

ГЕОЭКОЛОГИЯ

GEOECOLOGY

УДК 666.198

И. М. Терещенко, И. В. Войтов

Белорусский государственный технологический университет

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ НА ОСНОВЕ ОТСЕВОВ ДРОБЛЕНИЯ ГРАНИТОИДНЫХ ПОРОД РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В ходе исследований, проводимых на кафедре технологии стекла, керамики и вяжущих материалов БГТУ, разработан инновационный технологический процесс производства теплоизоляционных плит на основе дисперсных фракций отсевов дробления гранитоидных пород РУПП «Гранит». Обобщен опыт работы белорусских предприятий – производителей штапельного волокна. Определены характерные проблемы, которые следует решать: необходимость возврата отходов в производственный цикл; снижение объемов выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду; снижение потерь связующего на основе фенолформальдегидных смол. Проработаны и приняты основные решения, обеспечивающие инновационность предлагаемой технологии производства теплоизоляционных плит: в качестве основного сырья используется фракция менее 0,63 мм отсевов дробления гранитоидных пород РУПП «Гранит»; в целях достижения требуемых характеристик расплава в шихту вводятся плавни (доломит и доменный шлак); осуществляется полный возврат всех видов твердых отходов в производство; организуется замкнутый цикл водопотребления; для получения расплавов используется электрическая плавильная печь (КПД > 70%); процессы формирования волокна и введение в него связующего разделены во времени и пространстве; для сушки ковra применяется высокочастотное электрическое поле (РЧ-туннель). Данные решения позволяют исключить выбросы в окружающую среду, резко сократить потери связующего, а также снизить расход энергии.

Ключевые слова: гранитоиды, отсева дробления, плавление шихты, штапельное волокно, формирование ковra, сушка, резка.

Для цитирования: Терещенко И. М., Войтов И. В. Особенности организации производства теплозвукоизоляционных плит на основе отсевов дробления гранитоидных пород Республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2025. № 2 (295). С. 163–168.
DOI: 10.52065/2520-2669-2025-295-20.

I. M. Tereshchenko, I. V. Voitau

Belarusian State Technological University

FEATURES OF THE ORGANIZATION OF PRODUCTION OF HEAT AND SOUND INSULATION BOARDS BASED ON CRUSHED GRANITOID ROCKS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

During the work carried out at the Department of Glass, Ceramics and Binding Materials Technology of BSTU, an innovative technological process for the production of heat-insulating boards based on dispersed fractions of granitoid crusher screenings of RUPE Granit has been developed. The experience enterprises of the Republic of Belarus – producers of staple fiber has been summarized. The typical problems that need to be solved have been identified: the need to return waste to the production cycle; reduction of emissions into the environment; reduction of losses of binder based on phenol-formaldehyde resins. The main decisions have been developed and adopted to ensure the innovativeness of the proposed technology for the production of heat-insulating boards: the fraction <0.63 mm of crushed granitoid rock screenings of RUPE Granit is used as the main raw material; in order to ensure the required characteristics of the melt, fluxes are introduced into the batch: dolomite and blast furnace slag; a complete return of all types of solid waste to production is carried out; a closed cycle of water consumption is organized; an electric melting furnace (efficiency > 70%, low emissions) is used to obtain melts; the processes

of fiber formation and the introduction of a binder into it are separated in time and space, which reduces the volume of emissions into the environment and the consumption of a binder; a high-frequency electric field is used to dry the carpet, which eliminates emissions into the environment and reduces binder losses.

Keywords: granitoids, crushing screenings, charge melting, staple fiber, carpet formation, drying, cutting.

For citation: Tereshchenko I. M., Voïtau I. V. Features of the organization of production of heat and sound insulation boards based on crushed granitoid rocks of the Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geocology*, 2025, no. 2 (295), pp. 163–168 (In Russian).

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-295-20.

Введение. Сокращение мировых запасов невозобновляемых источников энергии, рост их стоимости привели к необходимости решения проблемы энергосбережения при строительстве зданий, конструкций и тепловых сетей.

Одним из основных путей ее решения является использование эффективных теплоизоляционных материалов (ТИМ), позволяющих существенно снизить массу сооружений при возведении, а также сократить потребление энергии в ходе их эксплуатации.

Особый интерес для строительства представляют ТИМ на основе горных пород, как правило базальтов, обладающих рядом преимуществ перед аналогами. В ассортименте растет производство эффективных базальтовых изделий: плит на синтетическом связующем повышенной жесткости, с вертикальной ориентацией волокон и др.

Основная часть. Объем потребляемых в Республике Беларусь минераловатных изделий на основе базальтовых пород составляет до 85 000 т/год, т. е. 2/3 от общего объема потребления ТИМ. В то же время объем ввозимых в страну ТИМ – около 60 000 т/год. Основным поставщиком изделий из каменной ваты на белорусский рынок выступает Россия (до 75%) в лице корпорации «Технониколь».

По статистическим данным 2021 г., на одного жителя Республики Беларуси приходилось 8,9 кг каменной (базальтовой) ваты, аналогичный показатель для Польши – 13,7 кг, России – 15,6 кг, Чехии – 21,1 кг. Таким образом, в Республике Беларусь отмечено отставание по объемам потребления минераловатной продукции в сравнении с соседями.

Основным производителем теплоизоляционных плит в стране является ОАО «Гомельстройматериалы», которое в то же время выступает и как крупный экспортер своей продукции с объемом экспортной квоты до 25 тыс. т/год.

Ключевыми потребителями минеральной каменной ваты в региональном разрезе являются Минск и Минская область, они же потребляют до 90% объема импорта, будучи наиболее развитыми в экономическом плане, в том числе по объемам жилищного и промышленного строительства. Отсюда актуализируется вопрос созда-

ния дополнительных мощностей отечественного производства дешевого и производимого в достаточных объемах минерального теплоизоляционного материала на основе горных пород, что позволило бы решить в стране проблему потребительного спроса на данные материалы.

Поскольку разрабатываемых месторождений базальтов в Республике Беларусь не имеется, то сырье для получения минерального волокна импортируется из России.

В то же время в Брестской области находится месторождение гранитоидных пород «Микашевичи», на базе которого функционирует крупнейшее в Европе горнодобывающее предприятие РУПП «Гранит» по переработке гранитоидов (объем выпуска около 15 млн т нерудных строительных материалов в год в виде щебня, щебеночно-песчаных смесей и др.).

Особенность подобных производств заключается в образовании огромного количества отходов: на каждую тонну товарного щебня приходится до 0,6 т отходов, в том числе так называемых отсевов дробления породы (фракции менее 5 мм).

Предпринимаемые попытки вовлечения отсевов в другие отрасли промышленности, например в производство бетонов, сухих строительных смесей, керамических материалов, не приносят желаемых результатов и в целом объем их использования весьма невелик (в Республике Беларусь менее 5,0%, в России – до 20%, остальная часть вывозится в отвалы).

Основные причины сложившейся ситуации следующие:

- отсевы дробления изверженных пород являются продуктом сугубо местного значения, поскольку стоимость их приравнивается к стоимости строительного песка, в то время как транспортные тарифы значительно выше;

- отсевы дробления содержат до 30% высокодисперсных (пылевидных) фракций, которые препятствуют эффективному использованию их более крупных фракций (>1,0 мм).

Особо следует отметить огромный вред, наносимый окружающей среде пылевидными фракциями отсевов, которые являются мощным источником загрязнения почвы и воздушного бассейна в регионе.

Таким образом, необходим поиск новых областей применения отсевов дробления, позволяющих получать на их основе продукцию с высокой прибавочной стоимостью, что обеспечит преодоление отмеченных выше проблем.

Гранитные и близкие к ним породы, в частности гранитоиды, как и базальты, образованы одними и теми же оксидами: SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$, MgO и CaO , Na_2O и K_2O . Принципиальным отличием гранитоидов является наличие в их составе несвязанного кремнезема (кварца) в количестве до 15%. Кварц относится к тугоплавким минералам. В итоге плавление и гомогенизация расплавов такой породы осуществляется при температуре не ниже 1650°C , в то время как существующие технологии ориентированы на температуры не выше 1500°C .

Именно по указанной причине белорусские гранитоиды до недавнего времени не рассматривались в качестве сырья для производства минерального волокна. Исследования, проведенные на кафедре технологии стекла, керамики и вяжущих материалов БГТУ, позволяют изменить отношение к данной породе.

В ходе изучения отсевов дробления гранитоидных пород Микашевичского месторождения установлено, что их дисперсные фракции (менее 0,63 мм) практически не содержат зерен кварца, поскольку, будучи весьма прочными, они в ходе измельчения породы преимущественно остаются в ее грубых фракциях, в то время как дисперсные фракции отсевов обогащаются полевошпатовыми и темноцветными минералами, необходимыми для получения волокна.

Изменения минерального состава измельченной породы отражаются на ее химическом составе, который для дисперсных фракций (0–0,63 мм) становится близким к химическим составам базальтов, пригодных для получения минерального волокна.

Предпринятое изучение свойств расплавов, полученных на основе фракционирования гранитоидной породы, показало, что по своим характеристикам они близки к украинским базальтам, широко используемым в производстве минеральных волокон.

Полученные в лабораторных условиях результаты были подтверждены в ходе промышленных испытаний, проведенных в условиях ОАО «Полоцк-Стекловолокно». Всего осуществлено 4 апробации, в процессе которых и было использовано 22 т отсевов (фракции менее 0,63 мм).

При апробации доказана принципиальная возможность производства волокон на основе гранитоидных пород Республики Беларусь (акты испытаний имеются).

Рассмотрение возможных вариантов использования отсевов дробления для производства минерального волокна показало целесообразность

организации производства штапельного волокна с последующим получением теплоизолирующих материалов в виде плит ввиду следующих обстоятельств:

- высокая производительность оборудования с обеспечением мощности цеха в 40–60 тыс. т/год;
- относительно низкие затраты, связанные с отсутствием необходимости использования платины и ее сплавов.

Технологии же и оборудование для получения непрерывного минерального волокна обеспечивают в лучшем случае объемы производства 2,5–3,0 тыс. т/год при существенно больших затратах (использование платины и ее сплавов).

Технологические аспекты производства ТИМ на основе отсевов дробления гранитоидных пород Республики Беларусь проработаны в БГТУ в ходе выполнения договора ХД 22-408, заключенного с РУПП «Гранит» и выполненного в 2023 г. Основной задачей исследований являлась разработка инновационной технологии производства теплозвукоизоляционных плит на основе дисперсных фракций отсевов дробления гранитоидных пород Республики Беларусь.

Концептуальные решения по организации производства теплозвукоизоляционных плит на основе гранитоидных пород Республики Беларусь. В качестве основного сырья для производства теплоизоляционных плит предложено использовать отсевы дробления гранитоидных пород Микашевичского месторождения вместо традиционного базальтового.

Преимущества применения отсевов дробления горных пород, образующихся при их переработке в строительный щебень в сравнении с базальтом, заключаются в следующем:

- отсутствует необходимость предварительного получения требуемой фракции;
- высокая степень однородности химико-минералогического состава породы, достигаемая в процессе ее многократного измельчения в ходе получения щебня;
- высокая дисперсность (фракция менее 0,63 мм), позволяющая снизить энергозатраты на получение расплава;
- повышенное содержание кремнезема в сравнении с базальтами, что обеспечивает лучшие физико-механические характеристики волокон (эластичность, прочность на разрыв), при содержании основных породообразующих оксидов, близком к таковому у базальтов, пригодных для получения волокон;
- низкая стоимость сырья;
- решение экологических проблем региона.

Разработан оптимальный состав шихты для производства штапельного волокна, включающий, помимо отсевов, плавни (доломит, доменный

шлак), что обеспечивает оптимальные значения вязкости расплава (менее 3,0 Па·с) при температуре не выше 1450°C.

Осуществляется возврат в производство всех видов твердых отходов, возникающих в технологическом процессе, для чего используется линия их подготовки.

Организуется замкнутый цикл водопотребления. Обратная вода проходит очистку от твердых примесей, частично умягчается и деминерализуется (охлаждение центрифуги и печи).

Для получения расплава шихты используется электрическая плавильная печь, достоинства которой заключаются в высокой энергоэффективности (КПД больше 70%), низком уровне выбросов, относительно низких затратах на сооружение и техобслуживание.

В качестве волокноформирующего оборудования применяется валковая центрифуга, обеспечивающая высокий выход качественного волокна (до 95%).

Процессы формования волокна и введения в него связующего разделены во времени и пространстве, что резко снижает объем выбросов в окружающую среду и расход связующего.

Для сушки ковra используется высокочастотное электрическое поле (РЧ-туннель), что позволяет исключить выбросы в окружающую среду и резко сократить потери связующего.

В ходе работы определены основные технологические параметры, подобрано оборудование для всех производственных стадий, проведены технико-экономические расчеты, подтверждающие корректность принятых решений по организации производства теплозвукоизоляционных плит на основе гранитоидов Республики Беларусь:

- общая стоимость необходимых для реализации проекта инвестиционных ресурсов (стоимость проекта) составляет около 29 250 тыс. евро;
- основная статья инвестиционных расходов – приобретение и монтаж оборудования (около 19 200 тыс. евро);
- рентабельность продаж – около 24%;
- сроки окупаемости проекта составляют 6,6 года;
- среднесписочная численность работающих – 86 человек.

Заключение. Принятые проектные решения позволяют:

- 1) резко снизить количество вспомогательного оборудования в сравнении с традиционными решениями в производстве теплозвукоизоляционных плит;
- 2) до восьми раз уменьшить объемы технологических выбросов в окружающую среду;
- 3) на 30% снизить расход дорогостоящих фенолформальдегидных смол;
- 4) на треть снизить потребление электроэнергии и отказаться от использования природного газа в технологическом цикле.

Реализация предлагаемого проекта позволяет решить в стране проблему потребительного спроса на эффективные теплоизоляционные материалы, включая решение задачи, поставленной Президентом Республики Беларусь перед строителями, – задачи по повышению эффективности многоквартирных жилых домов.

Строительство цеха по производству минераловатных плит следует рассматривать как наиболее эффективный способ использования отвального продукта – дисперсной части отходов дробления гранитоидных пород РУПП «Гранит».

Предлагаемый технологический процесс открывает для страны возможность не только стать производителем изделий с высокой прибавочной стоимостью на основе отвального продукта, но и экспортером сырья для получения минеральной ваты, поскольку общее содержание фракций, пригодных для получения волокнистых материалов, близко к цифре 250 000 т/год.

В то же время удаление пылевидных фракций из состава отсеков дробления гранитоидных пород открывает новые перспективы с точки зрения использования их более крупных фракций 0,63–5,0 мм, например, в качестве заполнителя бетонов, отощающих компонентов в керамических технологиях, фильтрующих материалов для водоподготовки и других, поскольку наличие пылевидных фракций препятствует их использованию.

Получение требуемых фракций отсеков может обеспечить РУПП «Гранит», имеющий установки по выделению дисперсных фракций непосредственно в ходе измельчения исходной породы.

Список литературы

1. Джигирис Д. Д., Махова М. Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий. М.: Теплоэнергетик, 2002. 416 с.
2. Вата минеральная. Технические условия: ГОСТ 4640–93. М.: Межгос. науч.-техн. комиссия по стандартизации, техн. нормированию и сертификации в строительстве, 1995. 8 с.
3. Статистика продаж. URL: <http://stat.customs.ru/apex/f?p=201:7:5029468378124850::NO::> (дата обращения: 10.01.2025)
4. Технологический регламент производства теплоизоляционных плит Гомельского КСМ. 2016. 53 с.

5. Горлов Ю. П. Технология теплоизоляционных и акустических материалов и изделий. М.: Высш. шк., 1989. 384 с.
6. Боброва Ю. Л. Теплоизоляционные материалы и конструкции. М.: ИНФРА-М, 2003. 268 с.
7. Тобольский Г. Ф., Бобров Ю. Л. Минераловатные утеплители и их применение в условиях сурового климата. Л.: Стройиздат: Ленинград. отд-ние, 1981. 176 с.
8. Смирнов Ю. В. Исследование теплофизических характеристик теплоизоляционных изделий на основе минеральных волокон // Композит – 2007: материалы докл. Междунар. конф., Саратов, 3–6 июля 2007 г. Саратов, 2007. С. 317–321.
9. Базальтовое супертонкое волокно. Базальтовые волокна и композиционные материалы, Киев, 2005. URL: basaltm.com/bnv/basaltsuper-thin-fibers.html (дата обращения: 15.02.2025).
10. Земцов А. Н. Базальтовая вата как объект минералогического исследования // Информ. бюл. 2000. № 3. С. 4–9.
11. Горяйнов К. Э. Технология теплоизоляционных материалов и изделий. М.: Стройиздат, 1982. 376 с.
12. Прогрессивный способ получения минеральных изоляционных материалов из базальтовых пород / А. А. Тютюнник [и др.] // Промстрой обозрение. 2006. № 5. С. 24.
13. Stone Wool Lines. URL: <https://www.stm-technologies.com/> (date access: 10.02.2025).
14. Берсенев И. С., Матюхина А. В., Матюхин В. И. Снижение материальных и тепловых потерь при производстве минерального расплава // Междунар. конф. огнеупорщиков и металлургов: тез. докл., Москва, 15–16 марта 2007. М., 2007. С. 12.
15. О повышении эффективности многоквартирных жилых домов: Указ Президента Респ. Беларусь, 4 сент. 2019, № 327 // Нац. правовой интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31900327> (дата обращения: 01.02.2025).

References

1. Dzhigiris D. D., Makhova M. F. *Osnovy proizvodstva bazal'tovykh volokon i izdeliy* [Fundamentals of the production of basalt fibers and products]. Moscow, Teploenergetik Publ., 2002, 412 p. (In Russian).
2. GOST 4640–93. Mineral wool. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 1995. 8 p. (In Russian).
3. Sales statistics. Available at: <http://stat.customs.ru/apex/f?p=201:7:5029468378124850::NO:::> (accessed 10.01.2025) (In Russian).
4. Technological regulations for the production of thermal insulation boards by Gomel KSM, 2016. 53 p. (In Russian).
5. Gorlov Yu. P. *Tekhnologiya teploizolyatsionnykh i akusticheskikh materialov i izdeliy* [Technology of thermal insulation and acoustic materials and products]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1989. 384 p. (In Russian).
6. Bobrova Yu. L. *Teploizolyatsionnyye materialy i konstruktсии* [Thermal insulation materials and structures]. Moscow, INFRA-M Publ., 2003. 268 p. (In Russian).
7. Tobol'skiy G. F., Bobrov Yu. L. *Mineralovatnyye utepliteli i ikh primeneniye v usloviyakh surovogo klimata* [Mineral wool insulation and its application in harsh climate conditions]. Leningrad, Stroyizdat Publ., Leningradskoye otdeleniye Publ., 1981. 176 p. (In Russian).
8. Smirnov Yu. V. Study of thermal and physical characteristics of thermal insulation products based on mineral fibers. *Kompozit – 2007: materialy dokladov Mezhdunarodnoy konferentsii* [Composite – 2007: materials of the reports of the International conference]. Saratov, 2007, pp. 317–321 (In Russian).
9. Basalt superfine fiber. Basalt fibers and composite materials. Available at: basaltm.com/bnv/basaltsuper-thin-fibers.html (accessed 15.02.2025) (In Russian).
10. Zemcov A. N. Basalt wool as an object of mineralogical research. *Informatsionnyy byulleten'* [Newsletter], 2000, no. 3, pp. 4–9 (In Russian).
11. Goryajnov K. E. *Tekhnologiya teploizolyatsionnykh materialov i izdeliy* [Technology of thermal insulation materials and products]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1982. 376 p. (In Russian).
12. Tyutyunnik A. A. Progressive method of obtaining mineral insulating materials from basalt rocks. *Promyshlenno-stroitel'noye obozreniye* [Industrial and Construction Review], 2006, no. 5, pp. 40 (In Russian).
13. Stone Wool Lines. Available at: <https://www.stm-technologies.com/> (accessed 10.02.2025).
14. Bersenev I. S., Matyuhina A. V., Matyuhin V. I. Reduction of material and heat losses in the production of mineral melt. *Mezhdunarodnaya konferentsiya ogneuporshchikov i metallurgov: tezisy dokladov* [International conference of refractory and metallurgists: abstracts of papers]. Moscow, 2007. P. 12 (In Russian).
15. On improving the efficiency of multi-apartment residential buildings: the Decree of the President of the Republic of Belarus, 04.09.2019, no. 327. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31900327> (accessed 01.02.2025) (In Russian).

Информация об авторах

Терещенко Игорь Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии стекла, керамики и вяжущих материалов. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: keramika@belstu.by

Войтов Игорь Витальевич – доктор технических наук, профессор, ректор. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: rector@belstu.by

Information about the authors

Tereshchenko Igor Mikhaylovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Glass, Ceramics and Binding Materials Technology. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: keramika@belstu.by

Voitau Ihar Vital'evich – DSc (Engineering), Professor, Rector. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rector@belstu.by

Поступила 04.07.2025