

## Строительство объектов транспортной инфраструктуры в северных условиях: основания и фундаменты

*А.В. Макаров, Е.В. Алаторцева, В.С. Федорова, Д.М. Лепехина*

*Волгоградский государственный технический университет*

**Аннотация:** В статье рассматриваются мероприятия по сохранению грунтовых оснований сооружений в мерзлом состоянии. Показано, что методы экранирования грунтов дешевы и не используют специального оборудования. Эти методы используют различные виды утеплителей: природных и искусственных. Описываются существующие технологии устройства теплоизоляционных экранов на автомобильных дорогах и инженерных сооружениях. Предлагается замена пенополиуретана на экструдированный пенополистирол. Приведено описание этих материалов и сравнение их физических свойств. Приведена технология устройства теплоизолирующего покрытия.

**Ключевые слова:** геоплиты, пенополистирол, пенополиуретан, теплоизоляционный экран, фундаменты, вечномёрзлые грунты, геотекстиль, мохорастительный покров.

Строительство нулевых циклов в северных условиях сопряжено с целым рядом сложностей. Во-первых, это удаленность данных регионов от строительной базы: заводов строительных конструкций и материалов. Во-вторых, наличие слабых, лессовых, пучинистых и влагонасыщенных грунтов и отсутствие гравелистых, крупнообломочных, крупнопесчаных грунтов. И в-третьих, наличие многолетнемерзлых грунтов, подверженных сезонному оттаиванию. Процессы оттаивания вечной мерзлоты в последние десятилетия усилились из-за изменения климата – потепления. На оттаивающих грунтах невозможно устраивать надежное основание ни для сооружений, ни для транспортных коммуникаций. Эти обстоятельства вынуждают строителей искать решения проблемы термостабилизации мерзлых грунтов, создавая условия, при которых грунты под сооружениями остаются в мерзлом состоянии, включая летний период. Целый ряд исследований посвящен решению этой проблемы. Их можно разделить на направления: эксплуатация и мониторинг систем температурной стабилизации грунтов [1-3]; вопросы функционирования трубопроводного транспорта в условиях возможного оттаивания грунты [4-5]; защита фундаментов сооружений от просадки [6-7].

---

Условно все мероприятия по предотвращению оттаивания грунта в летний период можно разделить на две группы. К первой группе отнесем те технологии, которые используют специальное оборудование, действующее в естественных условиях или искусственно обдуваемое при помощи вентиляторов, способное аккумулировать тепло грунта, передавать его на наземные части оборудования и рассеивать в атмосфере [8]. Вторую группу составляют методы на основе экранирования грунтов основания в местах возможного притока тепла; изоляция «мостиков тепла» и недопущения нагрева и оттаивания основания. Эти методы не используют специального оборудования, дешевы и не требуют обслуживания.

Конструктивные решения с использованием теплоизоляционных материалов, применяющиеся в настоящее время, можно разделить на три вида по теплоизолирующему материалу:

- природный теплоизолирующий материал;
- искусственный теплоизолирующий материал;
- теплоизоляция с использованием геотекстиля.

Природной теплоизолирующий материал - торф или мохорастительный слой используется в местностях, где он является местным материалом. Нижнюю часть насыпи, возводимую из слабого глинистого грунта в мерзлом состоянии, сверху и с боков покрывают слоем торфа. Горизонт сезонного оттаивания смещается к верху возводимой насыпи. Торф препятствует нагреву и оттаиванию грунта, сохраняя его всегда в мерзлом состоянии и способным воспринимать нагрузки без выпучивания. Толщина слоя определяется расчетом. Верхняя часть насыпи возводится из крупнообломочного или песчаного грунта с достаточными прочностными характеристиками, на котором устраивается дорожная одежда.

---

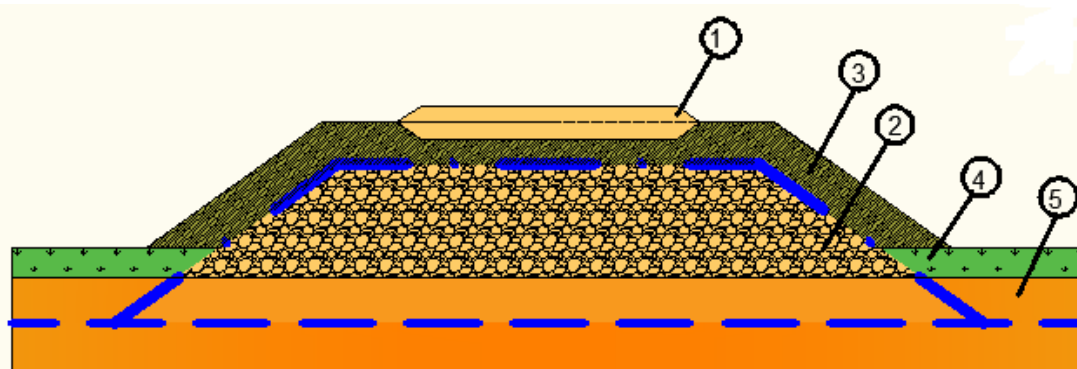


Рис.1. Теплоизоляция грунта насыпи торфом. 1 – крупнообломочный грунт; 2 – слой мерзлого слабого глинистого грунта; 3 – слой торфа; 4 – мохорастительный слой; 5 – естественный грунт основания.

Другим способом сохранения слабого грунта в мерзлом состоянии является использование геотекстиля. Насыпь подхода к мосту (1) возводится непосредственно на мохорастительном слое (4), который в некоторой степени изолирует оттаивающее основание (5). Залегающий ниже слой вечномерзлого грунта (6) является хорошим основанием, однако сезонное оттаивание верхней части (5) не позволяет опирать на него высокие насыпи и сооружения. Для повышения горизонта сезонного оттаивания используют гранулированный утеплитель (3), завернутый в геотекстиль (2). Таким утеплителем может быть пеностеклокерамика [9]. Такое утепление препятствует подходу тепла к мерзлому грунту, сохраняя его в мерзлом состоянии в летнее время (Рис. 2).

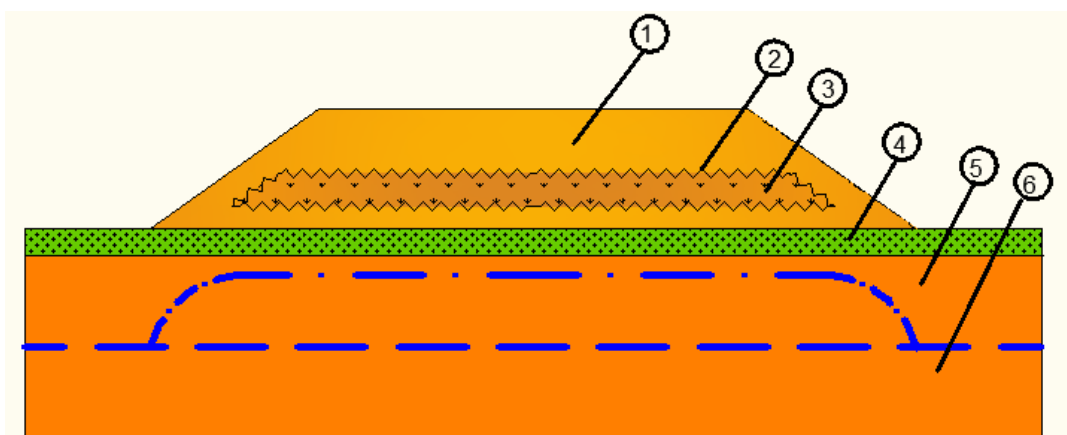


Рис. 2. Использование геотекстиля для сохранения мерзлого состояния.

Искусственным теплоизоляционным материалом, широко применяющимся в строительстве, в настоящее время является пенополистирол. Экструдированный пенополистирол представляет собой пластик с равномерно распределенными ячейками размером диаметром до 0,2 мм, из которого изготавливают плиты. Внешне плиты имеют гладкую поверхность. Для устройства теплоизоляционных экранов чаще всего применяют плиты ЭППС марки «ПЕНОПЛЭКС® ГЕО» толщиной 100 мм, которые выпускаются в упаковках по 4 штуки объемом 0,3 м<sup>3</sup> [10]. Технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование	Единица измерения	Показатели
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, не менее	МПа (кгс/см <sup>2</sup> ; т/м <sup>2</sup> )	0,3 (3,0; 30)
Водопоглощение за 24 часа, не более	% по объему	0,4
Водопоглощение за 28 суток	% по объему	0,5
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	28-36
Модуль упругости	МПа	17
Температурный диапазон эксплуатации	°С	-70 ... +75



Рис. 3. Возведение насыпи дороги с экраном из пеноплекса в Новом Уренгое.

Для создания теплоизоляционного экрана плиты из ЭПС укладываются на всю ширину подошвы будущей насыпи на мерзлый, заранее уплотненный грунт. Не допускается возведение насыпей в период сезонного оттаивания грунтов, а также на грязное, мокрое основание. Для предотвращения проникания тепла в вечномерзлое основание через стыки между плитами в конструкции плит предусмотрены замки в виде шпунтованных торцов (Рис. 3). После укладки плит поверхность экрана укрывается плотной полиэтиленовой пленкой, а затем засыпается грунтом с послойным уплотнением.

Фундаменты инженерных сооружений, находящиеся на вечномерзлом основании, выполненные из бетона с большим коэффициентом теплопроводности являются мостиками проведения тепла к окружающим грунтам. Для сохранения мерзлого состояния грунта необходимо изолировать фундамент применяя пеноплекс. Теплоизолирующие плиты раскладываются на ровном мерзлом основании под подошвой фундамента, засыпается песком. На этом основании возводится фундамент. На боковые поверхности фундамента крепятся плиты пеноплекса, а затем гидроизоляционный материал (Рис. 4), после чего производится обратная засыпка. Такая конструкция не будет проводить тепло к мерзлому грунтовому основанию и станет надежной опорой сооружению.



Рис. 4. Теплоизоляция фундаментов в условиях вечной мерзлоты.

Одним из существенных минусов использования этого материала является неудобство его доставки на объекты в крайне удаленных местностях. В настоящее время в России существует 4 завода компании «ПЕНОПЛЭКС», в Ленинградской области, в Перми, в Новосибирске и в Таганроге. До мест применения пеноплекса тысячи километров. В качестве примера рассчитаем потребность материал на  $1000 \text{ м}^2$  покрытия. Для этого потребуется 360 упаковок пеноплекса общим объемом груза, равным  $108,1 \text{ м}^3$  и весом 3800 кг.

Для удешевления доставки материалов предлагается другой материал и другая технология устройства теплоизоляционных экранов – напыляемый пенополиуретан (ППУ). Это надежный вид утеплителя, который наносится на поверхность конструкции и герметично, заполняя все поры, исключает неоднородность слоя утеплителя. В отличие от плит, у напыляемого ППУ отсутствуют швы, что позволяет избежать образование мостиков холода.

Пенополиуретан представляет собой смесь двух компонентов: изоционата и полиола, в соотношении один к одному. Нанесение материала на поверхность конструкции происходит при помощи специальной установки, состоящей из компрессора, емкостей исходных материалов, соединительных шлангов и смесителя. Процесс смешивания компонентов происходит в смесительной насадке на пистолете-распылителе, либо непосредственно на поверхности распыления. В процессе распыления два компонента смешиваются и в ходе химической реакции вырабатывается продукт – ППУ, который расширяется и застывает. На покрытие площади  $1000 \text{ м}^2$  слоем толщиной 100 мм необходимо 4,3 т сырья, объем занимаемого пространства при транспортировке равен  $5 \text{ м}^3$ , что в 21 раз меньше альтернативного материала. Сравнение характеристик экструдированного пенополистиролла и пенополмуретана представлены в таблице 2.

---

Таблица 2

Наименование	Напыляемый ППУ	ПЕНОПЛЭКС
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации, не менее, МПа	0,46	0,3 (3,0; 30)
Водопоглощение за 24 часа, (% по объему)	0,47	0,4
Водопоглощение за 28 суток (% по объему)	0,55	0,5
Плотность (кг/м <sup>3</sup> )	40-60	28-36
Модуль упругости (МПа)	20	17
Температурный диапазон эксплуатации °С	-70 ... +75	-70 ... +75

В ходе сравнения характеристик материалов видно, что напыляемый ППУ несколько уступает плитам ЭППС по плотности, а значит и теплопроводности. Однако удобство доставки и технологические достоинства устройства теплоизолирующих покрытий позволят удешевить строительство объектов транспортной инфраструктуры в условиях вечной мерзлоты. Можно использовать способ напыления для теплозащиты мерзлых грунтов, нанося ППУ на геотекстиль.

#### Литература:

1. Долгих Г.М., Окунев С.Н., Стоянов С.А., Залесский К.В. Опыт проектирования, монтажа и эксплуатации систем температурной стабилизации грунтов оснований «ГЕТ» объектов Ванкорского месторождения. Материалы четвертой конференции геокриологов России, 7-9 июня 2011, Том 3. М.: Университетская книга, 2011, с.273-279.
2. Pashilov M.V. Findings of thermometric monitoring of the top layer of permafrost during hydrocarbon production in the European North of Russia. Arctic Environmental Research №2 2018. P. 53–61 URL: [aer.pensoft.net/article/27700/](http://aer.pensoft.net/article/27700/).
3. Serova N.A., Serova V.A. Main trends in the development of transport infrastructure in the Russian Arctic. Arctic and North №36 2019. URL: [arcticandnorth.ru/en](http://arcticandnorth.ru/en).



4. Стрижков С.Н. Вопросы строительства и проектирования дорог в криолитозоне. Трубопроводный транспорт. 2013. № 4 (38). С. 53-55.
5. Хасанов Р.Р., Султанмагомедов С.М., Шамилов Х.Ш. Обеспечение устойчивости подземных магистральных трубопроводов в криолитозоне. Актуальные проблемы науки и техники-2015. Материалы VIII Международной науч.-практ. конференции молодых учёных. ФГБОУ ВПО "Уфимский государственный нефтяной технический университет". 2015. С. 26-29.
6. Лопухов А.А., Макаров А.В. Мостовые опоры в зоне распространения вечномёрзлых грунтов. Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. 2014. № 4. С. 419-424.
7. Макаров А.В., Журавлев А.В., Тянь В.Ю. Особенности строительства фундаментов в вечномерзлых грунтах. Инженерный вестник Дона. 2019. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5501](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5501).
8. Ермилова Н.Ю., Журавлев А.В., Тянь В.Ю. Термостабилизация многолетнемерзлых грунтов: технологии и оборудование. Инженерный вестник Дона. 2021. № 5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6957](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6957).
9. Патент. Апкарьян А.С., Абакумов Е.П., Христюков В.Г. Способ изготовления пеностеклокерамики. Рег. номер заявки: 2006145164/03 URL: [patents.s3.yandex.net/RU2374191C2\\_20091127.pdf](http://patents.s3.yandex.net/RU2374191C2_20091127.pdf).
10. ПЕНОПЛЭКС – официальный сайт компании. URL: [penoplex.ru/katalog/professionalam/penopleksgeo](http://penoplex.ru/katalog/professionalam/penopleksgeo).

### References

1. Dolgih G.M., Okunev S.N., Stoyanov S.A., Zalesskij K.V. Materialy chetvertoj konferencii geokriologov Rossii, 7-9 iyunya 2011, Tom 3. M.: Universitetskaya kniga, 2011, pp.273-279.
  2. Pashilov M.V. Arctic Environmental Research №2 2018. pp. 53–61. URL: [aer.pensoft.net/article/27700/](http://aer.pensoft.net/article/27700/).
-





3. Serova N.A., Serova V.A. Main trends in the development of transport infrastructure in the Russian Arctic. Arctic and North №36, 2019. URL: [arcticandnorth.ru/en](http://arcticandnorth.ru/en).
4. Strizhkov S.N. Truboprovodnyj transport. 2013. № 4 (38). pp. 53-55.
5. Hasanov R.R., Sultanmagomedov S.M., SHamilov H.SH. Aktual'nye problemy nauki i tekhniki-2015. Materialy VIII Mezhdunarodnoj nauch.-prakt. konferencii molodyh uchyonyh. "Ufimskij gosudarstvennyj neftyanoj tekhnicheskij universitet". 2015. pp. 26-29.
6. Lopuhov A.A., Makarov A.V. Resursoenergoeffektivnye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona. 2014. № 4. P. 419-424.
7. Makarov A.V., ZHuravlev A.V., Tyan V.YU. Inzhenernyj vestnik Dona. 2019. № 1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5501](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5501).
8. Ermilova N.YU., ZHuravlev A.V., Tyan V.YU. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. № 5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6957](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6957)
9. Patent. Apkar'yan A.S., Abakumov E.P., Hristyukov V.G. Sposob izgotovleniya penosteklokeramiki. [Method of manufacturing foam glass ceramics]. Reg. nomer zayavki: 2006145164/03 URL: [patents.s3.yandex.net/RU2374191C2\\_20091127.pdf](http://patents.s3.yandex.net/RU2374191C2_20091127.pdf).
10. PENOPLEKS – oficial'nyj sajt kompanii [PENOPLEX – official website of the company]. URL: [penoplex.ru/katalog/professionalam/penopleksgeo](http://penoplex.ru/katalog/professionalam/penopleksgeo).