

УДК 338.45:69

## О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В АРКТИКЕ

<sup>1</sup>Самарина В.П., <sup>2</sup>Дмитрик Е.Е.

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр РАН»,  
Институт экономических проблем, Апатиты, e-mail: samarina\_vp@mail.ru;

<sup>2</sup>Старооскольский технологический институт (филиал)  
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»,  
Старый Оскол, e-mail: dmitria01@inbox.ru

В статье выявлены объективные и субъективные причины, вызывающие сложности при осуществлении строительных работ, сопровождающих выполнение крупномасштабных проектов освоения Арктической зоны Российской Федерации. Представлены требования, предъявляемые к строительным теплоизоляционным материалам, применяемым в градостроении северных населенных пунктов и при поведении объектов крупномасштабных инфраструктурных проектов в условиях арктического климата. Показаны результаты авторского исследования по разработке технологии изготовления инновационного теплоизоляционного материала на основе пылевидных отходов стекольного и электрометаллургического производства. Проведено сравнение характеристик предлагаемого инновационного материала и пенополистирола – утеплителя, наиболее часто используемого при строительстве в Арктической зоне Российской Федерации. Показано, что разработанный инновационный теплоизоляционный материал на основе пылевидных отходов стекольного и электрометаллургического производства имеет лучшие технико-эксплуатационные характеристики, чем пенополистирол; технология его изготовления проста и не требует дорогостоящего сырья, сложного оборудования и специальных знаний персонала. Положительным фактором также является переработка отходов электрометаллургической и стекольной промышленности. Это позволяет предположить, что инновационный строительный материал может найти применение в градостроительстве, а также при возведении объектов крупномасштабных инфраструктурных проектов освоения Арктики.

**Ключевые слова:** инновационные строительные материалы, теплоизоляционные материалы, низкие температуры, Арктика

## ON THE POSSIBILITIES OF USING INNOVATIVE BUILDING MATERIALS IN THE ARCTIC

<sup>1</sup>Samarina V.P., <sup>2</sup>Dmitrik E.E.

<sup>1</sup>Federal Research Centre Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences,  
Institute of Economic Problems, Apatity, e-mail: samarina\_vp@mail.ru;

<sup>2</sup>Stary Oskol Technological Institute – a branch of National Research Technological University “MISIS”,  
Stary Oskol, e-mail: dmitria01@inbox.ru

The article identifies objective and subjective reasons that cause difficulties in the implementation of construction work accompanying the implementation of large-scale projects for the development of the Arctic. The requirements for building thermal insulation materials in the Arctic climate are presented. The results of the author's research on the development of technology for the manufacture of innovative thermal insulation material based on dusty waste of glass and electrometallurgical production are shown. A comparison of the characteristics of the proposed innovative material and expanded polystyrene, the insulation most often used in construction in the Arctic, is carried out. It is shown that the developed innovative thermal insulation material based on dusty waste of glass and electrometallurgical production of the material has the best technical and operational characteristics; the technology of its manufacture is simple and does not require expensive raw materials, complex equipment and special knowledge. A positive factor is also the processing of waste from the electrometallurgical and glass industries. This suggests that the innovative building material can be used in urban planning, as well as in the construction of large-scale infrastructure projects for the development of the Arctic.

**Keywords:** innovative building materials, thermal insulation materials, low temperatures, Arctic

Арктика в последние годы привлекает усиленное внимание как бизнес-структур, так и органов государственной власти. На совещании по вопросам развития Арктической зоны России в апреле 2022 г. В.В. Путин особо выделил тезис, что «решение социальных, экономических, инфраструктурных задач в этом важнейшем регионе, реализация здесь масштабных инвестиционных проектов – всегда была и остается для нас приоритетом» [1].

Актуальность представленного исследования определяется следующим. Материально-техническое обеспечение строительных работ, сопровождающих выполнение крупномасштабных инфраструктурных проектов, становится одним из приоритетов современного освоения Арктики. Особо суровые климатические условия, распространенные на большинстве арктических территорий, предполагают использование инновационных конструкционных строи-

тельных материалов и строительных систем, ориентированных на строительство за полярным кругом. Особая роль здесь отводится теплоизоляционным материалам, основная цель применения которых – тепловая защита зданий.

Цель исследования: представить результаты авторского исследования по разработке технологии изготовления инновационного теплоизоляционного материала на основе пылевидных отходов стекольного и электрометаллургического производства для использования в суровых условиях Арктики.

Задачи исследования:

- выявить объективные и субъективные причины, вызывающие сложности при осуществлении строительных работ, сопровождающих выполнение крупномасштабных проектов освоения Арктики;
- представить требования, предъявляемые к строительным теплоизоляционным материалам в условиях арктического климата;
- представить авторскую технологию изготовления инновационного теплоизоляционного материала на основе пылевидных отходов стекольного и электрометаллургического производства;
- обосновать возможность применения инновационного теплоизоляционного материала для использования в суровых условиях Арктики;
- провести сравнение характеристик предлагаемого инновационного материала и пенополистирола – утеплителя, наиболее часто используемого при строительстве в Арктике.

### Результаты исследования и их обсуждение

В последние годы в арктическом регионе реализуется множество крупномас-

штабных проектов в области развития энергетики, судостроения, транспортной инфраструктуры, тяжелой промышленности (рис. 1).

Реализация указанных проектов сопровождается мощными строительными работами, осуществление которых вызывает целый ряд сложностей. Это связано с рядом объективных причин. Во-первых, это географические причины, порождающие экстремальные климатические условия: в высоких северных широтах угол падения солнечных лучей низок, что приводит к длительной полярной ночи, низким температурам воздуха, мощному снежному покрову, который не тает много месяцев; ситуация усугубляется пониженным содержанием кислорода в атмосфере, что негативно влияет на самочувствие и работоспособность персонала [2, 3]. Низкие температуры требуют использования особых дорогостоящих технологий строительства, неукоснительного соблюдения норм и правил. Техника нуждается в более частом ремонте; потребление горюче-смазочных материалов в высоких широтах увеличивается. Во-вторых, это многолетняя мерзлота и ледяные грунты, имеющие широкое распространение в Арктике. В процессе строительства и по мере эксплуатации зданий рыхлые ледяные грунты, нагреваясь, теряют свою монолитность. Ледяной панцирь постепенно меняет свою структуру и в силу глобальных естественных процессов потепления и «таяния» многолетней мерзлоты. В результате грунты начинают смещаться – до нескольких сантиметров в год, что приводит к трещиноватости строительных материалов и, в конечном итоге, к разрушению зданий [4, 5].

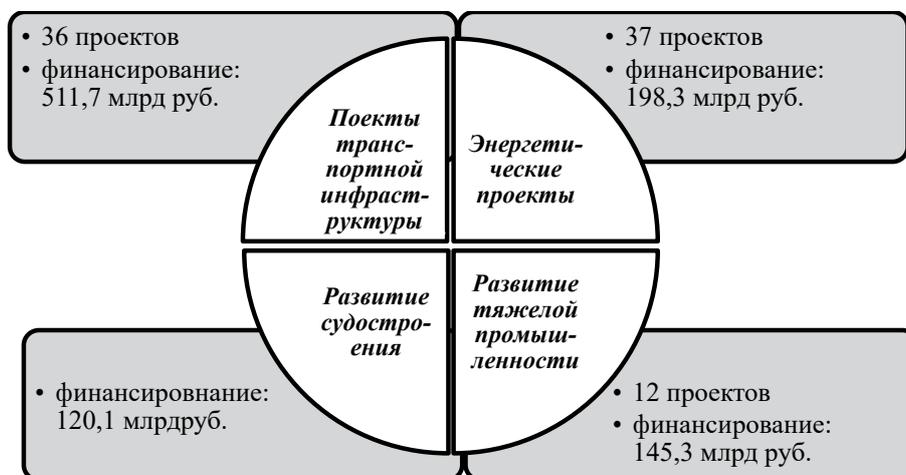


Рис. 1. Крупномасштабные проекты освоения Арктики и их финансирование



Рис. 2. Экономические факторы, усложняющие строительные работы в Арктике

Большое значение имеют и субъективные причины, в первую очередь, логистического характера. Они связаны с географической и транспортной удаленностью многих строящихся объектов; качественно и количественно недостаточной дорожной инфраструктурой [6–8]. Также имеет место нехватка квалифицированных строительных кадров, готовых работать и жить в суровых арктических условиях. Такая тенденция отмечается не только в строительстве, но и в других сферах экономики [9, 10].

Все это приводит к формированию особых экономических факторов, усложняющих строительные работы в Арктике (рис. 2).

В результате себестоимость строительства в Арктике, по оценкам экспертов, повышается в 2–2,5 раза по сравнению с аналогичными строительными работами в других, не арктических, регионах [11]. Повсеместное увеличение стоимости строительства, вызванное пандемией в 2020–2021 гг. и геополитическими причинами в 2022 г., накладываясь на действие экономических факторов, усиливает сложности, сопровождающие строительные работы в Арктике.

Особое место среди проблем освоения Арктики занимает материально-техническое обеспечение строительных работ в условиях низких температур и многолетней

мерзлоты. Строительные работы проводятся не только в рамках выполнения крупномасштабных инфраструктурных проектов, но и в городских и сельских населенных пунктах, расположенных на территории Арктики. В силу особенностей арктического климата многие традиционные строительные материалы применять невозможно. На морозе здания и сооружения становятся хрупкими. Повышается их износ из-за перепадов температур, действия стальных ветров, агрессивной природной среды.

Строительство в зоне Арктики неизбежно проводится с применением современных технологий и инновационных материалов. С учетом арктического климата к строительным теплоизоляционным материалам предъявляется ряд требований:

- работоспособность и сохранение характеристик при изменении толщины;
- работоспособность при колебаниях температур от минусовых до плюсовых (от  $-70^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ );
- стойкость к влаге и к воздействию тумана;
- повышенные прочность, пластичность, износостойкость материалов при взаимодействии со снегом и льдом;
- сохранение свойств в условиях термоциклирования с переходом через точки росы и замерзания [12].

По мнению экспертов из Высшей инженерной школы Северного (Арктического) федерального университета (САФУ), утеплитель, наиболее часто используемый при строительстве в Арктике в настоящее время, – это пенополистирол [13]. Пенополистирол, несомненно, отвечает всем требованиям, предъявляемым к теплоизоляционным материалам в условиях Арктики. Этот материал обладает самым низким показателем водопоглощения из имеющихся композитных утеплителей, достаточно долговечен, инертен и нетоксичен. Низкая теплопроводность позволяет эффективно обеспечивать теплоизоляцию зданий. Однако пенополистирол горит с выделением токсичных отходов и «не дышит» [14].

Не отрицая технико-эксплуатационных характеристик пенополистирола, которые позволяют широко использовать его в строительстве в Арктике, мы предлагаем инновационный конструкционный теплоизоляционный материал на основе пылевидных отходов стекольного и электрометаллургического производства.

Нами совместно со студентами и преподавателями Старооскольского технологического института (филиала) Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» была разработана технология изготовления этого инновационного теплоизоляционного материала. Основные пункты технологии изготовления материала следующие:

- 1) подготовка пыли из отходов стекольного и электрометаллургического производств;
- 2) первичный обжиг при температуре 700°C;
- 3) измельчение до фракции 100 мкм;
- 4) смешение компонентов;

5) сушка при температуре 200±10°C на протяжении 40–60 минут;

6) вторичный обжиг при температуре от 800 до 1000°C, время выдержки не более 120 минут.

Таким образом, технология производства инновационного конструкционного теплоизоляционного материала довольно проста и не требует сложного и дорогостоящего оборудования. Сырье также недорогое и доступное. Готовый конструкционный теплоизоляционный материал представляет собой блоки или фасонные изделия темно-серого цвета, пористой структуры.

В таблице представлена сравнительная характеристика технико-эксплуатационных качеств инновационного теплоизоляционного материала на основе пылевидных отходов стекольного и электрометаллургического производств и пенополистирола – утеплителя, наиболее часто используемого при строительстве в Арктике.

Сравнительный анализ показывает, что оба материала отвечают требованиям, предъявляемым к строительным теплоизоляционным материалам с учетом использования в арктическом климате. При этом теплоизоляционный материал на основе пылевидных отходов стекольного и электрометаллургического производства демонстрирует лучшие характеристики. Это подтверждается, в первую очередь, тем, что теплопроводность – важнейшая из характеристик теплоизоляционных материалов – у него меньше. Широкий выбор размеров и форм выпуска повышает возможности использования материала; большая площадь листов особенно важна при строительстве крупных объектов арктической инфраструктуры.

Сравнительная характеристика пенополистирола и инновационного теплоизоляционного материала на основе пылевидных отходов стекольного и электрометаллургического производств

Технико-эксплуатационные характеристики	Пенополистирол	Теплоизоляционный материал на основе пылевидных отходов стекольного и электрометаллургического производства
Теплопроводность при 10°C (Вт/м)	от 0,28 до 0,37	не более 0,2
Температура эксплуатации, С°	-100 – +80	-100 – +80
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	До 50	До 50
Водопоглощение по объему, %	0,4	Не более 0,5
Горючесть	Горит с выделением токсичных отходов	Не горюч
Размер, мм	1000 x 2000 x 10÷50	1000x2000x10÷180
Форма выпуска	Лист	Лист, фасонные изделия
Срок службы	20–50 лет	60 лет

Эксплуатационные характеристики также повышены вследствие того, что инновационный конструкционный строительный материал более долговечен, не разрушается под воздействием низких температур, присущих арктическим регионам, и имеет больший срок службы. Кроме того, предлагаемый нами инновационный материал, в отличие от пенополистирола, не горюч.

### Выводы

Проведенное исследование показало следующее.

1. Осуществление строительных работ, сопровождающих выполнение крупномасштабных проектов освоения Арктики, сопряжено с рядом сложностей объективного и субъективного характера. Это приводит к тому, что себестоимость строительства в Арктике повышается в 2–2,5 раза по сравнению с аналогичными строительными работами в других, не арктических, регионах.

2. К строительным теплоизоляционным материалам, которые предполагается использовать в Арктике, предъявляются особые требования, связанные с обеспечением работоспособности в особо агрессивных климатических условиях. Строительство в зоне Арктики особо нуждается в современных технологиях и инновационных материалах.

3. В статье представлена авторская технология изготовления инновационного конструкционного теплоизоляционного материала на основе пылевидных отходов стекольного и электрометаллургического производства для использования в строительстве на арктических территориях. Готовый конструкционный теплоизоляционный материал представляет собой блоки или фасонные изделия темно-серого цвета, пористой структуры.

4. Предложенный инновационный материал полностью отвечает требованиям, предъявляемым к строительным теплоизоляционным материалам, с учетом использования в арктическом климате. Технология его изготовления проста и не требует дорогостоящего сырья, сложного оборудования и специальных знаний персонала.

5. Разработанный инновационный теплоизоляционный материал на основе пылевидных отходов стекольного и электрометаллургического производства имеет лучшие технико-эксплуатационные характеристики, чем пенополистирол – утеплитель, наиболее часто используемый при строительстве в Арктике. Положительным фактором также является переработка отходов электрометаллургической и стекольной промышленности. Это позволяет предположить, что производство инновационного теплоизоляционного

материала будет способствовать материально-техническому обеспечению освоения Арктики. Инновационный строительный материал может найти применение в градостроительстве, а также при возведении объектов крупномасштабных инфраструктурных проектов освоения Арктики.

*Исследование включает результаты, полученные за счет гранта РНФ № 19-18-00025.*

### Список литературы

1. Совещание по вопросам развития Арктической зоны Российской Федерации: видеоконференция В.В. Путина 13 апреля 2022 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/68188> (дата обращения: 27.09.2022).
2. Самарина В.П. Региональная экономика: Северо-Арктические территории России. Курск: Университетская книга, 2022. 144 с. DOI: 10.47581/2021/03.Samarina.002.
3. Samarina V.P., Skufina T.P., Samarin A.V., Baranov S.V. Geopolitical significance Arctic Zone for Russia. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 940(1). P. 012107. DOI: 10.1088/1757-899X/940/1/012107.
4. Местников А.Е., Семенов С.С., Васильева Д.В. Рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов Якутии в технологии строительных материалов // Фундаментальные исследования. 2017. № 12-1. С. 80–84.
5. Скуфьина Т.П. Нормативно-правовое регулирование развития российского Севера и Арктики // Фундаментальные исследования. 2016. № 9-2. С. 424–428.
6. Социально-экономическая динамика и перспективы развития российской Арктики с учетом геополитических, макроэкономических, экологических и минерально-сырьевых факторов: монография / под научн. ред. Т.П. Скуфьиной, Е.А. Корчак. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2021. 209 с. DOI: 10.37614/978.5.91137.458.7.
7. Алиева Т.Е., Баранов С.В., Барашева Т.И. Стратегические перспективы социально-экономического развития Мурманской области. М.: Институт экономических проблем, 2009. 319 с.
8. Skufina T.P., Baranov S.V., Samarina V.P., Samarin A.V. Natural resources as a factor of socio-economic development of the Arctic territories: Theoretical components of the research problem. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. P. 012156. DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012156.
9. Бажутова Е.А., Биев А.А., Емельянова Е.Е. Социально-экономическое развитие северо-арктических территорий России: монография. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2019. 119 с. DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.408.2.
10. Самарина В.П., Баранов С.В., Скуфьина Т.П. Особенности территориальной организации населения регионов Севера // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2007. № 3. С. 204–212.
11. Беляев И.С. Проблемы арктического строительства: тенденции и перспективы // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2 (85). С. 248–255. DOI: 10.23967/1999-5571-2021-18-2-248-255.
12. Сильченко В.С., Жиленко О.Б. Влияние природно-климатических факторов на строительство зданий в северных регионах России // Научный форум: технические и физико-математические науки: сборник статей по материалам XXVI международной научно-практической конференции, 2019. № 7 (26). С. 56–66.
13. Тепло, как в Арктике: как современные технологии помогают обогревать Север. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.rscf.ru/news/media/teplo\\_kak\\_v\\_arktike\\_kak\\_sovremennye\\_tekhnologii\\_pomogayut\\_obogrevat\\_sever/](https://www.rscf.ru/news/media/teplo_kak_v_arktike_kak_sovremennye_tekhnologii_pomogayut_obogrevat_sever/) (дата обращения: 27.09.2022).
14. Зайцева К.Н. Радикальные инновации в производстве строительных материалов: риски, проблемы внедрения // Фундаментальные исследования. 2019. № 5. С. 36–39.