

## Оценка эффективности теплоизоляционных материалов с помощью проведения тепловых прогнозных расчетов

Д.А. Ковенькин✉, Д.О. Туманов, Н.Д. Шаванов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉kovenkin\_da@irgups.ru

### Резюме

В статье показаны проблемы, связанные с нарушением технологии укладки пенополистирольных плит при проведении капитальных ремонтов железнодорожных путей. Указано на недостатки, возникающие при новом строительстве и эксплуатации участков пути с теплоизоляционными материалами. Актуальность работы заключается в аргументации замены малоэффективного пенополистирола на экологически безопасные полимерные композиционные материалы с повышенными прочностными характеристиками. Учеными Забайкальского института железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения на основе золошлаковых отходов разработаны материалы – аналоги пенополистирола. Основная цель работы – оценка эффективности предложенных теплоизоляционных материалов с помощью проведения тепловых прогнозных расчетов. Теплотехнические сравнительные расчеты проводились с применением программного комплекса Frost 3D Universal. Прогноз эффективности действия представленных проектных мероприятий осуществлялся сроком на пять лет. Установлено, что температура грунта на границе между основной площадкой земляного полотна и применяемыми в настоящее время теплоизоляторами составляет примерно 0,76 °С на середину декабря пятого года эксплуатации. Однако в случае использования предлагаемых теплоизоляторов при аналогичном сроке эксплуатации температура грунта будет достигать примерно 0,92 °С. В целом это позволяет сказать, что по теплотехническим свойствам теплоизолятор, выполненный на основе золошлаковых отходов, соответствует всем необходимым требованиям. Его применение может быть целесообразно при необходимости полного выведения зоны промерзания (оттаивания) из пучинистых грунтов. Кроме того, это поможет исключить ряд недостатков, обнаруживающихся в процессе работы с существующими теплоизоляторами. Например, при укладке на основную площадку земляного полотна есть возможность его раскатывания.

### Ключевые слова

пенополистирол, морозное пучение, теплоизоляция, золошлаковые отходы, тепловые расчеты, технология укладки

### Для цитирования

Ковенькин Д.А. Оценка эффективности теплоизоляционных материалов с помощью проведения тепловых прогнозных расчетов / Д.А. Ковенькин, Д.О. Туманов, Н.Д. Шаванов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 3(79). С. 135–145. DOI 10.26731/1813-9108.2023.3(79).135-145.

### Информация о статье

поступила в редакцию: 06.09.2023 г.; поступила после рецензирования: 20.09.2023 г.; принята к публикации: 22.09.2023 г.

### Благодарность

Работа выполнена в рамках гранта ОАО «Российские железные дороги» для молодых ученых на проведение научных исследований, направленных на создание новой техники и технологий для применения на железнодорожном транспорте «Разработка полимерных композиционных материалов для теплоизоляции и усиления земляного полотна железнодорожного пути на слабом основании» (договор № 5103671 от 26 декабря 2022 г.).

## Evaluation of the efficiency of thermal insulation materials by conducting thermal forecast calculations

D.A. Koven'kin✉, D.O. Tumanov, N.D. Shavanov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉kovenkin\_da@irgups.ru

### Abstract

The problems associated with the technology violation in laying styrofoam plates during major repairs of railway tracks are shown. The disadvantages are also pointed out that arise during the new construction and operation of track sections with thermal insulation materials. The relevance of the work is in argumentation of the replacement of inefficient polystyrene foam by environmentally friendly polymer composite materials with increased strength characteristics. The scientists of Trans-Baikal Institute of Railway Transport have developed materials based on ash and slag waste that are analogous to expanded polystyrene. Based on the above, the main purpose of this work is to evaluate the effectiveness of the proposed thermal insulation materials by conducting thermal fore-

cast calculations. Thermal engineering comparative calculations were carried out using the Frost 3D Universal software package. The forecast of the effectiveness of the developed project activities was carried out for a period of five years. The following results were obtained: the ground temperature at the boundary between the top of the roadbed and the currently used thermal insulators is approximately 0,76 °C by mid-December of the fifth year of operation; in the same period of operation, the temperature of the soil at the boundary between the top of the roadbed and the proposed thermal insulator is approximately 0,92 °C. In general, this allows us to say that according to the thermal properties of the proposed heat insulator made on the basis of ash and slag waste meets all the necessary requirements. The use of the proposed thermal insulators may be advisable if it is necessary to completely remove the freezing-thawing zone from the heaving soils. In addition, the proposed material makes it possible to eliminate a number of disadvantages of existing heat insulators. For example, when laying on top of the roadbed, it is possible to roll it out.

### Keywords

expanded polystyrene, frost heaving, thermal insulation, ash and slag waste, thermal calculations, laying technology

### For citation

Koven'kin D.A., Tumanov D.O., Shavanov N.D. Otsenka effektivnosti teploizolyatsionnykh materialov s pomoshch'yu provedeniya teplovykh prognoznnykh raschetov [Evaluation of the efficiency of thermal insulation materials by conducting thermal forecast calculations]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2023, no. 3(79), pp. 135–145. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.3(79).135-145.

### Article Info

Received: September 6, 2023; Revised: September 20, 2023; Accepted: September 22, 2023.

### Acknowledgement

The work was carried out within the framework of the grant of JSC «Russian Railways» for young scientists to conduct scientific research aimed at creating new equipment and technologies for use in railway transport «Development of poly-dimensional composite materials for thermal insulation and reinforcement of the railway trackbed on a weak foundation» (Contract No. 5103671 dated December 26, 2022).

### Введение

Основная площадка земляного полотна является одним из важных элементов железнодорожного пути, определяющих стабильность геометрии рельсовой колеи. Вместе с тем сложные условия работы грунтов основной площадки привели к широкому распространению на сети железных дорог дефектов и деформаций этого элемента, что требует повышенных затрат на содержание пути.

Наиболее характерными для основной площадки являются балластные углубления, связанные с недостаточной прочностью слагающих ее грунтов, что вызывает проникновение мелких частиц грунта в балласт и его интенсивное загрязнение, а также деформации морозного пучения при промерзании и просадки при оттаивании [1–8].

Для усиления основной площадки земляного полотна предусматриваются мероприятия по глубокой очистке балласта, планировке основной площадки, а также устройству подбалластных защитных слоев.

В качестве защитных слоев могут быть использованы подушки из крупно- и среднезернистого песка, песчано-гравийной смеси или щебня фракций менее 25 мм, а также покрытия из пенополистирола или геотекстиля.

Работы по усилению основной площадки предусматриваются на этапе проектирования нового пути или в составе ремонтов пути. Совместно с работой щебнеочистительных машин (ЩОМ), производящих глубокую очистку балласта, выполняют работы по усилению основной площадки без снятия рельсошпальной решетки. В этих условиях наиболее эффективными в качестве защитных слоев становятся покрытия из пенополистирола и геотекстиля, имеющие небольшую толщину. Кроме того, устройство покрытий из пенополистирола одновременно является одним из надежных способов, позволяющих предотвратить деформации морозного пучения. В теории это действительно так, однако, как показывает практика, есть ряд недостатков в технологии укладки пенополистирольных плит. Это все приводит к снижению эффективности в процессе их эксплуатации.

В основном укладка новых плит и замена старых осуществляются при работе ЩОМ. Во время ремонта пути между нерабочей поверхностью баровой цепи и очищенным балластом, возвращенным в путь, образуется рабочее пространство для укладки плит пенополистирола. С учетом того, что машина постоянно находится в движении, есть большой риск нарушения технологии, схемы укладки плит, а также техники безопасности (рис. 1).



**Рис. 1.** Укладка плит из пенополистирола во время работы машины для очистки щебня

**Fig. 1.** Laying styrofoam plates during the operation of a crushed stone cleaning machine

Нарушение технологии укладки плит при работе ЩОМ связано с недостаточной шириной баровой цепи. Так, ширина вырезки балласта составляет от 4,1 (база СЧ-600) до 4,5 м (база ЩОМ), тогда как ширина пенополистирольных плит находится в пределах от 4,5 до 6 м. В связи с этим часто концы плит обрезаются. Или может быть случай, когда завод, производящий плиты пенополистирола, продает плиты длиной только 4,2 м. Тогда их приходится еще и собирать, если требуется шире. Кроме того, поверхность, на которую размещаются плиты, получается не всегда ровная, исправить это практически невозможно. Вследствие чего после засыпки очищенным щебнем происходит раскалывание плит. Также при укладке пенополистирола в несколько слоев часто щебень, прошедший очистку, попадает между плит, что приводит к их раскливанию и нарушению целостности теплоизолирующего слоя.

При новом строительстве процесс укладки плит усложняет их легкий вес. В случаях даже небольших порывов ветра плиты сдувает и приходится работу проводить повторно. После укладки плит сверху их засыпают балластом, разравнивание которого выполняют бульдозером. Но бульдозер не может постоянно ехать только прямо, ему необходимо делать определенные маневры. В этом случае из-за относительно небольшого слоя еще несформированного балласта происходит раскалывание

плиты пенополистирола. Часть плит удается менять на месте, но некоторые расколотые плиты остаются лежать в пути.

При эксплуатации участков пути с плитами пенополистирола также существует ряд недостатков. Например, если обнаружен дефект рельса на участке с плитами пенополистирола, его вырезают, ставя в это место рубку, вследствие чего образуется стык. Из-за своей структуры пенополистирол не способен гасить вибрацию, возникающую в стыке, и в этом месте наблюдаются постоянные просадки, скорость развития которых намного выше, чем у стыков на участках без теплоизоляции. После производства работ по свариванию стыков просадки на некоторое время пропадают, пока не происходит смятие сварного шва. По наблюдениям даже небольшое смятие способно вызвать резкий рост просадки, которую невозможно предотвратить в рамках текущего содержания пути.

В связи с этим для устранения недостатков, выявленных в процессе укладки и эксплуатации пенополистирольных плит, необходимо создание материалов, обладающих следующими свойствами:

- дешевизна и технологичность;
- экологическая безопасность;
- высокая морозостойкость;
- высокая прочность на сжатие;
- хорошая поглощаемость вибрации;
- низкий процент водопоглощения;
- низкий коэффициент теплопроводности.

С целью обеспечения теплоизоляции и усиления земляного полотна железнодорожного пути актуальным является замена малоэффективного пенополистирола (в сочетании с геотекстилем) на экологически безопасные полимерные композиционные материалы с повышенными прочностными характеристиками.

Учеными Забайкальского института железнодорожного транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения разработаны композиционные материалы на основе крупнотоннажных отходов горноперерабатывающего комплекса и теплоэлектростанций с улучшенными функциональными свойствами, что позволяет использовать их для повышения устойчивости и несущей способности земляного полотна [9–15]. На рис. 2 представлены образцы таких материалов.



**Рис. 2.** Образцы полученных композиционных материалов

**Fig. 2.** Samples of the obtained composite materials

Данные материалы обладают всеми ранее перечисленными свойствами. Приводим основные характеристики полимерных композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами для теплоизоляции и усиления земляного полотна железнодорожного пути:

– удельная эффективная активность естественных радионуклидов дисперсных минеральных добавок в составе композитов – не более 370 Бк/кг;

– предел прочности на сжатие – не менее 6 МПа;

– водопоглощение – не более 0,5 %;

– коэффициент теплопроводности – не более 0,2 Вт/(м °С);

– морозостойкость – не менее 30 циклов замораживания/оттаивания;

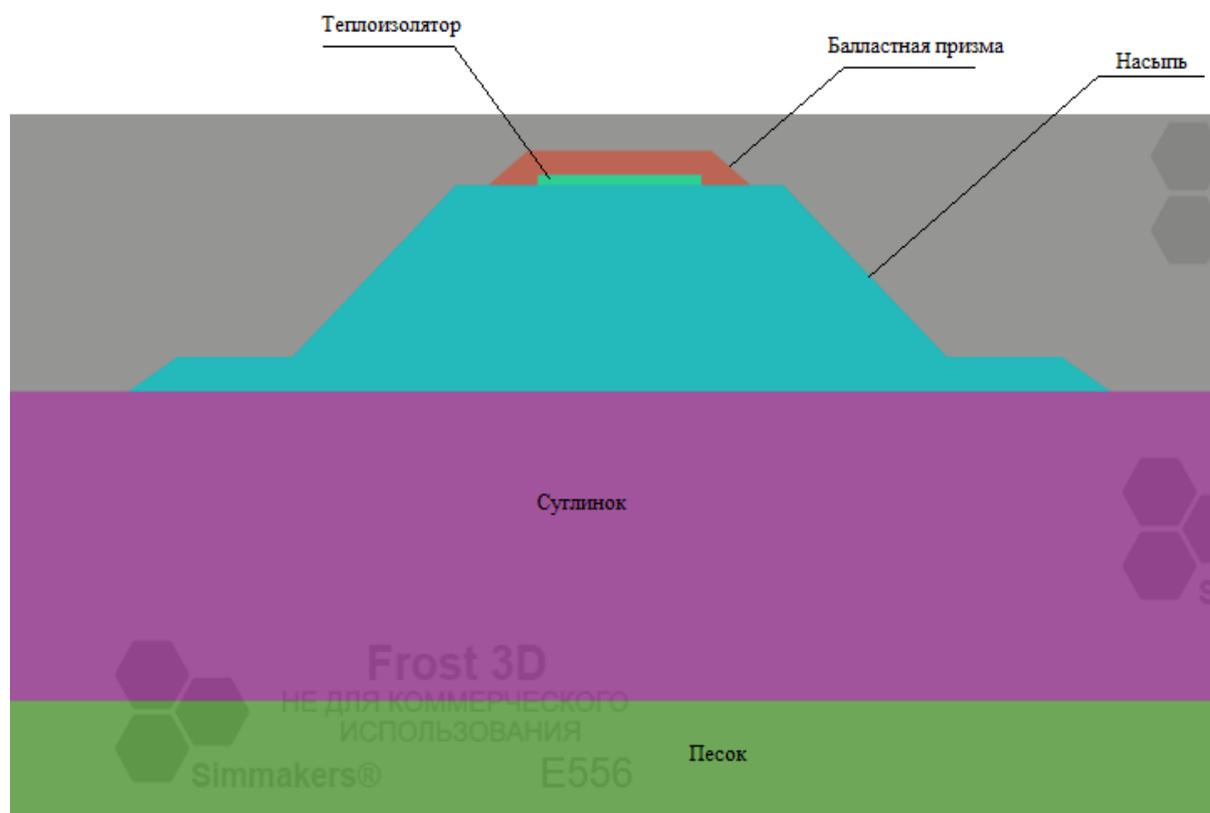
– экологическая безопасность, установленная методом биотестирования.

Исходя из изложенного, основная цель данной работы заключается в оценке эффективности предложенных композиционных материалов с помощью проведения тепловых прогнозных расчетов.

### Постановка задачи

Теплотехнические сравнительные расчеты проводились с применением программного комплекса Frost 3D Universal, разработанный ООО «Симмэйкерс».

Рассмотрим моделирование теплового режима железнодорожной насыпи с теплоизоляцией под балластной призмой (рис. 3). Толщина теплоизоляции принята равной 0,3 м. Ширина плиты (размер поперек оси земляного полотна) – 5 м.



**Рис. 3.** Схема поперечного сечения насыпи  
**Fig. 3.** Cross-section diagram of the embankment

Усредненные статистические климатические данные по каждому месяцу (температура, скорость ветра, толщина снегового покрова) представлены в табл. 1. Температурный тренд глобального потепления для данной местности – 0,04 °С в год. Среднезимняя теплопроводность снегового покрова принята равной 0,24

Вт/м °С. Высота снега на откосах принята 1,5 м от высоты в естественных условиях. Высота снега на основной площадке не более 0,1 м в связи с постоянной очисткой железнодорожного пути по условиям эксплуатации. В табл. 2 приведены теплофизические свойства грунтов.

**Таблица 1.** Усредненные статистические климатические данные по каждому месяцу  
**Table1.** Averaged statistical climate data for each month

Параметр Parameter	Месяц Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Средняя температура наружного воздуха, °С Average outside air temperature, °С	-31,1	-23	-12,1	-0,2	8,1	14,8	18,8	16,5	9,5	-0,8	-16,6	-28,6
Скорость ветра, м/с Wind speed, m/sec	1,8	2,1	2,5	3,5	3,4	2,6	2,4	2,3	2,7	2,4	2,3	1,8
Высота снегового покрова на естественной поверхности, м Snow depth on natural surface, m	0,26	0,29	0,27	0,03	0	0	0	0	0	0,02	0,11	0,2
Высота снегового покрова на основной площадке, м Snow depth on the main site, m	0,1	0,1	0,1	0,01	0	0	0	0	0	0,1	0,1	0,1
Высота снегового покрова на откосе, м Snow depth on the slope, m	0,44	0,5	0,45	0,05	0	0	0	0	0	0,03	0,18	0,3

**Таблица 2.** Теплофизические свойства грунтов и материалов  
**Table 2.** Thermophysical properties of soils and materials

Наименование параметра материала Material parameter	Материал Material					
	Суглинок Loam	Песок Sand	Грунт основания насыпи Soil of embankment base	Грунт верха насыпи Soil of embankment top	Теплоизолятор	
					Существующий Existing	Предлагаемый Proposed
Объемная теплоемкость талого грунта, МДж / (м <sup>3</sup> ·°С) Volumetric heat capacity of thawed soil, MJ / (m <sup>3</sup> ·°С)	3,15	3,13	2,61	2,35	0,0621	0,0796
Объемная теплоемкость	2,35	2,14	2,42	2,18		

мерзлого грунта, МДж / (м <sup>3</sup> ·°С) Volumetric heat capacity of frozen soil, MJ / (m <sup>3</sup> ·°С)						
Теплопроводность талого грунта, Вт / (м·°С) Thermal conductivity of thawed soil, W / (m·°С)	1,51	1,57	2,09	1,45	0,1395	0,1788
Теплопроводность мерзлого грунта, Вт / (м·°С) Thermal conductivity of frozen soil, W / (m·°С)	1,68	1,79	2,15	1,51		
Суммарная весовая влажность грунта, д.е. Total weight soil moisture, units	0,25	0,38	0,03	0,05	0	0
Плотность сухого грунта, кг/м <sup>3</sup> Density of dry soil, kg/m <sup>3</sup>	1 600	1 220	2 060	1 900	45	90
Температура фазо- вого перехода, °С Phase transition tem- perature, °С	–0,2	–0,28	0	0	0	0

### Определение параметров теплообмена с учетом солнечной радиации

Как известно, температура воздуха, указываемая при инженерно-климатических изысканиях, определяется по ближайшей метеостанции. Замеры температуры на метеостанции происходят в тени, т.е. не учитывается прямое воздействие солнечной радиации. Ее учет особенно актуален при расчете железнодорожных насыпей в случаях ориентации откосов насыпи «север – юг».

Для поверхности грунта воздействие солнечной радиации можно учесть согласно СП 447.1325800.2019 «Железные дороги в районах вечной мерзлоты» [16] по п. 7 приложения А следующим образом:

$$t_{\text{пр}} = t + \Delta t_r - \Delta t_e,$$

где  $t_{\text{пр}}$  – расчетное значение среднемесячной температуры, °С;  $t$  – среднемесячная температура воздуха, °С;  $\Delta t_r$  и  $\Delta t_e$  – поправки к среднемесячным температурам воздуха за счет солнечной радиации и испарения соответственно, °С –

$$\Delta t_r = r / \alpha,$$

$$\Delta t_e = \Delta t_r k,$$

$$\alpha = 10 \sqrt{v},$$

где  $r$  – среднемесячная сумма радиационного баланса для рассматриваемого элемента поверхности, °С;  $v$  – скорость ветра, м/с;  $\alpha$  – коэффициент теплообмена на поверхности грунта, Вт / (м<sup>2</sup>·°С);  $k$  – коэффициент, учитывающий характер поверхности, принимаемый в первом приближении, равный 0,8 для естественной поверхности и 0,3 – для оголенной.

Оценку радиационного баланса  $R$  (Вт / м<sup>2</sup>) поверхности насыпи можно произвести согласно СП 498.1325800.2020 «Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Требования к инженерной подготовке территории» [17]:

$$R = 0,61 \cdot \Phi - 20,$$

где  $\Phi$  – суммарная солнечная радиация, Вт / м<sup>2</sup>.

Суммарную солнечную радиацию для определенной широты можно определить по СП 25.13330.2020 [18].

Для оценки дополнительного теплопритока на южный откос насыпи и естественную поверхность грунта за счет воздействия солнечной радиации также предоставлены данные по суммарной солнечной радиации (табл. 3).

### Результаты расчета

Теплотехнический расчет проводился с прогнозом эффективности действия разработанных проектных мероприятий сроком на пять лет. Трехмерная модель насыпи показана на рис. 4.

Результаты теплотехнических расчетов, проведенных с применением программного комплекса Frost 3D, представлены в виде изоповерхностей температурного распределения по всему поперечному сечению земляного полотна. На рис. 5 и 6 показано такое распределение. В результате отображается цветовое распределение температур, где синему цвету соот-

ветствует самая низкая температура, а красному – самая высокая.

Теплотехнические сравнительные расчеты с применением программного комплекса Frost 3D Universal, показали следующие результаты:

1. Температура грунта на границе между основной площадкой земляного полотна и применяемыми в настоящее время теплоизоляторами составляет примерно  $0,76\text{ }^{\circ}\text{C}$  на середину декабря пятого года эксплуатации.

2. По краям применяемых теплоизоляторов температура грунта около  $0,015\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

3. В тот же самый срок эксплуатации температура грунта на границе между основной площадкой земляного полотна и предлагаемым теплоизолятором примерно  $0,92\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

4. По краям предлагаемых теплоизоляторов температура грунта около  $0,025\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 3. Значение суммарной солнечной радиации  
Table 3. The value of total solar radiation

Параметр Parameter	Месяц Month											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Суммарная солнечная радиация, Вт/м <sup>2</sup> Total solar radiation, W/m <sup>2</sup>	61,7	103,7	193,0	261,6	329,8	344,5	338,1	279,9	206,4	139,1	72,0	48,2

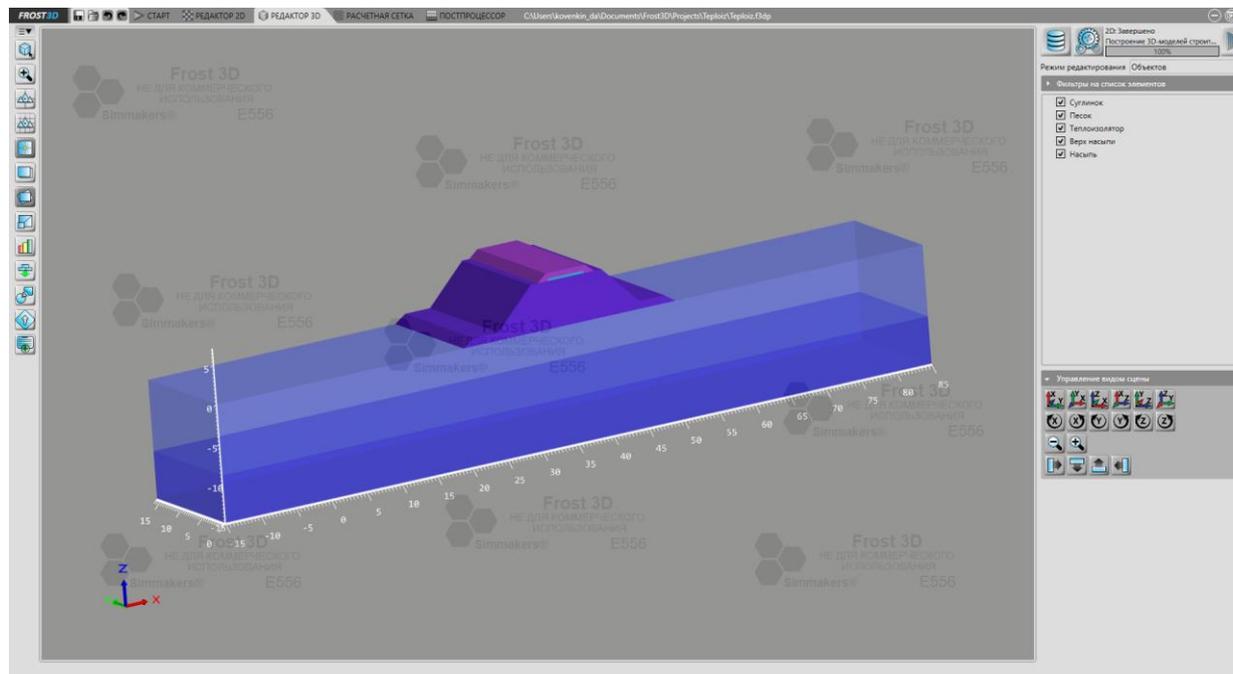
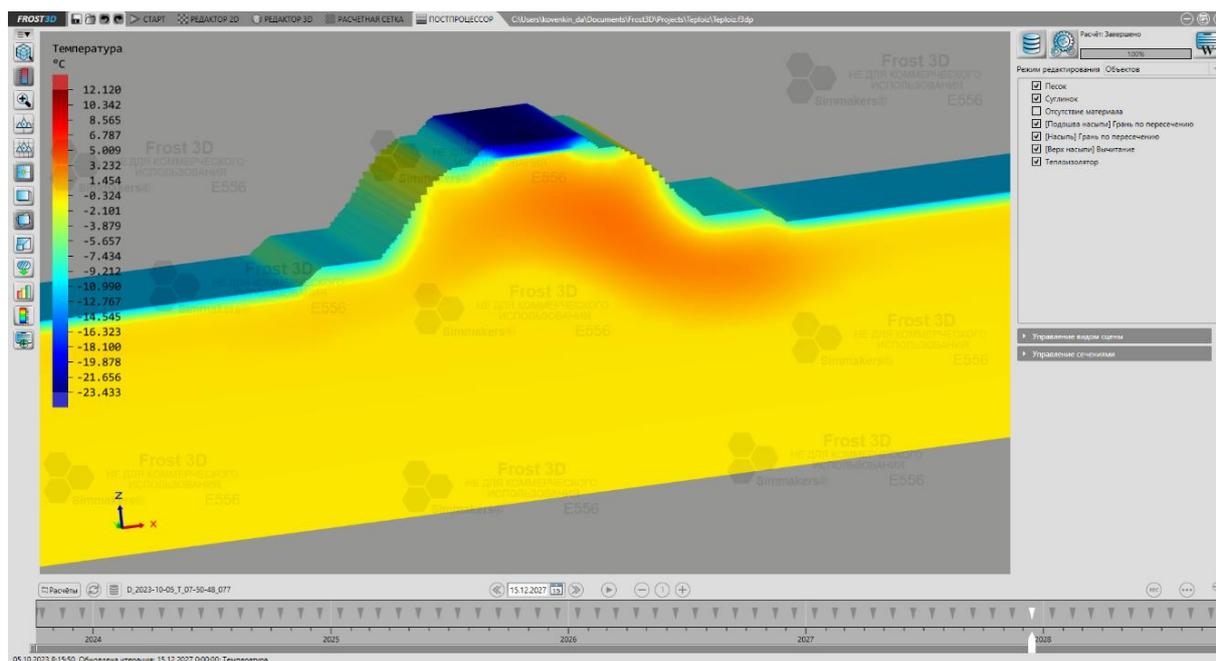
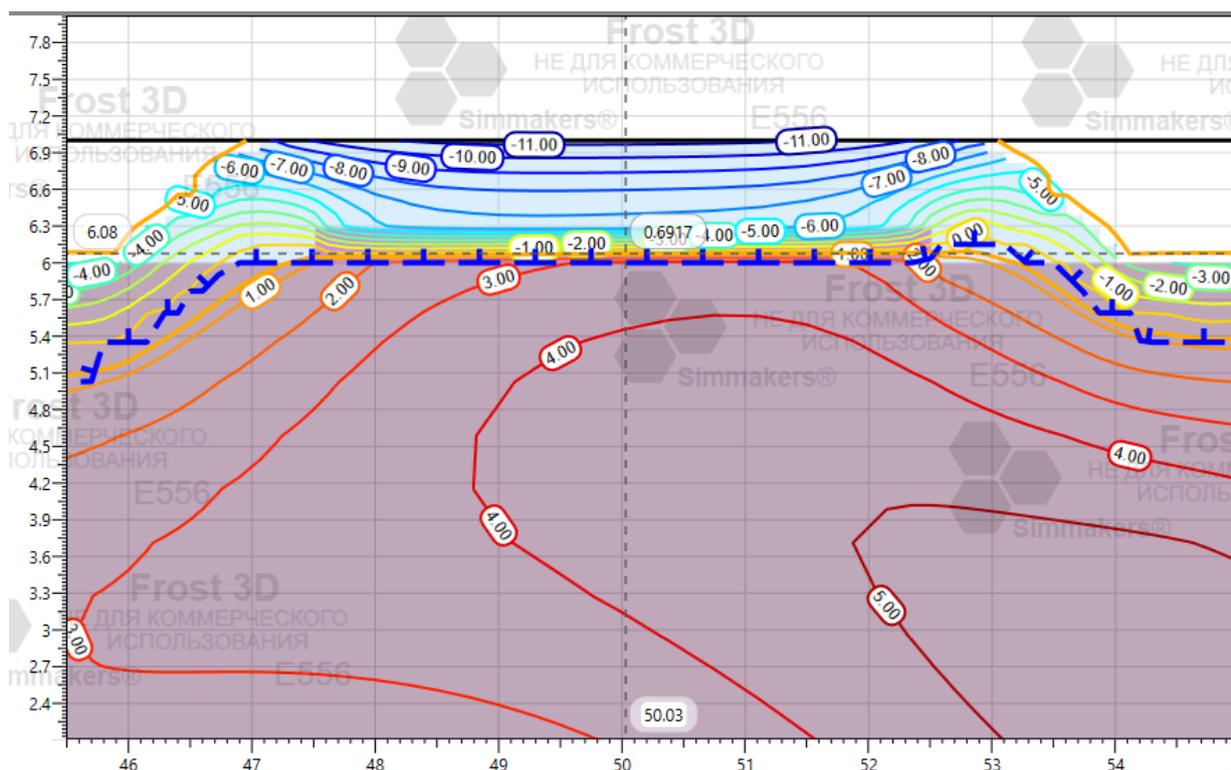


Рис. 4. Трехмерная геометрия земляного полотна  
Fig. 4. Three-dimensional geometry of the roadbed



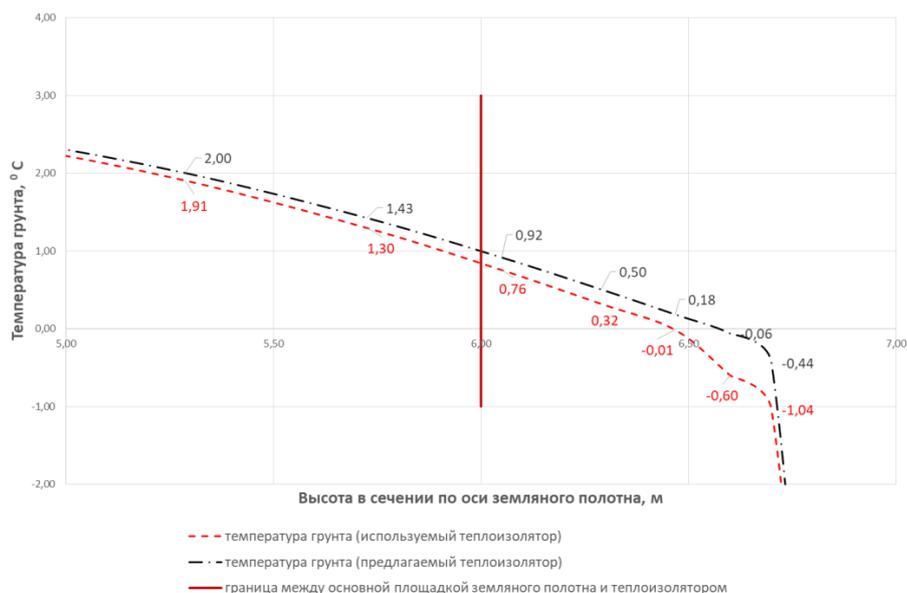
**Рис. 5.** Трехмерная визуализация температуры в сечении XZ расчетной области  
**Fig. 5.** Three-dimensional visualization of temperature in the XZ section of the computational domain



**Рис. 6.** Визуализация температурного поля в сечении расчетной области в виде температур  
**Fig. 6.** Visualization of the temperature field in the cross section of the calculated area in the form of temperatures

5. На глубине 0,5 м под обоими теплоизоляторами температура грунта повышается до 1,7–1,8 °С.

Следовательно, по теплотехническим свойствам предлагаемый композиционный материал на основе отходов производства не хуже существующих (рис. 7).



**Рис. 7.** Температура грунта на границе основной площадки земляного полотна и теплоизолятора с прогнозом до 15 декабря 2027 г.

**Fig. 7.** The temperature of the soil at the boundary of the roadbed site and the heat insulator with the forecast for December 15, 2027

## Заключение

Исходя из изложенного, основная цель данной работы, заключающаяся в оценке эффективности предложенных композиционных материалов с помощью проведения тепловых прогнозных расчетов, достигнута.

Применение предлагаемых композитов может быть целесообразно при необходимости полного выведения зоны промерзания (оттаивания) из пучинистых грунтов.

Кроме того, использование предлагаемого материала позволяет исключить ряд недостатков, возникающих в процессе работы с существующими теплоизоляционными материалами. Например, при укладке на основную площадку земляного полотна есть возможность его раскатывания. Над данной технологией еще нужно работать, что является целью будущих исследований.

## Список литературы

1. Кондратьев В.Г. Активные способы укрепления основания земляного полотна на вечномерзлых грунтах. Чита : Забтранс, 2001. 100 с.
2. Кондратьев В.Г. Стабилизация земляного полотна на вечномерзлых грунтах. Чита : Полиграф-Ресурс, 2011. 176 с.
3. Ковенькин Д.А., Валиев Н.А. Защита от деградации многолетнемерзлых грунтов на снегозаносимых участках // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 11. С. 23–26.
4. Принятие решений при выборе конструкций и параметров сезонных охлаждающих устройств / В.А. Подвербный, А.А. Перельгина, Л.Ю. Гагарин и др. // Образование – Наука – Производство : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чита, 2019. С. 147–160.
5. Кирпичников К.А., Дашинимаев З.Б., Баклаженко А.Г. Способ стабилизации земляного полотна в районах распространения вечной мерзлоты с применением инновационных материалов // Образование – Наука – Производство : материалы Всерос. науч.-практ. конф. Чита, 2018. Т. 1. С. 92–96.
6. Валиев Н.А., Кондратьев В.Г. Эксперименты по стабилизации земляного полотна на центральном участке Байкало-Амурской магистрали с помощью солнцезащитных навесов // Инженерная геология. 2015. № 4. С. 56–63.
7. Валиев Н.А., Кондратьев В.Г. Результаты опытно-экспериментальных работ по охлаждению многолетнемерзлых грунтов в основании железнодорожного пути на центральном участке БАМ // Материалы Пятой конференции геокриологов России. М, 2016. Т. 1. С. 168–175.
8. Валиев Н.А. Термокомплекс, защита от деградации оснований земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : материалы десятой Междунар. науч.-практ. конф. Иркутск, 2019. Т. 1. С. 538–541.
9. Road soil concrete based on stone grinder waste and wood waste modified with environmentally safe stabilizing additive / N. Konovalova, P. Pankov, D. Bespolitov et al. // Case Studies in Construction Materials. 2023. Vol. 19. DOI 10.1016/j.cscm.2023.e02318.

10. Structural Formation of Soil Concretes Based on Loam and Fly Ash, Modified with a Stabilizing Polymer Additive / N. Konovalova, P. Pankov, V. Petukhov et al. // *Materials*. 2022. Vol. 15. DOI 10.3390/ma15144893.
11. Overburden Recycling in Manufacture of Composite Materials for Road Construction at Mines / D.V. Bespolitov, N.A. Konovalova, P.P. Pankov et al. // *Journal of Mining Science*. 2023. Vol. 59. No 1. P. 167–175.
12. Повышение реакционной способности золошлаковых отходов с целью их утилизации в дорожном строительстве / Д.В. Бесполитов, П.П. Панков, Н.А. Коновалова и др. // *Молодая наука Сибири*. 2023. № 1 (19). С. 242–247.
13. Оценка пригодности золошлаковых отходов Забайкальского края для производства дорожно-строительных материалов / П.П. Панков, Н.Д. Шаванов, Д.В. Бесполитов и др. // *Экология и промышленность России*. 2023. Т. 27. № 5. С. 15–21.
14. Коновалова Н.А. Научное и практическое обоснование получения экологически безопасных строительных материалов на основе крупнотоннажных отходов производства : дис. ... д-ра. техн. наук. Иркутск, 2022. 373 с.
15. Панков П.П. Разработка экологически безопасных дорожно-строительных материалов на основе крупнотоннажных отходов производства : дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2021. 166 с.
16. СП 447.1325800.2019 Железные дороги в районах вечной мерзлоты. Основные положения проектирования : утв. приказом Минстроя РФ № 82/пр от 04.02.2019 (ред. 09.02.2023). Введ. 2019–08–05. М. : Минстрой России, 2019. 58 с.
17. СП 498.1325800.2020 Основания и фундаменты зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах. Требования к инженерной подготовке территории : утв. приказом Минстроя РФ № 910/пр от 30.12.2020. Введ. 2021–07–01. М. : Минстрой России, 2021. 42 с.
18. СП 25.13330.2020 Основания и фундаменты на вечноммерзлых грунтах : утв. приказом Минстроя РФ № 915/пр от 30.12.2020. Введ. 2021–07–01. М. : Минстрой России, 2020. 140 с.

### References

1. Kondrat'ev V.G. Aktivnye sposoby ukrepleniya osnovaniya zemlyanogo polotna na vechnomerzlykh gruntakh [Active methods of strengthening the foundation of the roadbed on permafrost soils]. Chita: Zabtrans Publ., 2001. 100 p.
2. Kondrat'ev V.G. Stabilizatsiya zemlyanogo polotna na vechnomerzlykh gruntakh [Stabilization of the roadbed on permafrost soils]. Chita: Poligraf-Resurs Publ., 2011. 176 p.
3. Koven'kin D.A., Valiev N.A. Zashchita ot degradatsii mnogoletnemerzlykh gruntov na snegozanosimykh uchastkakh [Protection from degradation of permafrost soils on snow-bearing areas]. *Put' i putevoe khozyaistvo* [Track and track facilities], 2021, no. 11, pp. 23–26.
4. Podverbnyi V.A., Pereylygina A.A., Gagarin L.Yu., Ural'skii D.A. Prinyatie reshenii pri vybore konstruktssii i parametrov sezonnykh okhlazhdayushchikh ustroystv [Decision-making when choosing designs and parameters of seasonal cooling devices]. *Materialy III Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Obrazovanie – Nauka – Proizvodstvo»* [Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference «Education – Science – Production»]. Chita, 2019, pp. 147–160.
5. Kirpichnikov K.A., Dashinimaev Z.B., Baklazhenko A.G. Sposob stabilizatsii zemlyanogo polotna v raionakh rasprostraneniya vechnoi merzloty s primeneniem innovatsionnykh materialov [A method for stabilizing the roadbed in permafrost distribution areas using innovative materials]. *Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Obrazovanie – Nauka – Proizvodstvo» (v 2 t)* [Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference «Education – Science – Production» (in 2 vol.)]. Chita, 2018, vol. 1, pp. 92–96.
6. Valiev N.A., Kondrat'ev V.G. Eksperimenty po stabilizatsii zemlyanogo polotna na tsentral'nom uchastke Baikalo-Amurskoi magistrali s pomoshch'yu solntseosadkozashchitnykh navesov [Experiments on the stabilization of the roadbed on the central section of the Baikal-Amur highway with the help of sunshade canopies]. *Inzhenernaya geologiya* [Engineering geology], 2015, no. 4, pp. 56–63.
7. Valiev N.A., Kondrat'ev V.G. Rezul'taty opytno-eksperimental'nykh rabot po okhlazhdeniyu mnogoletnemerzlykh gruntov v osnovanii zheleznodorozhnogo puti na tsentral'nom uchastke BAM [Results of experimental work on the cooling of permafrost soils at the base of the railway track on the central section of the Baikal-Amur magistral]. *Materialy Pyatoi konferentsii geokriologov Rossii* [Materials of the Fifth Conference of geocryologists of Russia]. Moscow, 2016, vol. 1, pp. 168–175.
8. Valiev N.A. Termokompleks, zashchita ot degradatsii osnovanii zemlyanogo polotna na mnogoletnemerzlykh gruntakh [Thermocomplex, protection from degradation of the foundations of the roadbed on permafrost soils]. *Materialy Desyatoi Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the Tenth International Scientific and Practical Conference «Transport infrastructure of the Siberian region»]. Irkutsk, 2019, vol. 1, pp. 538–541.
9. Konovalova N., Pankov P., Bespolitov D., Petukhov V., Panarin I., Fomina E., Lushpey V., Fatkulina A., Othman A. Road soil concrete based on stone grinder waste and wood waste modified with environmentally safe stabilizing additive. *Case Studies in Construction Materials*, 2023, vol. 19. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509523004989?via%3Dihub> (Accessed August 30, 2023).
10. Konovalova N., Pankov P., Petukhov V., Fediuk R., Amran M., Vatin N.I. Structural Formation of Soil Concretes Based on Loam and Fly Ash, Modified with a Stabilizing Polymer Additive. *Materials*, 2022, vol. 15. URL : <https://doi.org/10.3390/ma15144893> (Accessed August 30, 2023).
11. Bespolitov D.V., Konovalova N.A., Pankov P.P., Shavanov N.D. Overburden Recycling in Manufacture of Composite Materials for Road Construction at Mines. *Journal of Mining Science*, 2023, vol. 59, no. 1, pp. 167–175.
12. Bespolitov D.V., Pankov P.P., Konovalova N.A., Goroyan T.A. Povyshenie reaktivnoi sposobnosti zoloshlakovykh otkhodov s tsel'yu ikh utilizatsii v dorozhnom stroitel'stve [Increasing the reactivity of ash and slag waste for the purpose of their utilization in road construction]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young Science of Siberia], 2023, no. 1 (19), pp. 242–247.
13. Pankov P.P., Shavanov N.D., Bespolitov D.V., Konovalova N.A. Otsenka prigodnosti zoloshlakovykh otkhodov Za-

baikal'skogo kraya dlya proizvodstva dorozhno-stroitel'nykh materialov [Assessment of the suitability of ash and slag waste of the Trans-Baikal Territory for the production of road-building materials]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2023, vol. 27, no. 5, pp. 15–21.

14. Konovalova N.A. Nauchnoe i prakticheskoe obosnovanie polucheniya ekologicheskii bezopasnykh stroitel'nykh materialov na osnove krupnotonnazhnykh otkhodov proizvodstva [Scientific and practical justification of obtaining environmentally friendly building materials based on large-tonnage production waste]. Doctor's thesis. Irkutsk, 2022. 373 p.

15. Pankov P.P. Razrabotka ekologicheskii bezopasnykh dorozhno-stroitel'nykh materialov na osnove krupnotonnazhnykh otkhodov proizvodstva [Development of environmentally safe road-building materials based on large-tonnage production waste]. Ph.D.'s thesis. Irkutsk, 2021. 166 p.

16. SP 447.1325800.2019 Zheleznnye dorogi v rayonakh vechnoi merzloty. Osnovnye polozheniya proektirovaniya (red. 09.02.2023) [Set of rules 447.1325800.2019 Railways in the permafrost areas. General positions of projecting (ed. February 9, 2023)]. Moscow : Minstroj Publ., 2019. 58 p.

17. SP 498.1325800.2020 Osnovaniya i fundamenti zdaniy i sooruzhenii na mnogoletnemerzlykh gruntakh. Trebovaniya k inzhenernoj podgotovke territorii [Set of rules 498.1325800.2020 Soil bases and foundations of buildings and structures on permafrost soils. Requirements for land development of the area]. Moscow: Minstroj Publ., 2020. 42 p.

18. SP 25.13330.2020 Osnovaniya i fundamenti na vechnomerzlykh gruntakh, (Set of rules 25.13330.2020 Grounds and foundations on permafrost soils). Moscow: Minstroj Publ., 2020. 140 p.

### Информация об авторах

**Ковенькин Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: kovenkin\_da@irgups.ru.

**Туманов Дмитрий Олегович**, аспирант кафедры пути и путевого хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: tumanov.dmitry2014@yandex.ru.

**Шаванов Николай Дмитриевич**, аспирант кафедры техносферной безопасности, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: shavanov.nikolay@mail.ru.

### Information about the authors

**Dmitrii A. Koven'kin**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: kovenkin\_da@irgups.ru.

**Dmitrii O. Tumanov**, Ph.D. Student of the Department of Track and Track Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: tumanov.dmitry2014@yandex.ru.

**Nikolai D. Shavanov**, Ph.D. Student of the Department of Technosphere Safety, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: shavanov.nikolay@mail.ru.