее экструдированного пенополистирола и длительное время не изменяет свои теплотехнические характеристики.

По результатам выполненной работы составлена сводная таблица (таблица 2).

Таблица 2. – Сводная ведомость результатов

| № варианта | Вид утеплителя | Толщина утеплителя, мм | Теплопроводность, Вт/(м·К) [4] | Срок службы, лет [5] | Разница по стоимости в сравнении с вариантом №1, % | Отметка о целесообразности замены |
|---|--|------------------------|--------------------------------|----------------------|--|-----------------------------------|
| Совмещенная малоуклонная (плоская) кровля | | | | | | |
| 1 | пенополистирол | 100 | 0,034-0,038 | 10-15 | 0 | |
| | керамзит уклонообразующий | 55 | 0,08-0,14 | 90 | | |
| 2 | пеностекольный щебень | 215 | 0,081 | 100 | +7 | + |
| | керамзит уклонообразующий | 55 | 0,08-0,14 | 90 | | |
| 3 | пеностекольный щебень | 250 | 0,081 | 100 | +4,5 | + |
| Автомобильная дорога на пучинистых грунтах | | | | | | |
| 1 | экструдированный пенополистирол | 60 | 0,033-0,035 | 50 | 0 | |
| 2 | пеностекольный щебень | 160 | 0,081 | 100 | -1,5 | + |
| 3 | экструдированный пенополистирол | 50 | 0,033-0,035 | 50 | +1,5 | - |
| | пеностекольный щебень | 25 | 0,081 | 100 | | |
| Утепленная отмостка | | | | | | |
| 1 | вертикальный – экструдированный пенополистирол | 100 | 0,033-0,035 | 50 | 0 | |
| | горизонтальный – экструдированный пенополистирол | 50 | 0,033-0,035 | 50 | | |
| 2 | вертикальный – экструдированный пенополистирол | 100 | 0,033-0,035 | 50 | -5,2 | + |
| | горизонтальный – пеностекольный щебень | 130 | 0,081 | 100 | | |
| 3 | вертикальный – экструдированный пенополистирол | 100 | 0,033-0,035 | 50 | +8,9 | - |
| | горизонтальный – керамзитовый гравий | 170 | 0,08-0,14 | 90 | | |
| Утепленные полы по грунту | | | | | | |
| 1 | экструдированный пенополистирол | 50 | 0,033-0,035 | 50 | 0 | |
| 2 | пеностекольный щебень | 130 | 0,081 | 100 | +7 | + |
| 3 | керамзитовый гравий | 170 | 0,08-0,14 | 90 | +18,7 | - |
| 4 | экструдированный пенополистирол | 20 | 0,033-0,035 | 50 | +5 | + |
| | пеностекольный щебень | 100 | 0,081 | 100 | | |
| Утепленная монолитная фундаментная плита | | | | | | |
| 1 | экструдированный пенополистирол | 200 | 0,033-0,035 | 50 | 0 | |
| 2 | пеностекольный щебень | 510 | 0,081 | 100 | -3,5 | + |
| 3 | экструдированный пенополистирол | 100 | 0,033-0,035 | 50 | -2,2 | + |
| | пеностекольный щебень | 250 | 0,081 | 100 | | |

Заключение. В результате выполненной работы можно сделать вывод о том, что пеностекольный щебень с теплопроводностью 0,081 Вт/(м·К) и плотностью 130-170 кг/м³. становится прямым конкурентом для керамзитового гравия и в ряде случаев оказывается не дороже, чем применение пенополистирола и его разновидностей. При этом в РБ есть достаточная

сырьевая база в виде стеклобоя, который по ряду причин в настоящее время не используется в технологических производствах [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100103>. – Дата доступа: 24.09.2024.
2. Пеностекольный щебень [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://g-b-t.ru/product/penostekolnyy-scheben-penosteklo>. – Дата доступа: 23.09.2024.
3. Нормы расхода ресурсов в натуральном выражении на строительные конструкции и работы: НРР 8.01.104-2022: утв. М-вом архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь 14.02.22: введ. 01.05.22. – Минск: Минстройархитектуры, 2022. – 188 с.
4. Строительная теплотехника. Строительные правила: СП 2.04.01-2020 – Введ. 20.01.2021 – Минск: Министерство архитектуры и строительства, 2021. – 72 с.
5. Срок службы теплоизоляционных материалов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.plast.by/novosti/srok-sluzhbyi-teploizolyaczionnyix-materialov.html#part6>. – Дата доступа: 15.09.2024.
6. ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов» [Электронный ресурс]– Режим доступа: <https://vtoperator.by/collection-system/>. - Дата доступа: 19.09.2024.