

УДК 624.142
 DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-7-34-44

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ИЗ ГРАНУЛИРОВАННОЙ ПЕНОСТЕКЛОКЕРАМИКИ

STUDY OF FREEZING GROUND WITH THE APPLICATION OF HEAT INSULATION GRANULAR FOAMED GLASS CERAMICS



К. С. Иванов,
Институт криосферы Земли
ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень
sillicium@bk.ru



Д. Р. Галлямов,
Институт криосферы Земли
ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень
denis.gallyamov1@yandex.ru



З. Б. Дашинимаев,
ООО «Забтранспроект»,
г. Чита
9242742515zb@gmail.com

K. Ivanov,
Earth Cryosphere Institute, Tyumen
Scientific Center, SB RAS, Tyumen

D. Gallyamov,
Earth Cryosphere Institute, Tyumen
Scientific Center, SB RAS, Tyumen

Z. Dashinimaev,
Zabtransproekt Limited Liability
Company, Chita

Строительство инженерных сооружений в районах с сезонным промерзанием требует специальных мероприятий по снижению глубины промерзания грунтов в основаниях. В работе освещаются меры снижения сезонного промерзания и морозного пучения грунтов. Одной из мер по снижению морозного пучения является теплозащита грунтов, то есть устройство теплоизоляционных (морозозащитных) слоёв в конструкциях оснований инженерных сооружений. Проведено лабораторное моделирование сезонного промерзания грунта на специально разработанной экспериментальной установке, представляющей собой теплоизолированный грунтовый лоток с возможностью создания вертикального температурного градиента и свободного подтока воды к фронту промерзания. Исследованы динамика температуры, деформаций и распределение влажности в промерзающем грунте с применением поверхностных теплоизоляционных слоёв из гранулированной пеностеклокерамики (ГПСК) и экструзионного пенополистирола (ЭППС) в сравнении с грунтом без теплоизоляции. Применение ГПСК и ЭППС в одинаковой мере способствовало формированию в грунте водно-теплового режима, существенно снижающего развитие деформаций морозного пучения, несмотря на промерзание части грунта. В результате установлено существенное снижение глубины промерзания грунта и отсутствие деформаций морозного пучения в случаях применения теплоизоляционных материалов. Полученные данные свидетельствуют о сохранении в ходе эксперимента равного термического сопротивления слоёв двух типов теплоизоляции, несмотря на их разное строение. Подтверждается стабильность значения теплопроводности ГПСК при поверхностной теплоизоляции грунта. Показана взаимосвязь деформаций морозного пучения с распределением температуры и влажности по глубине грунта с учётом подтока воды к фронту промерзания. Эксперименты наглядно демонстрируют важность учёта взаимосвязи возникающего при этом водно-теплового режима с характером деформаций. Произведена промышленная апробация исследуемой модели с применением ГПСК при строительстве опытно-экспериментального участка автомобильной дороги «Бескозобово-Евсино-Ламенский» км 47+540 – км 47+690 (Тюменская область, Голышмановский район)

Ключевые слова: грунт; теплоизоляция; морозное пучение; сезонное промерзание; теплозащита грунтов; инженерные сооружения; гранулированная пеностеклокерамика; деформации; температурный градиент; теплопроводность

Engineering and construction in areas of seasonal freezing requires special measures to reduce the depth of soil freezing at the bases. The paper highlights the measures to reduce the seasonal freezing and frost heaving soils. One of the measures to reduce frost heaving soils is thermal protection, those, insulating device (antifreeze) layers in constructions engineering structures bases. The laboratory simulation seasonal freezing of soil at the specially designed experimental setup has been carried out, representing an insulated tray compactor to generate a vertical temperature gradient and a free inflow of water to the freezing front. The authors have investigated the dynamics of the temperature, humidity and strain distribution in frozen ground using a surface insulating layer of granular foamed glass ceramics (GFGC) and extruded polystyrene (EP) compared to the ground without thermal insulation. Application of GFGC and EP equally contributed to the formation in the ground water and thermal regime, significantly reduces the development of strains of frost heaving, despite the freezing of the soil. As a result found a significant reduction in the depth of soil freezing and frost heaving absence of deformations in cases of insulating materials. The findings suggest that maintaining during the experiment equal to the thermal resistance of the layers of two types of insulation, despite their different structure. The stability of thermal conductivity at the soil surface GFGC insulation is confirmed. The interrelation with the frost heaving deformation temperature and humidity distribution in the depth of soil, taking into account the inflow of water to the freezing front. The experiments demonstrate the importance of taking into account this relationship occurs when the water-heat mode character deformations. The industrial testing of the investigated model with the use of GFGC has been held during the construction of an experimental road section "Beskozobovo-Evsin-Lamensky" km 47 + 540–47 + 690 km (Tyumen region, Golyshmanovsky district)

Key words: soil; heat insulation; frost heaving; seasonal freezing; soils thermal insulation; engineering structures; granular foamed glass ceramics; strains; thermal gradient; thermal conductivity

Введение. Строительство инженерных сооружений в районах с сезонным промерзанием требует специальных мероприятий по снижению глубины промерзания грунтов в основаниях [11]. В Швеции затраты, связанные с ежегодной ликвидацией последствий морозного пучения земляного полотна автодорог, достигают 25 % от общего бюджета Национального управления автомобильных дорог (SwedishRoadAdministration).

Одной из мер по снижению морозного пучения является теплозащита грунтов, то есть устройство теплоизоляционных (морозозащитных) слоёв в конструкциях оснований инженерных сооружений. На практике с этой целью в основном применяются плиты из экструзионного пенополистирола (ЭППС) [7] и пеностекло в виде щебня (в основном за рубежом) [12; 13; 15]. Данные слои снижают глубину промерзания, что особенно важно при строительстве на пучинистых и обводнённых грунтах [7]. В последнем случае подток воды к фронту промерзания может существенно увеличить деформации пучения за счёт образования линз льда.

Появление новых теплоизоляционных материалов вызывает практический интерес с точки зрения их применения для теплоза-

щиты грунтов [2]. Например, наряду с ЭППС и пеностеклом, в теплоизоляции грунтов может найти применение гранулированная пеностеклокерамика (ГПСК) [6]. Внешний вид материала представлен на рис. 1. Это продукт термической переработки опал-кристобалитовых пород (диатомит, трепел, опока), месторождения которых распространены практически по всей территории России [8–10]. Производство материала может быть наложено как вблизи сырьевых карьеров, так и в зоне строительства объектов транспортной инфраструктуры – на мобильных заводах [1].

ГПСК не уступает по свойствам традиционному пеностеклу в виде щебня, обладая прочностью при сжатии 0,8...2,8 МПа, насыпной плотностью 200...350 кг/м³, теплопроводностью в сухом состоянии 0,07...0,09 Вт/(м·К) и водопоглощением по объёму менее 6 % (благодаря закрытой пористой структуре), по данным К. С. Иванова [3; 13]. Зернистое строение материала создаёт возможность укладки теплоизоляционных слоёв с применением механизированных средств, что особенно важно при строительстве линейных инженерных объектов (дорог, трубопроводов и т. д.).



Рис. 1. Внешний вид гранулированной пеностеклокерамики / Fig. 1. Appearance granular foam-glass ceramic

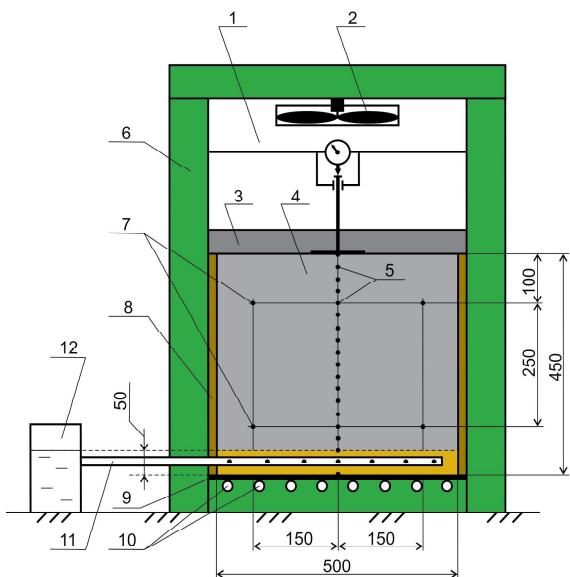


Рис. 2. Схема экспериментальной установки в разрезе (размеры даны в мм) / Fig. 2. The experimental setup in the aspect (dimensions in mm)

Таким образом, совокупность свойств ГПСК создаёт предпосылки применения материала для защиты грунтов оснований сооружений от сезонного промерзания. В связи с этим, цель работы состояла в исследовании воздействия теплоизоляционного слоя из гранулированной пеностеклокерамики на деформационные изменения промерзающего грунта, в равнении с ЭППС и грунтом без использования теплоизоляции.

Материалы и методика исследований. Моделирование промерзания проводилось на специально разработанной экспериментальной установке, представляющей собой теплоизолированный грунтовый лоток с возможностью создания вертикального температурного градиента (рис. 2) и свободного подтока воды к фронту промерзания. Последнее обусловлено тем, что под морозным пучением понимается деформация грунта не только за счёт кристаллизации поровой воды, но и за счёт воды, мигрирующей к фронту промерзания. Создание установки обусловлено возможностью получения результата в сжатые сроки, не прибегая к более затратному и длительному натурному эксперименту.

Основным элементом установки являетсяфанерный лоток 8 (высота 450 мм, размеры в плане 500×500 мм) с грунтом 4. Раз-

меры лотка принимались с учётом среднего размера зёрен ГПСК и толщины слоя теплоизоляции, превышавшего среднюю крупность фракции ГПСК в 8 раз и равного 60 мм. Примерно такое же соотношение сохранялось между сторонами лотка в плане и толщиной слоя 8,3.

Снаружи лоток изолирован плитами ЭППС 6 общей толщиной 150 мм с целью минимизации бокового температурного градиента. На поверхности грунта размещается слой теплоизоляционного материала 3. Вертикальный температурный градиент в лотке с грунтом возникает за счёт разности температур в морозильной камере 1 и системе терmostатирования дна лотка. Последняя выполнена в виде восьми медных трубок 10 (диаметр 10 мм), вмонтированных в нижнюю часть установки и прилегающих к стальному листу 9 в основании лотка. Лист служит для равномерной передачи температуры от трубок 10 к грунту. Трубки 10 соединяются с лабораторным термостатом, обеспечивающим циркуляцию в них теплоносителя, образуя замкнутую систему поддержания постоянной температуры на дне лотка. Равномерное распределение температуры в морозильной камере обеспечивается вентилятором 2.

Снизу в грунтовый лоток вмонтирована перфорированная трубка 11 для поддержа-

ния постоянной влажности талой части грунта и обеспечивающая естественный подток воды к фронту промерзания. Уровень воды, равный 5 см, поддерживается с помощью резервуара 12, соединённого с трубкой 11 (см. рис. 2). Трубка уложена в слой крупнозернистого песка толщиной 5 см.

По вертикальной оси лотка с интервалом 2,5 см размещаются термопары 5 (19 штук). Вспомогательные термопары 7 фиксируют боковой температурный градиент. Измерение температуры воздуха в морозильной камере 1 выполняется с помощью отдельного температурного датчика. В помещении, в котором располагалась установка, поддерживалась постоянная температура $20 \pm 0,2$ °C. Система измерения температуры включала также аналого-цифровой преобразователь ИП-2 (АО «НПО-Эталон», Россия) с абсолютной погрешностью в диапазоне проводимых измерений $\pm 0,1$ °C.

Измерение деформаций пучения проводилось с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм (см. рис. 2). Индикатор неподвижно крепится к стенкам морозильной камеры 1. Шток прибора касается стального стержня, который имеет свободное вертикальное перемещение и передаёт деформации грунта через слой теплоизоляции, опираясь на стальную пластину.

В исследованиях использовались теплоизоляционные слои из плит ЭППС толщиной 3 см (средняя плотность – 35 кг/м³) и из ГПСК фракции 5...10 мм (средняя крупность фракции – 7,5 мм, насыпная плотность – 300 кг/м³). Значения теплопроводности плит ЭППС и ГПСК составляли 0,035 и 0,086 Вт/(м·К) соответственно. В связи с тем, что теплопроводность ГПСК почти вдвое выше, чем у ЭППС, толщина слоя теплоизоляции в экспериментах принималась 6 и 3 см соответственно для ГПСК и ЭППС, что обеспечивает примерно равное термическое сопротивление.

Грунт представлен песком и имел следующие характеристики:

1) массовое содержание частиц размером до 0,1 мм составляло 78 %, по гранулометрическому составу грунт относится к пескам мелким;

2) коэффициент пористости составлял 0,61, по данному критерию грунт относится к песку средней плотности;

3) степень засолёности среднерастровыми солями составляла 4,5 %, следова-

тельно, песок характеризуется как слабо засолёный.

Песок укладывался послойно, с соблюдением коэффициента уплотнения $0,95 \pm 0,01$. Поверх грунта укладывался теплоизоляционный слой 3 (см. рис. 2), после чего в морозильной камере 1 задавалась температура $-9 \pm 0,2$ °C, а в жидким хладагенте системы терmostатирования дна лотка $+0,5 \pm 0,1$ °C. Температура измерялась непрерывно, вплоть до формирования в лотке с грунтом стационарного температурного поля. Ввиду того, что расхождение показаний между основными и контрольными температурными датчиками на одной глубине не превышало $\pm 0,2$ °C, можно судить о формировании в грунте практически одномерного теплового потока.

В конце каждого эксперимента определялись изменения влажности грунта по глубине с применением стандартной методики. Начальная весовая влажность грунта при укладке в лоток составляла 15 %. Перед запуском охлаждающих устройств экспериментальной установки проводилась выдержка массива грунта до стабилизации температуры в пределах $20 \pm 0,2$ °C.

В зависимости от типа теплоизоляции эксперименты имели следующую маркировку: грунт без теплоизоляции – S, изолированный ЭППС – E, изолированный ГПСК – G.

Результаты исследования и их обсуждение. На первом этапе работы исследовался характер промерзания песка без применения теплоизоляции. На рис. 3а представлен фрагмент динамики температуры на глубинах 2,5...25 см. По истечении 90 ч все температурные кривые выравниваются вдоль горизонтальной оси графика, что свидетельствует об окончании процесса промерзания и формировании в грунте стационарного температурного поля.

Резкий перегиб кривой, соответствующей глубине 2,5 см говорит о тепловыделении нижележащих слоёв грунта при фазовом переходе вода–лёд. На глубинах 5...20 см отмечается более плавный перегиб, сглаживающийся с увеличением глубины. Характер кривых говорит о постепенном промерзании массива грунта сверху вниз, причём скорость промерзания постоянно изменялась в ходе процесса. В течение первых 30 ч скорость промерзания составляла в среднем

1,7 мм/ч, при этом грунт промёрз на 5 см. В последующий период с 30 до 45 ч скорость промерзания составляла в среднем 6,7 мм/ч и грунт промёрз с 5 до 15 см. Затем скорость промерзания заметно снизилась, в среднем

до 2,2 мм/ч, чему соответствовало промерзание грунта с 15 до 25 см. Интерполируя данные графика на рис. За близи 0 °С, установлено, что глубина промерзания через 90 ч составила 25 см.

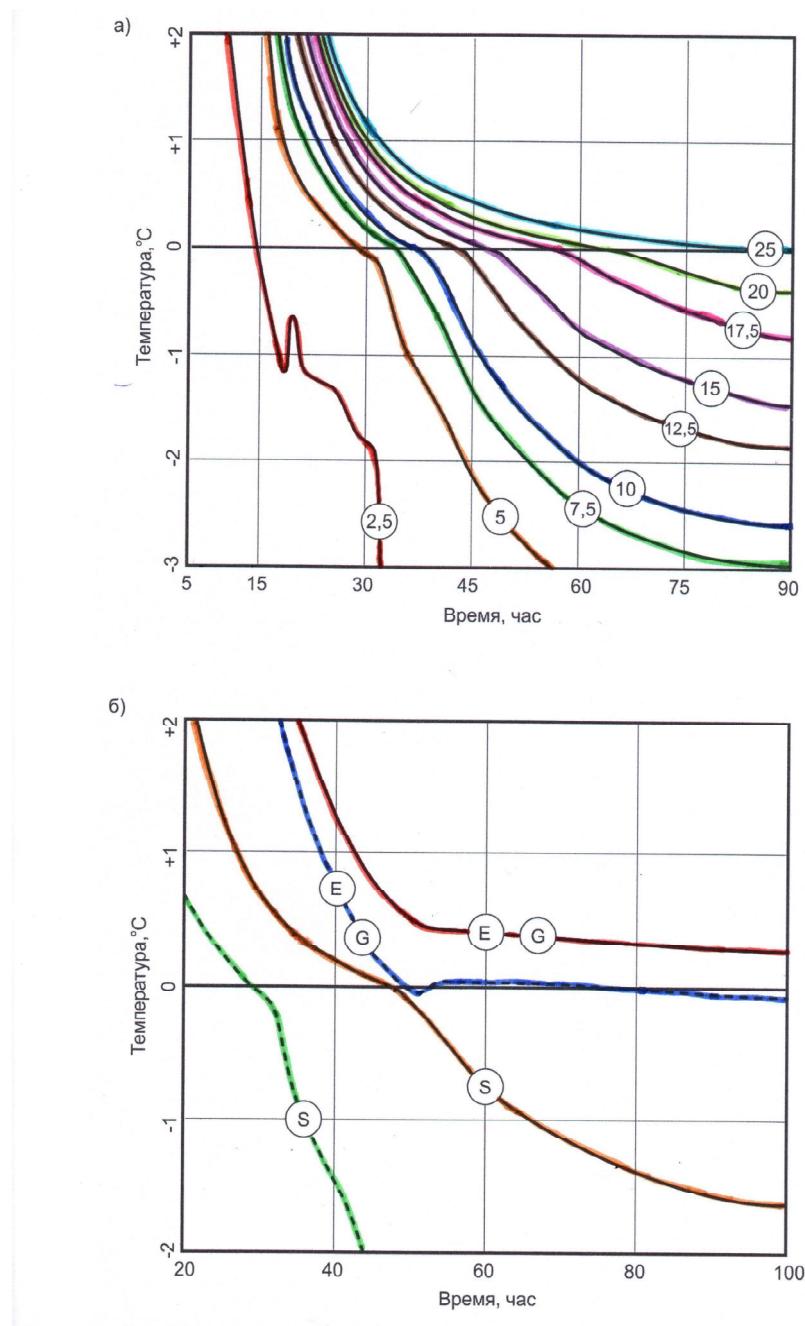


Рис. 3. Динамика температуры: а – для эксперимента S (числа в кружках соответствуют глубинам, см); б – для экспериментов Е и G в сравнении с S (пунктирные кривые соответствуют глубине 5 см, сплошные – 15 см) / Fig. 3. Temperature Dynamics: a – for the experiment S (numbers in circles correspond to depths, cm); b - for experiments G and E in comparison to S (the dashed curves correspond to the depth of 5 cm, and the solid – 15 cm)

Динамика деформаций песка представлена на рис. 4 (кривая S). В начале эксперимента наблюдается деформация сжатия грунта (около $-0,4$ мм), которая развивается до 25 ч, несмотря на то, что к этому времени грунт промёрз на глубину 4 см (согласно рис. 3а). Видимо, деформации пучения начинают развиваться наряду со сжатием в результате подтока воды и уплотнения частиц грунта под собственным весом. Аналогичные деформации сжатия наблюдались в экспериментах по промораживанию супеси в условиях подтока воды [5].

После 25 ч уровень грунта принимает исходное положение за счёт нарастания морозного пучения, которое активно развивается вплоть до 50 ч и практически затухает к 90 ч, достигая значения 1,65 мм. Анализ графиков на рис. 3а и 4 позволяет судить о том, что наиболее интенсивный рост деформаций пучения, равный 2,05 мм (изменение с $-0,4$ до 1,65 мм), происходил при промерзании на глубине 5...15 см. Промерзание на глубине 15...25 см практически не сопровождалось ростом деформаций пучения.

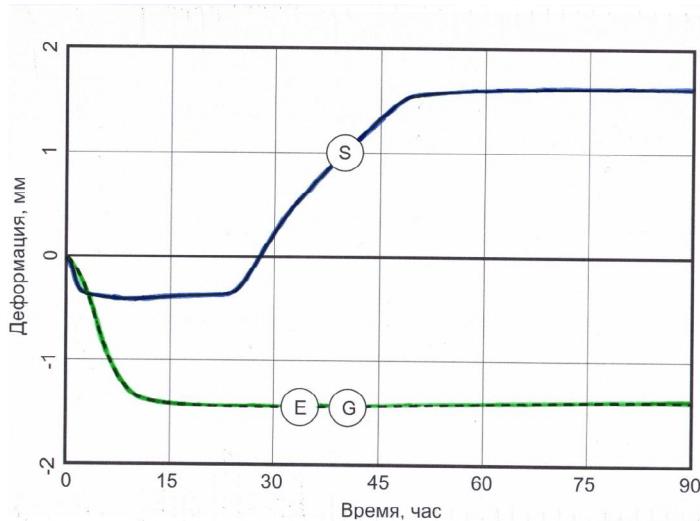


Рис. 4. Динамика деформаций грунта (маркировка кривых соответствует экспериментам) /
Fig. 4. The Dynamics of ground deformations (curves corresponds labeling experiments)

Распределение влажности по глубине грунта характеризует незначительный подток воды к верхним слоям: на глубинах 10 и 20 см влажность увеличилась до 17 %, на глубинах 30 и 40 см влажность грунта составила соответственно 21 и 40 %, видимо, за счёт естественного подтока воды под действием капиллярных сил. Таким образом, промерзание до максимальной глубины 25 см не сопровождалось существенным подтоком воды к фронту промерзания и деформация пучения в основном связана с увеличением объёма поровой воды.

В дальнейшем исследовалось промерзание грунта с применением теплоизоляции. Динамика температуры для экспериментов Е и G представлена одной кривой (рис. 3б) ввиду незначительных различий, находящихся в пределах ошибки измерения температуры. В сравнении с песком без изоляции, отмеча-

ется значительно более позднее начало промерзания верхнего слоя на глубине 5 см: 47 против 30 ч. Таким образом, скорость охлаждения верхнего слоя грунта снижается примерно в 1,6 раза.

Путём интерполяции данных графика на рис. 3б, установлено, что глубина промерзания в случаях Е и G составила $7 \pm 0,5$ см (против 25 см в эксперименте S). Несмотря на это, деформации морозного пучения грунта, характерные для случая S, отсутствуют. Кривая деформаций, соответствующая случаям Е и G на рис. 4, свидетельствует о сжатии грунта в ходе экспериментов в среднем до $-1,5$ мм. Развитие деформации сжатия грунта происходило в первые 10 ч эксперимента. Видимо, деформации сжатия превалировали над деформациями пучения ввиду незначительной глубины промерзания.

Картина распределения влажности по глубине для случаев Е и G соответствует эксперименту S с той разницей, что на глубинах 10 и 20 см влажность составляла около 15,5 %, что говорит об отсутствии подтока воды к фронту промерзания. На глубинах 30 и 40 см прослеживаются значения влажности грунта, аналогичные эксперименту S.

Таким образом, применение ГПСК и ЭППС в одинаковой мере способствовало формированию в грунте водно-теплового режима, существенно снижающего развитие деформаций морозного пучения, несмотря на промерзание части грунта.

Промышленная апробация исследуемой модели с применением ГПСК. По результатам проведённых исследований Государственным казённым учреждением Тюменской области «Управление автомобильных дорог» совместно с правительством Тюменской области определён участок ремонта автомобильной дороги «Бескозобово—Евсино—Ламенский» км 47+540 – км 47+690 (Тюменская область, Голышмановский район) для про-

мышленной апробации исследуемой модели с применением ГПСК. Опытно-экспериментальный участок разделён на две секции: традиционная конструкция, применяемая в данном регионе, без теплоизоляционного слоя и конструкция с теплоизоляционным слоем из ГПСК 25 см.

По проекту дорожная одежда опытно-экспериментальных участков имеет следующее строение (рис. 5):

- 1) верхний слой покрытия из асфальтобетонной смеси марки II, тип Б, толщина 5 см;
- 2) нижний слой покрытия из крупнозернистой асфальтобетонной смеси марки II, толщина 7 см;
- 3) верхний слой основания из щебня, толщина 15 см;
- 4) нижний слой основания из щебня, толщина 15 см.

5) теплоизоляционный слой из ГПСК толщиной 25 см, прикрытый сверху и снизу прослойкой из НСМ «Дорнит-2». Процесс укладки теплоизоляционного слоя из ГПСК в одну из секций участка автомобильной дороги представлен на рис. 6.

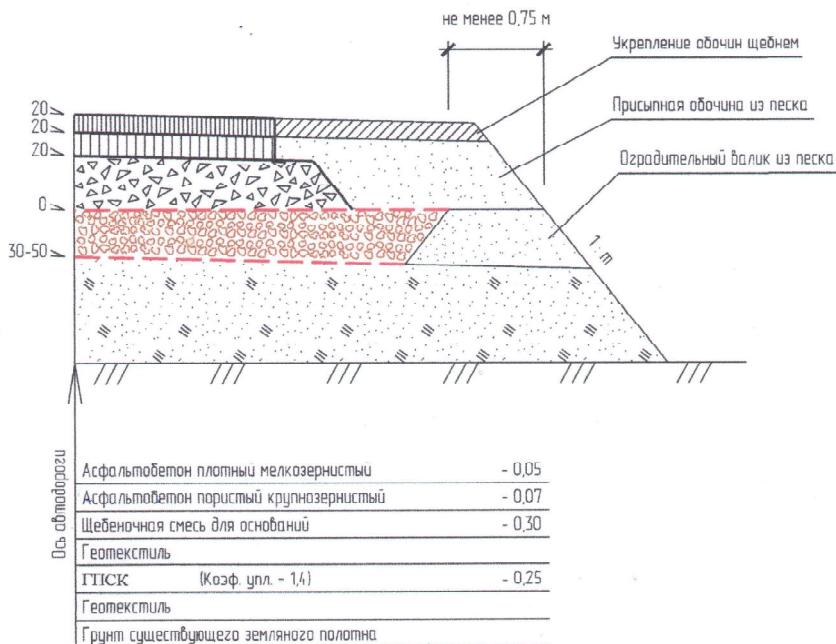


Рис. 5. Конструкция дорожной одежды, принятая при промышленной апробации исследуемой модели с применением ГПСК / Fig. 5. The pavement structure adopted for industrial testing of the studied model using GPSK



Рис. 6. Процесс укладки теплоизоляционного слоя из ГПСК в одну из секций участка автомобильной дороги / Fig. 6. The process of laying insulation layer GPSK in one of the sections of the road section

Опытно-экспериментальный участок автомобильной дороги «Бескозобово-Евсино-Ламенский» км 47+540 – км 47+690 (Тюменская область, Голышмановский район) расположен в дорожно-климатической зоне – III, в дорожно-климатической зоне – III¹, тип местности по рельефу – равнинные районы. Район проведения работ характеризуется длительными и сильными морозами в зимний период года. Данное обстоятельство значительно влияет на глубину промерзания дорожной конструкции. Глубина промерзания под дорожной одеждой значительно больше, чем на притрассовых участках, на которых роль теплоизолятора играет большой снежный покров. С основной площадки дороги снег счищается снегоуборочной техникой, и холодные температуры воздуха через дорожную одежду беспрепятственно передаются на грунты насыпи и естественного основания.

Грунты насыпи и основания перенасыщены влагой. Низкая насыпь и высокий уровень грунтовых вод предполагают капиллярное поднятие влаги к нижней границе дорожной одежды. Также на влагонакопление грунтов насыпи влияют обильные осадки, застаивающиеся воды вдоль насыпи, подсос влаги к границе промерзания.

Для весеннего и осеннего сезонов характерна неустойчивая погода с резкими колебаниями температуры воздуха. Тёплая

погода сменяется резкими похолоданиями и наоборот (суточное или периодичное колебание). Данный факт говорит о многократно повторяющихся циклах промерзания/оттаивания. Грунты за небольшой период времени могут переходить в разные состояния: мёрзлое, текучее. Это ведёт к многократным процессам морозного пучения и разуплотнению грунтов насыпи под дорожной одеждой.

Местные грунты, используемые при строительстве земляного полотна автомобильных дорог в районе проведения работ, являются типичными представителями лёссовидных отложений, широко распространённых в пределах южной части Западной Сибири. Мощность лёссовидных пород юга области составляет 3...8 м, породы уплотнены, по гранулометрическому составу преобладают средние и тяжёлые суглинки, реже – глины. В гранулометрическом составе отмечается типичное для лёссовидных отложений достаточно высокое содержание пылевидной фракции.

Наличие разрушений дорожной одежды и отремонтированных участков говорит о многократно повторяющихся процессах морозного пучения грунтов насыпи и естественного основания. Внешними признаками пучинистых мест в зимний период являются неравномерное поднятие участков покрытия, образование отдельных бугров или группы бугров на покрытии. Значительная часть из

них имеет сетку трещин, концентрирующуюся у вершины бугров пучения, которые разрушают покрытие на отдельные куски различной величины и формы. Образование пучин может развиваться как по ширине проезжей части, так и вдоль неё. В весенний период после схода снега на пучинистых участках могут появляться влажные пятна, а также волнообразные колебания дорожной конструкции при наезде тяжеловесных транспортных средств. Эти участки имеют, как правило, значительно пониженную прочность и интенсивно разрушаются.

Анализ проведённых исследований на автомобильной дороге «Бескозобово-Евсино-Ламенский» показал, что основной причиной появления деформаций на дорожном покрытии является пучение сезонно промерзающих пылеватых грунтов земляного полотна.

Для обеспечения стабильной работы земляного полотна в рассматриваемых условиях необходимы мероприятия по снижению или полному исключению промерзания дорожной конструкции.

Выводы. Применение теплоизоляционных слоёв из ГПСК и ЭППС показало одинаковое распределение температуры в грунте и снижение глубины промерзания в сравнении с песком без изоляции с 26 до 7 см. Получен-

ные данные свидетельствуют о сохранении в ходе эксперимента равного термического сопротивления слоёв двух типов теплоизоляции, несмотря на их разное строение. Подтверждается стабильность значения теплопроводности ГПСК при поверхностной теплоизоляции грунта.

Деформация пучения песка без изоляции составила 1,65 мм, тогда как в экспериментах с ЭППС и ГПСК наоборот, наблюдается сжатие грунта и снижение скорости промерзания верхних слоёв в 1,6 раза.

Эксперименты наглядно демонстрируют не только эффективность применения ГПСК наряду с ЭППС для снижения глубины промерзания, но и важность учёта взаимосвязи возникающего при этом водно-теплового режима с характером деформаций.

По проведённым теоретическим и экспериментальным исследованиям для практической реализации предложена оптимальная модель дорожной конструкции с применением ГПСК в основании дорожной одежды для предотвращения процессов морозного пучения в грунтах земляного полотна на пучинистых участках. Предложенная конструкция применима для ремонта, реконструкции, а также нового строительства автомобильных дорог и земляного полотна железных дорог.

Список литературы

1. Коротков Е. А., Константинов А. О., Смирнов П. В. Европейский опыт использования пеностекла в дорожном строительстве. Перспективы использования аналогичных материалов в РФ // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2015. № 1. С. 58–61.
2. Мельников В. П., Мельникова А. А., Аникин Г. В., Иванов К. С., Спасенникова К. А. Инженерные решения в строительстве на вечной мерзлоте в плане повышения энергоэффективности сооружений // Криосфера Земли. 2014. Т. 18, № 3. С. 82–90.
3. Мельникова А. А., Коротков Е. А., Константинов А. О., Смирнов П. В., Иванов К. С. Новые материалы для строительства инженерных объектов в сложных природных условиях Сибири // Водные ресурсы и ландшафтно-усадебная урбанизация территорий России в XXI веке: сборник докладов XVII Международной научно-практической конференции. Тюмень, 2015. Т. 1. С. 249–253.
4. Минько Н. И., Пучка О. В., Евтушенко Е. И., Нарцев В. М., Сергеев С. В. Пеностекло – современный эффективный неорганический теплоизоляционный материал // Фундаментальные исследования. 2013. № 6-4. С. 849–854.
5. Невзоров А. Л., Коршунов А. А., Чуркин С. В. Методы оценки степени пучинистости грунтов с использованием современных приборов // Инженерные изыскания. 2013. № 5. С. 52–56.
6. Патент № 2569138 РФ. МПК C04B38/00. Способ получения пористого строительного материала / К. С. Иванов, В. П. Мельников; заявитель и патентообладатель – Тюменское инновационное предприятие Института криосферы-1; № 2014144842; заявл. 10.11.2014; опубл. 26.10.2015. 4 с.
7. Российский рынок полистирольной теплоизоляции // ABARUS Market Research. URL: <http://www.stroyka.ru> (дата обращения: 12.03.2019). Текст: электронный.
8. Смирнов П. В. Западно-Сибирская провинция опал-кристобалитовых пород – минерально-сырьевая база многоцелевого назначения // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Тюмень, 2013. С. 80–82.

9. Смирнов П. В. Объекты поисковых работ на кремнистые породы на юге Тюменской области //Современные исследования в геологии: сборник статей. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета, 2015. С. 42–44.
10. Смирнов П. В., Иванов К. С., Константинов А. О. Литология пород тургасской свиты и возможности их использования в качестве сырья для производства пеностеклокерамики на примере Успенской площади (Тюменская область) // Известия Томского политехнического университета. 2015. № 7. С. 112–120.
11. Чеверев В. Г., Бурнаев Р. С., Гагарин В. Е., Сафонов Е. В. Влияние внешней нагрузки на степень морозной пучинистости глинистых грунтов // Криосфера Земли. 2013. № 4. С. 45–51.
12. Auvinen T., Pekkala J., Forsman J. Covering the highway e12 in the centre of Hämeenlinna – innovative use of foamed glass as light weight material of approach embankment // The XXVIII International Baltic Road Conference. Vilnius, 2013. 10 p.
13. Ivanov K. S., Radaev S. S., Selezneva O. I. Diatomites in granular foam-glass technology // Glass and Ceramics. 2014. No. 71. P. 157–161.
14. M-Lapage J. Thermal Performance of the Permafrost Protection Techniques at Beaver Creek Experimental Road Site, Yukon, 2013.
15. Yan H. Y., Zhao G. T., Cai D. G. Investigation of insulation layer dynamic characteristics for high-speed railway // Sciences in Cold and Arid Regions. 2015. Vol. 7, No. 4. P. 430–437.

References

1. Korotkov E. A., Konstantinov A. O., Smirnov P. V. *Nauchnye problem transporta Sibiri i Dalnego Vostoka* (Scientific problems of transport in Siberia and the Far East), 2015, no. 1, pp. 58–61.
2. Melnikov V. P., Melnikova A. A., Anikin G. V., Spasennikova K. A. *Kriosfera Zemli* (Earth cryosphere), 2014, vol. 18, no. 3, pp. 82–90.
3. Melnikova A. A., Korotkov E. A., Konstantinov A. O., Smirnov P. V., Ivanov K. S. *Vodnye resursy i landshaftno-usadebnaya urbanizatsiya territoriy Rossii v XXI veke: sb. dokl. XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* (Water resources and landscape estate. urbanization of Russian territories in the XXI century: Sat. doc. XVII International scientific-practical conf.). Tyumen, 2015, vol. 1, pp. 249–253.
4. Minko N. I., Puchka O. V., Evtushenko E. I., Nartsev V. M., Sergeev S. V. *Fundamentalnye issledovaniya* (Basic researches), 2013, no. 6–4, pp. 849–854.
5. Nevezorov A. L., Korshunov A. A., Churkin S. V. *Inzhenernye izyskaniya* (Engineering Surveys), 2013, no. 5, pp. 52–56.
6. Patent № 2569138 RF: MPK C04B38/00. *Sposob polucheniya poristogo stroitel'nogo materiala* (Patent No. 2569138 of the Russian Federation: IPC C04B38 / 00. A method of obtaining a porous building material); K. S. Ivanov, V. P. Melnikov; applicant and patent holder – Tyumen Innovation Enterprise of the Institute of Cryosphere-1; no. 2014144842; declared 10.11.2014; publ. 26.10.2015, 4 p.
7. Rossiyskiy rynok polistirolovoi teploizolyatsii (The Russian market of polystyrene thermal insulation) // ABARUS Market Research. URL: <http://www.stroyka.ru> (Date of access: 12.03.2019). Text: electronic.
8. Smirnov P. V. *Novye tekhnologii – neftegazovomu regionu: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (New technologies for the oil and gas region: materials of the All-Russian scientific and practical conference). Tyumen, 2013, pp. 80–82.
9. Smirnov P. V. *Sovremennye issledovaniya v geologii: sbornik statey* (Modern research in geology: collected articles). St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University, 2015, pp. 42–44.
10. Smirnov P. V., Ivanov K. S., Konstantinov A. O. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* (Bulletin of the Tomsk Polytechnic University), 2015, no. 7, pp. 112–120.
11. Cheverev V. G., Burnaev R. S., Gagarin V. E., Safronov E. V. *Kriosfera Zemli* (Cryosphere of the Earth), 2013, no. 4, pp. 45–51.
12. Auvinen T., Pekkala J., Forsman J. *The XXVIII International Baltic Road Conference* (The XXVIII International Baltic Road Conference). Vilnius, 2013, 10 p.
13. Ivanov K. S., Radaev S. S., Selezneva O. I. *Glass and Ceramics* (Glass and Ceramics), 2014, vol. 71, pp. 157–161.
14. M-Lapage J., *Thermal Performance of the Permafrost Protection Techniques at Beaver Creek Experimental Road Site* (Thermal Performance of the Permafrost Protection Techniques at Beaver Creek Experimental Road Site. Yukon, 2013.
15. Yan H. Y., Zhao G. T., Cai D. G. *Sciences in Cold and Arid Regions* (Sciences in Cold and Arid Regions), 2015, vol. 7, no. 4, pp. 430–437.

Коротко об авторах

Иванов Константин Сергеевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, Губернская академия, г. Тюмень, Россия. Область научных интересов: разработка энергоэффективных материалов с высокими эксплуатационными характеристиками для термостабилизации грунтов и оснований инженерных сооружений, с применением минерального природного и техногенного сырья
sillicium@bk.ru

Галлямов Денис Расимович, аспирант, Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, г. Тюмень, Россия. Область научных интересов: исследование и оценка влияния физико-механических свойств теплоизолирующих систем, в зависимости от климатических и технологических факторов
denis.gallyamov1@yandex.ru

Дашинимаев Зоригто Батомункуевич, главный геолог, ООО «Забтранспроект», г. Чита, Россия. Область научных интересов: инженерная геокриология, прогноз инженерно-геокриологических процессов
9242742515zb@gmail.com

Briefly about the authors

Konstantin Ivanov, candidate of technical sciences, senior researcher, Institute of the Earth Cryosphere, Tyumen Scientific Center, SB RAS, Tyumen, ANO "Provincial Academy", Tyumen, Russia. Sphere of scientific interests: development of energy efficient materials with a high performance for thermal stabilization of soils and engineering structures base, with mineral natural and technogenic raw materials

Denis Gallyamov, postgraduate, Tyumen Scientific Center of the SB RAS, Tyumen, Russia. Sphere of scientific interests: study and evaluation of the influence of physical - mechanical properties of thermal insulation systems, depending on the climate and technological factors

Zorigto Dashinimaev, chief geologist, Zabtransproekt Limited Liability Company, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: engineering geocryology, prediction of engineering- geocryological processes

Работа выполнена по госзаданию, согласно Плану НИР ТюмНЦ СО РАН на 2018–2020 гг., протокол № 2 от 08.12.17 г.
(Приоритетное направление IX.135. Программа IX.135.2 Проект: IX.135.2.4. Физико-механические и физико-химические модели эволюции состояния природно-технических систем в криосфере Земли)

Образец цитирования

Иванов К. С., Галлямов Д. Р., Дашинимаев З. Б. Исследование промерзания грунта с применением Теплоизоляции из гранулированной пеностеклокерамики // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 7. С. 34–44. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-7-34-44.

Ivanov K., Gallyamov D., Dashinimaev Z. Study of freezing ground with the application of heat insulation granular foamed glass ceramics // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 7, pp. 34–44. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-7-34-44.

Статья поступила в редакцию: 13.08.2019 г.
Статья принята к публикации: 03.09.2019 г.