

Kuznetsov Sergey Mikhaylovich (Russian Federation, Novosibirsk) – doctor of technical sciences, the senior research associate, the associate professor «Technology, the organization and economy of construction»; Siberian Government University of railways (630049, Novosibirsk, D. Kovalchuk St., 191, e-mail: ksm56@yandex.ru).

Kazakov Vitaly Anatolyevich (Russian Federation, Omsk) – candidate of economic sciences of the acting department chair «The organization and technology of construction» of The Siberian automobile and highway

academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: k9139742550@gmail.com).

Alekseev Nikolay Evgenyevich Russian Federation, Omsk) – candidate of economic sciences, the associate professor «Commerce, marketing and advertising» NOU Omsk Humanitarian Academy, (644115, Omsk, st. 4 Chelyuskins, 2a); associate professor «General economy» of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) t, 644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: oeip@mail.ru.

УДК 625.731.9

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИИ

Е.А. Коротков, К.С. Иванов

Институт криосферы Земли СО РАН, Россия, г. Тюмень;

АНО «Губернская академия», Россия, г. Тюмень;

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный университет», Россия, г. Тюмень.

Аннотация. В статье приведено описание экспериментального стенда для проведения испытаний на морозоустойчивость дорожных конструкций. Уделено внимание возможностям стенда. Предлагаемый экспериментальный стенд позволяет в лабораторных условиях моделировать процессы промерзания/оттаивания грунтов земляного полотна, проводить измерения температурного режима и механической устойчивости многослойных конструкций автомобильных дорог, а также оценить эффективность разных теплоизоляторов, используемых в качестве морозозащитного слоя в конструкциях автомобильных дорог.

Ключевые слова: экспериментальный стенд, сезонное промерзание, морозозащитный слой, теплоизоляционные материалы.

Введение

Повреждения транспортных сооружений, обусловленные морозным пучением грунтов земляного полотна, являются характерными проблемами дорожного строительства для регионов с сезонным промерзанием грунтов (I, II, III и IV дорожно-климатические зоны Российской Федерации). Так, предотвращение разрушений транспортных сооружений в результате морозного пучения грунтов является актуальным для 90% площади РФ [1,2].

Интенсивность негативных последствий глубокого промерзания на объектах транспортной инфраструктуры напрямую зависит от устойчивости многослойных дорожных конструкций к циклам промерзания/оттаивания. В течение последних десятилетий различные технические решения использовались для снижения последствий морозного пучения. Наиболее эффективным методом борьбы с морозным пучением является устройство

морозозащитного слоя в основании дорожной одежды.

К основным теплоизоляционным строительным материалам, используемым для устройства морозозащитных слоев в дорожных конструкциях РФ, относятся: пенополистирольные плиты, легкие бетоны, теплоизоляционные композиции из укрепленных вяжущими местными материалами (грунтов) или отходов промышленности и пористых заполнителей (керамзит, перлит, аглопорит, гранулы полистирола, измельченные отходы пенопласта) и др. [3,4,5,6]. Данные материалы способны снизить глубину промерзания, тем самым минимизировать процессы морозного пучения.

Современные подходы к выбору теплоизоляционных материалов для дорожного строительства далеко не всегда демонстрируют необходимую эффективность борьбы с морозным пучением. Улучшение состояния транспортной инфраструктуры предполагает совершенствование подходов к

проектированию морозозащитных слоев и детального исследования влияния теплоизоляционных материалов на регулирование глубины промерзания грунта земляного полотна.

Разработка экспериментального стенда

С целью изучения влияния морозозащитного слоя на глубину промерзания дорожной конструкции в лаборатории тепломассообменных явлений ИКЗ СО РАН был разработан

экспериментальный стенд, который позволяет в лабораторных условиях моделировать процессы промерзания/оттаивания грунтов земляного полотна и проводить измерения температурного режима и механической устойчивости многослойных конструкций автомобильных дорог.

Внешний вид экспериментального стенда представлен на рисунке 1. Общая схема приведена на рисунке 2.



Рис. 1. Внешний вид экспериментального стенда: А – основная часть экспериментального стенда, Б – контрольно-измерительное оборудование

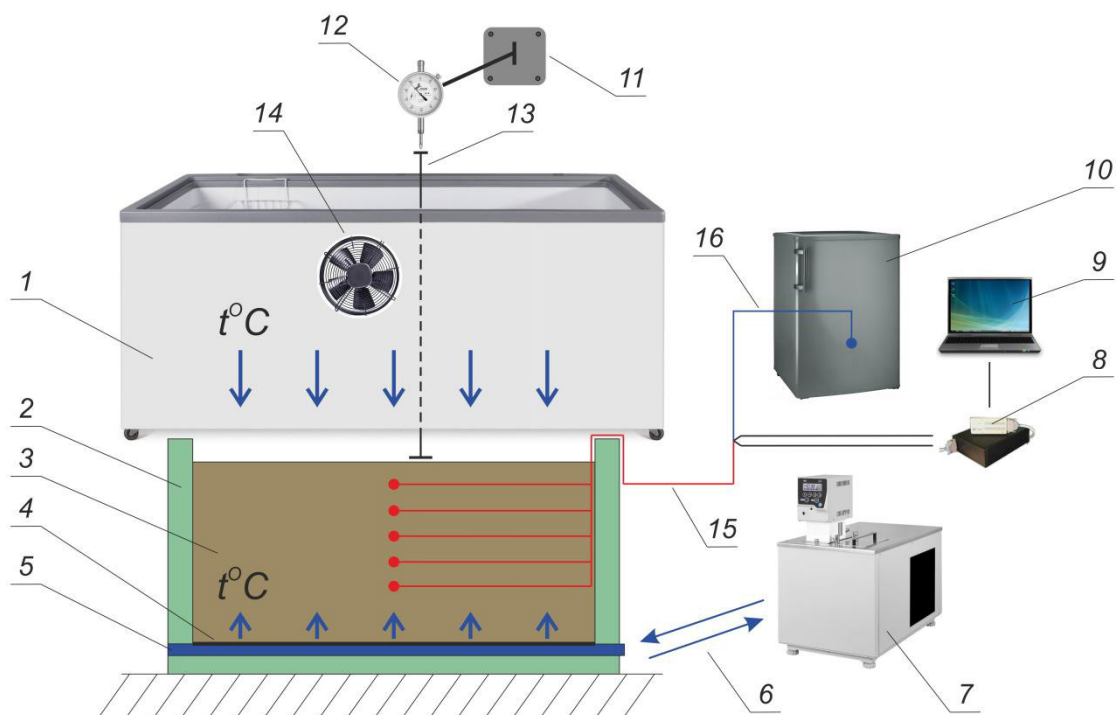


Рис. 2. Общая схема экспериментальной установки: 1 – морозильная камера, 2 – камера с моделируемой конструкцией инженерного сооружения (вертикальный разрез), 3 – грунт, 4 – металлическая пластина, 5 – трубчатая охлаждающая система, 6 – входящий и исходящий патрубки подачи хладагента, 7 – термостат, 8 – измеритель температуры многоканальный, 9 – ноутбук, 10 – холодильная камера, 11 – устройство крепления индикатора часового типа, 12 – индикатор часового типа, 13 – металлический прут, 14 – вентилятор (внутри морозильной камеры), 15 – шлейф с измерительными спаями разностных термопар, 16 – шлейф с нулевыми спаями разностных термопар

Основным элементом экспериментального стенда является камера с открытым верхом 4, в которой в качестве исследуемых образцов, размещаются фрагменты моделируемых дорожных конструкций. Размер лотка составляет 900 × 500 × 550 мм. Земляное полотно 3 в лотке устраивается путем послойной укладки грунта с заданными характеристиками. Остальные конструктивные слои в дорожной модели варьируются в зависимости от поставленной задачи.

Через верхнюю открытую часть камеры 4 происходит промораживание дорожной модели с помощью морозильной камеры 1. Предварительно дно морозильной камеры было удалено в соответствии с размерами верхней части лотка. Морозильная камера устанавливалась сверху на лоток. Дополнительно, чтобы исключить вероятность свободного теплообмена между воздухом в лаборатории и исследуемой моделью дороги предприняты следующие мероприятия:

1) Боковые поверхности лотка снаружи и изнутри теплоизолированы

пенополистирольными плитами толщиной 30 мм и 100 мм соответственно.

2) Стыки между боковыми гранями пенополистирольных плит и дном лотка были герметизированы.

3) Образовавшиеся пустоты между морозильной камерой 1 и лотком 4 закрыты тканым теплоизоляционным материалом.

С целью равномерного промораживания грунтового массива в морозильной камере производилось перемешивание воздушного массива с помощью вентилятора 14, подключенного к сети через частотный преобразователь, позволяющий регулировать скорость вращения лопастей.

Для того чтобы избежать большой градиент между температурой нижней точки грунта и температурой воздуха в морозильной камере и приблизить условия к натурным, с нижней стороны лотка осуществляется поддержание постоянной температуры через специально оборудованную систему охлаждения. Данная система представляет собой жидкостный низкотемпературный термостат 7, необходимый для поддержания заданной

температуры термостатирующей жидкости на протяжении всего эксперимента, и охлаждающий контур 5, состоящий из восьми медных трубок диаметром 10 мм, вмонтированных в верхнюю часть плиты из пенополистирола толщиной 100 мм. Между собой трубки соединены силиконовыми шлангами. Плита из пенополистирола расположена между камерой и бетонным полом в лаборатории с целью предотвращения теплопотерь. Передача холода от термостата осуществляется посредством входящего и исходящего патрубков 6 теплоносителем – ТОСОЛ А-40, способным работать при температуре до -40°C без потери своих свойств. Выбор данного теплоносителя связан с тем, что работа может осуществляться в отрицательных температурах. Используемая модель жидкостного низкотемпературного термостата «КРИО-ВТ-01» позволяет задавать температуру хладагента от -30°C до $+100^{\circ}\text{C}$ с точностью до $0,01^{\circ}\text{C}$. Поддержание заданной температуры теплоносителя осуществляется электронным регулятором. С целью равномерного распределения температуры по нижней грани моделируемой дорожной конструкции дно камеры выполнено из цельного металлического листа, расположенного между грунтом и охлаждающими медными трубками.

Таким образом, создаются условия промерзания только с верхней части модели дорожной конструкции. С нижней стороны задается постоянная температура. Модель в таком исполнении максимально приближена к реальным условиям промерзания дорожной конструкции в холодный период года.

Для накопления фактических данных по температурному режиму были изготовлены и установлены в опытные дорожные модели высокоточные датчики температуры – разностные термопары, позволяющие фиксировать температуру с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$. Термопары закладываются по оси перпендикулярно горизонта в центральной части опытной модели через 25 мм совместно с послойной отсыпкой грунта на поверхности отсыпаемого слоя. Каждой термопаре присваивается порядковый номер. Все датчики подключены к аналого-цифровому преобразователю, который служит для обработки и преобразования сигналов от термопары и вывода данных на ПК. Запись значений температуры осуществляется каждую минуту. Записанные данные автоматически передаются и записываются на компьютер.

Фиксация величины морозного пучения осуществляется при помощи измерителя перемещений 12 с точностью измерения $0,01$ мм. Измеритель перемещений представляет собой индикатор часового типа (ИЧ-10). Измеритель перемещений с одной стороны жестко крепится к стене лаборатории. Показания перемещений от морозного пучения передавались через металлический прут 13 опертый непосредственно на модель дорожной конструкции. Нижняя часть прута выполнена в виде пластины.

Показания с индикатора часового типа снимаются с помощью фотофиксации циферблата 2 раза в сутки с разницей в 12 часов. Данные обрабатываются в лаборатории и заносятся в дневник учета показаний.

Выводы

Разработанный экспериментальный стенд позволяет:

1) Изучить температурный режим конструкций инженерных сооружений.

2) Предоставить количественные данные о процессах, возникающих в конструкциях инженерных сооружений при сезонном промерзании/оттаивании.

3) Оценить эффективность разных теплоизоляторов, используемых в качестве морозозащитного слоя в конструкциях автомобильных дорог.

4) Сравнить различные варианты дорожных конструкций по условию морозоустойчивости.

5) Охватить широкий круг исследуемых задач: возможность вариаций темпом замораживания/оттаивания; моделирование различных конструкций инженерных сооружений – подбор толщин слоев, грунтов земляного полотна, теплоизоляционных материалов; широкий интервал рабочих температур; высокая степень автоматизации при проведении эксперимента и т. д.

Экспериментальный стенд позволяет многократно воспроизвести эксперимент с наблюдением идентичных условий, что практически невозможно сделать на реальных объектах. Предлагаемый способ экономичней, доступней и быстрее чем в натуральных условиях на автомобильной дороге.

Полученные результаты могут служить основой для решения практических задач, связанных со строительством и эксплуатацией инженерных сооружений, расположенных в районах с сезонным промерзанием.

Библиографический список

1. СП 34.13330.2012. Свод правил. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* (утв. Приказом Минрегиона России от 30.06.2012 N 266) из информационного банка "Строительство".
2. Ефименко, В.Н. Обеспечение морозостойчивости дорожных одежд в районах Западной Сибири / В.Н. Ефименко, М.В. Бадина // Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных сооружений: материалы I Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – Кн. 1. – С. 164–170.
3. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. Государственная служба дорожного хозяйства Министерства транспорта Российской Федерации. – М.: Информавтор, 2001. – 145 с.
4. Рувинский, В.И. Эффективность применения пенопласта в дорожном строительстве России. – М.: Транспорт, 1996. – 72 с.
5. Meyer M., Emersleben A. Einsatzmöglichkeiten von recyceltem Altglas im Verkehrswegebau. Recycling und Rohstoffe. B. 3. Berlin, Verlag, 2010. pp. 441–451.
6. Oiseth, E., Aabøe R., Hoff I. Field Test Comparing Frost Insulation Materials in Road Construction, Conference Proceedings, 2006, available at: http://www.vegvesen.no/_attachment/110441/binary/192536.

ROAD EMBANKMENT MODEL WITH HEAT INSULATING LAYER AT FREEZE/THAW CONDITIONS

E. A. Korotkov, K.S. Ivanov

Abstract. The experimental setup for testing road embankment with heat insulating layer at freeze/thaw conditions is given. The setup makes possible to research an effect of heat insulating layer on soil temperature distribution and deformations of freezing layer. An estimation of the affectivity of various heat-insulating materials is possible also.

Keywords: experimental setup, heat-insulating materials, frost heaving.

References

1. SP 34.13330.2012. Svod pravil. Avtomobil'nye dorogi. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.05.02-85* (utv. Prikazom Minregiona Rossii ot 30.06.2012 N 266) iz informacionnogo banka "Stroitel'stvo".

2. Efimenko V.N., M.V. Badina Obespechenie morozoustojchivosti dorozhnyh odezhd v rajonah Zapadnoj Sibiri [Providing hardness pavements in regions of Western Siberia]. *Problemy proektirovanija, stroitel'stva i jekspluatacii transportnyh sooruzhenij: materialy I Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh*, Omsk: Izd-vo SibADI, 2006. Kn. 1. – pp. 164–170.

3. ODN 218.046-01. Proektirovanie nezhestkih dorozhnyh odezhd. Gosudarstvennaja sluzhba dorozhnogo hozjajstva Ministerstva transporta Rossijskoj Federacii [ODN 218.046-01 (2001) "Design of non-rigid pavements. Public service road of the Ministry of Transport"]. Moscow, Informavtor, 2001. 145 p.

4. Ruvinskij V.I. *Jeffektivnost' primenenija penoplasta v dorozhnom stroitel'stve Rossii* [The effectiveness of the foam in road construction in Russia]. Moscow, Transport, 1996. 72 p.

5. Meyer M., Emersleben A. Einsatzmöglichkeiten von recyceltem Altglas im Verkehrswegebau. Recycling und Rohstoffe. B. 3. Berlin, Verlag, 2010. pp. 441–451.

6. Oiseth, E., Aabøe R., Hoff I. Field Test Comparing Frost Insulation Materials in Road Construction, Conference Proceedings, 2006, available at: http://www.vegvesen.no/_attachment/110441/binary/192536.

Коротков Евгений Анатольевич (Россия, г. Тюмень) – аспирант; Институт криосферы Земли Сибирского отделения Российской академии наук; АНО «Губернская академия» (625000, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86, e-mail: the_djon@bk.ru).

Иванов Константин Сергеевич (Россия, г. Тюмень) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт криосферы Земли Сибирского отделения Российской академии наук; АНО «Губернская академия» (625000, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86, e-mail: sillicium@bk.ru).

Korotkov Evgenij Anatolievich (Russian Federation, Tyumen) – graduate student, Institute of the Earth's cryosphere of the Russian Academy of Sciences' Siberian branch; ANO "Provincial Academy" (625000, Tyumen, Malygina St., 86, e-mail: the_djon@bk.ru).

Ivanov Konstantin Sergeevich (Russian Federation, Tyumen) – candidate of technical sciences, senior researcher, Institute of the Earth's cryosphere of the Russian Academy of Sciences' Siberian branch; ANO "Provincial Academy" (625000, Tyumen, Malygina St., 86, e-mail: sillicium@bk.ru).