

Анализ конструктивных решений в зависимости от типа изоляционных материалов в дорожных покрытиях в многолетнемерзлых грунтах

БЕССОНОВ И.В., канд. техн. наук, гл. научн. сотр. НИИ строительной физики РААСН, Москва;
ЖУКОВ А.Д., вед. научн. сотр. НИИ строительной физики РААСН, доц., канд. техн. наук НИУ
МГСУ, НИУ ВШЭ, Москва; БОБРОВА Е.Ю., канд. экон. наук НИУ ВШЭ, Москва; ГОВРЯКОВ И.С.
и ГОРБУНОВА Э.А., магистранты НИУ МГСУ, инженеры НИИ строительной физики РААСН, Москва

Аннотация

Охарактеризовано распространение многолетней мерзлоты в Северном полушарии в связи с дорожным строительством. Даны оценки возможных потерь от углеродного и метанового загрязнения при оттаивании мерзлых грунтов на примере северо-западных территорий Канады. Сформулированы меры по повышению устойчивости мерзлых грунтов, в первую очередь — укреплению слабых грунтов и подбалластного слоя дорожного покрытия. Особое внимание уделено теплоизоляции мерзлых грунтов при дорожном строительстве. Рассмотрено применение теплоизоляции в дорожном покрытии на основе экструдированного пенополистирола. Приведены факторы, определяющие срок службы такого покрытия. Специальное внимание уделено пеностеклольному щебню в качестве засыпного утеплителя. Приведены его возможные состав и физико-химические свойства при использовании стекломассы из алюмомгнезиевого стекла. Охарактеризованы возможные масштабы его использования в Российской Федерации и скандинавских странах.

Ключевые слова

дорожное покрытие, засыпной утеплитель, многолетнемерзлый грунт, пеностеклольный щебень, стеклобой, стекломасса, факторы долговечности, экструдированный пенополистирол

Abstract

The distribution of permafrost in the Northern Hemisphere in relation to road construction is characterized. Estimates of possible losses from carbon and methane pollution during permafrost thawing are given in the example of the northwestern territories of Canada. Measures to improve the stability of frozen soils are formulated, first, to strengthen weak soils and a sub-ballast layer of road pavement. Special attention is paid to the thermal insulation of frozen soils in road construction. The use of heat insulation in road pavement on the basis of extruded polystyrene foam is considered. The factors determining the service life of such pavement are described. Special attention is paid to the foamed glass crushed stone as backfill insulation. Its possible composition and physical and chemical properties when using aluminomagnesian glass masonry are given. Possible scales of its use in the Russian Federation and Scandinavian countries are characterized.

Keywords

bulk insulation, durability factors, extruded polystyrene foam, foam glass crushed stone, glass mass, glass scrap, permafrost soil, road pavement

Современное строительство, в том числе дорожное, характеризуется стремлением к реализации четырех групп задач:

- 1) достижение установленных нормативных требований по энергосбережению;
- 2) осуществление конструкций, обладающих либо нормативной, либо максимальной долговечностью;
- 3) внедрение методов строительства с минимальной нагрузкой на окружающую среду [1–3];
- 4) реализация специальных технологий в условиях нестабильных грунтов и многолетней мерзлоты с учетом существующей опасности ее деградации. Четверть суши Северного полушария покрыта такой мерзлотой. Большая её часть находится за Полярным кругом (рис. 1). Существуют также локальные участки в Тибетском нагорье и других горных системах.

Считается, что арктическая многолетняя мерзлота содержит около 1,7 трлн т углерода, преимущественно в замороженном органическом веществе. Это вдвое превышает количество вещества, которое в настоящее время находится в атмосфере. Повышение температуры означает, что большая часть этого материала может превратиться в углекислый газ и метан.

Если в строительстве зданий всегда имеет место поиск компромиссов между долговечностью, теплозащитой и экологичностью, то при реализации дорожных покрытий все эти факторы должны быть учтены в максимальной степени [4, 5].

Власти Северо-Западных территорий, одного из крупнейших и самых северных регионов

Канады, подсчитали, что ущерб от многолетней мерзлоты даже сегодня оценивается в 41 млн долл. США в год, что составляет около 900 долл. США на одного жителя.

По мнению специалистов, повышение устойчивости мерзлых грунтов может быть достигнуто реализацией следующих мер. Во-первых, усилением отвода тепла от грунта вблизи сооружений, нуждающихся в защите. Этого можно добиться, добавив в дорожное полотно слои пористого камня, чтобы создать конвекцию, помогающую выходу горячего воздуха. Уменьшение угла наклона насыпи также помогает, увеличивая поток ветра и уменьшая скопление снега, удерживающего тепло. Во-вторых, это обеспечивается ограничением потребления тепла землей, т. е. изоляцией дорожных насыпей посредством их повышения, а также увеличения отражательной способности поверхностей с твердым покрытием для минимизации количества поглощаемой солнечной радиации. В-третьих, земля может быть укреплена для создания лучшего опирания. Один из способов достижения этого – замена слоя многолетней мерзлоты более устойчивыми материалами, другой способ – оттаивать мерзлоту контролируемым способом, а затем строить на этом консолидированном слое.

В суровых условиях многолетней мерзлоты создание теплоизоляции позволяет сохранять многолетнемерзлые грунты в естественном состоянии, что предотвращает оттаивания и исключает просадки земляного полотна, т.е. обеспечивает стабильную и надежную работу основания земляного полотна, сооружаемого в условиях распространения многолетней мерзлоты.

Условия работы теплоизоляции в конструкциях, контактирующих с грунтом, предъявляют к ней определенные требования [6, 7]. Теплоизоляция должна:

- сохранять функциональную эффективность под воздействием влаги, знакопеременной температуры и агрессивных вод в течение всего периода эксплуатации дороги;
- быть морозостойкой, биостойкой и нетоксичной, иметь высокую эксплуатационную стойкость и обладать технологичностью в работе;

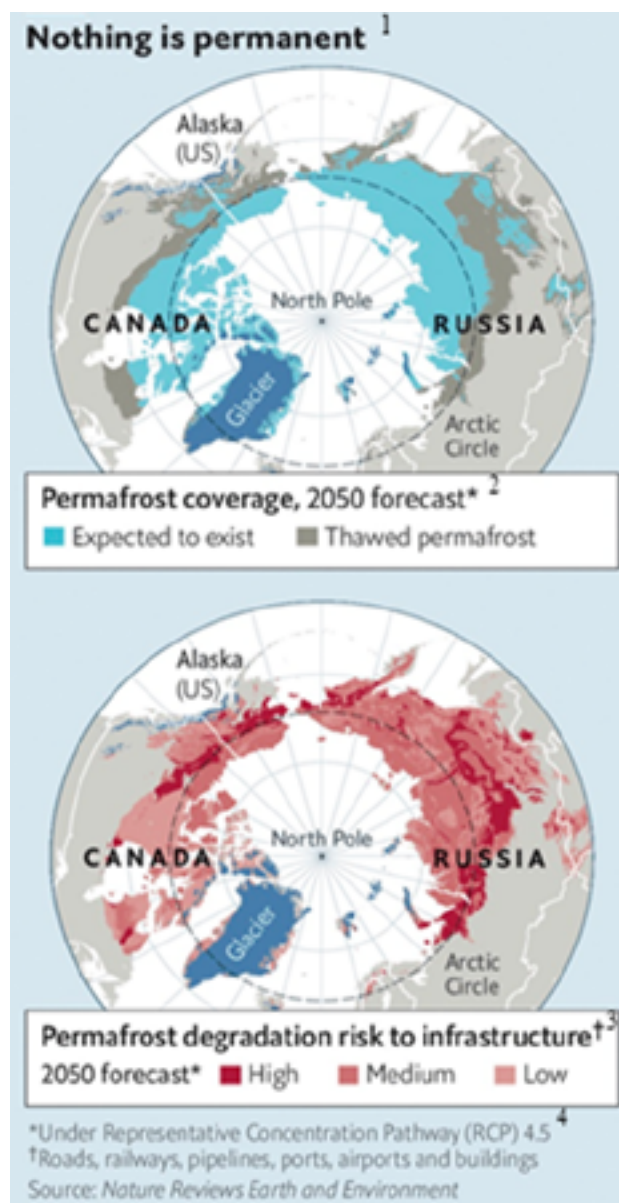


Рис. 1. Многолетняя мерзлота и динамика ее оттаивания. Схема взята из журнала «The Economist» (изд. от 15.01.2022) в разделе «Наука и Технологии». ¹ – Нет ничего постоянного; ² – Покрытие многолетней мерзлотой, прогнозирование на 2050 г.; ³ – Риск деградации многолетней мерзлоты для инфраструктуры, прогноз на 2050 г. (высокий/средний/ низкий уровень); ⁴ – Под репрезентативным путем концентрации / Дороги, железные дороги, трубопроводы, порты, аэропорты и сооружения (источник: «Nature Reviews Earth and Environment»)

- выдерживать нагрузки, возникающие при укладке и уплотнении вышележащих слоев дорожного покрова, вышележащих слоев насыпи и от движения транспорта.



Рис. 2. Укладка изоляции из экструдированного пенополистирола (XPS-плит): а – дорожное полотно; б – аэродромное покрытие

Применение теплоизоляции на основе экструдированного пенополистирола (рис. 2) позволяет формировать соответствующее этим требованиям изоляционное основание. В этом случае при использовании плит неизбежно наличие стыков между ними. Во-первых, это создает «мостики теплопередачи», через которые атмосферное тепло может воздействовать на мерзлый грунт, или атмосферный холод может воздействовать на грунт, подверженный пучению. Во-вторых, песок основания и материал верхней отсыпки, попадая в стыковочные швы, раздвигают плиты и усугубляют процессы тепло- и массопереноса на стыках плит. Решением этой проблемы может быть использование бесшовных изоляционных оболочек на основе пенополиэтилена, что в настоящее время является предметом научного анализа.

Срок службы дорожного покрытия определяется совокупностью нескольких факторов. Во-первых, это тип дорожной конструкции, в том числе конструкция основания и тип дорожной одежды (покрытия), и устройство внутренних слоев, воспринимающих нагрузки и передающих эти нагрузки на грунт основания. Во-вторых, это



Рис. 3. Щебень из вспененного стекла

тип грунта основания, его состояние и устойчивость, в том числе – наличие многолетней мерзлоты, заболоченных участков, верховодки и пр. В-третьих, это качество дорожных работ, т. е. исполнение всех нормативных требований к этим работам.

В наибольшей степени требованиям к изоляции дорожных оснований соответствует пеностеклянный щебень. Щебень из пеностекла – это засыпной утеплитель (рис. 3). Он используется как засыпка для утепления фундаментов малоэтажных зданий, кирпичных стен колодезной кладки или кладки Герарда, а также укрепления слабых грунтов и подбалластного слоя дорожного покрытия. Щебень из пеностекла, произведенный на специализированных линиях, имеет насыпную плотность от 120 до 200 кг/м³ и зерна – крупностью 40...60 мм.

В качестве сырья для производства пеностекла используют переработанное стекло, полученное из бутылочного боя, бракованных автомобильных стекол и боя стеклопакетов. Наибольшее применение в производстве пеностекла нашли стекла, синтезируемые в системах $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{CaO} - \text{R}_2\text{O}$ и $\text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{CaO} - \text{R}_2\text{O}$. Можно заключить, что алюмосиликатные и алюмоборосиликатные стекла наиболее полностью удовлетворяют требованиям к качеству пеностекла. В России для получения теплоизоляционного пеностекла чаще всего используется стекломасса, по химическому составу близкие к алюмомagneзиальному стеклу [8–10].

Анализ применения пеностеклянного щебня показывает, что около 30 % приходится на кровли и порядка 40 % – на стилобаты. Остальной объем

используется в ландшафтном дизайне, дорожном строительстве, в капитальном ремонте многоквартирных домов и в фундаментах. Прогноз показывает, что благодаря своим свойствам, при благоприятных обстоятельствах пеностекольный щебень за период 2020–2022 гг. займет более 2 % общего рынка теплоизоляционных материалов и составит не менее 1 млн м³. За рубежом пеностекольный щебень применяется в дорожных системах с середины 1980-х годов. Эти технологии наиболее распространены в скандинавских странах: Финляндии, Швеции, Норвегии.

В результате проведенного анализа установлено, что материалы, используемые в системах дорожной изоляции, должны соответствовать определенным требованиям, таким как низкая теплопроводность и водопоглощение, высокая стойкость к воздействию агрессивных сред и биологической коррозии, высокая морозостойкость и прочностные показатели. Предполагается возможным применение щебня из вспененного стекла в качестве изоляции для дорожного полотна.

Литература

1. Жук П.М., Жуков А.Н. Нормативно-правовая база экологической экспертизы строительных материалов: перспективы совершенствования // Экология и промышленность России. – 2018. – №4. – С. 52-57.
2. Zhukov A., Medvedev A., Poserenin A., Efimov B. Ecological and energy efficiency of insulating systems 03070 // E3S Web of Conferences. – 2019. – Vol. 135 (ITESE-2019). Published online: 04 December 2019. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125809088>. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/337734229_Ecological_and_energy_efficiency_of_insulating_systems (дата обращения 01.03.2022).
3. Zhukov A., Bessonov I., Medvedev A., Zinovieva E., Mednikova E. Insulation systems for structures on pile supports / E3S Web of Conferences 258(361):09088. January 2021 URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125809088>. – Режим доступа: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/34/e3sconf_uesf2021_09088.pdf (дата обращения 01.03.2022).
4. Шубин И.Л., Умнякова Н.П., Бессонов И.В., Спиридонов А.В. Перспективы применения материалов и изделий из пеностекла в системах тепловой изоляции // Бюллетень строительной техники (БСТ). – 2017. – №6. – С. 12-14.
5. Rumiantcev B.M., Zhukov A.D., Zelenshikov D.B., Chkunin A.S., Ivanov K.K., Sazonova Yu.V. Insulation systems of the building constructions / MATEC Web of Conferences. – 2016. – Vol. 86. – URL: DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20168604027>. – Режим доступа: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2016/49/matecconf_ipicse2016_04027.pdf (дата обращения 01.03.2022).
6. Семенов В.С., ТерЗакарян К.А., Бессонов И.В., Жуков А.Д., Зиновьева Е.А. Опыт применения вспененного полиэтилена в системах изоляции конструкций, работающих под нагрузкой // Изв. вузов. Строительство. – Новосибирск. – 2021. – №2 (746). – С. 120-129.
7. Ter-Zakaryan K.A., Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Bessonov I.V., Mednikova E.A. Foam Polymers in Multifunctional Insulating Coatings // Polymers. – 2021. – No 13(21), P. 3698. – URL: <https://doi.org/10.3390/polym13213698>. Режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34771255/> (дата обращения 01.03.2022).
8. Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Popov I.I., Demissie Bekele Arega. System analysis of technological processes // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2021. – No 17(4) / – Pp. 73–82. – URL: DOI:10.22337/2587-9618-2021-17-4-73-82. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/357428106_SYSTEM_ANALYSIS_OF_TECHNOLOGICAL_PROCESSES (дата обращения 01.03.2022).
9. Бессонов И.В., Лесовик В.С., Алексеев С.В., Вайсера С.С. Управление структурой и свойствами акустических материалов на основе пеностеклокомпозиатов // Строительные материалы. – 2018. – №6. – С. 41-45.
10. Шутов А.И., Мосыпанов В.И., Воля П.А. Пеностекло как эффективный строительный материал // Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы III Междунар. науч.-практ. конф. – школы-семинарии молодых ученых, аспирантов и докторантов – Белгород: Изд-во БЕЛГТАСМ, 2001. – Ч.1. – С. 130-133.

Для связи с авторами:
Игорь Вячеславович Бессонов,
bessonoviv@mail.ru