

Т.В. ПЕРМИТИНА**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОГО МАТЕРИАЛА
НА ВОДНО-ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ГРУНТОВОГО ОБРАЗЦА***EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF WATERPROOF MATERIAL
ON WATER-THERMAL REGIME OF THE SOIL SAMPLE*

Рассмотрена проблема водно-теплового режима земляного полотна автомобильной дороги в условиях Крайнего Севера. Описаны мероприятия по регулированию водно-теплового режима грунтов земляного полотна. Выполнены экспериментальные исследования на образцах грунта, позволяющие оценить влияние водонепроницаемых материалов на температурный и влажностный режимы конструкции автомобильной дороги. Поставлены задачи, направленные на выявление закономерностей изменения физико-механических характеристик и процессов миграции влаги в земляном полотне автомобильной дороги и деятельном слое многолетнемерзлых грунтов, армированных водонепроницаемым материалом.

Ключевые слова: автомобильная дорога, земляное полотно, водно-тепловой режим, миграция влаги, влагоперенос, водонепроницаемый материал.

Ямало-Ненецкий автономный округ занимает лидирующие позиции среди регионов России по положительной динамике индикаторов социально-экономического развития, в первую очередь – по добыче газа и объему промышленного производства. Зафиксировано устойчивое развитие производства автономного округа по основным отраслям и повышение уровня жизни населения.

Автомобильные дороги являются важнейшей составной частью транспортного комплекса автономного округа. Недостаточный учёт природно-климатических условий при проектировании автомобильных дорог в районах вечной мерзлоты приводит к ухудшению свойств грунтов земляного полотна и основания автомобильных дорог, что в свою очередь приводит к разрушению дорожной одежды [11-13]. Кроме того, возведение искусственных сооружений приводит к изменению температурного и влажностного режимов грунтов земляного полотна и основания автомобильных дорог. В этой связи актуальной

This article deals with the problem of water and thermal regime of subgrade of the road in the far north. The measures to regulate water and thermal regime of soil of roadbed are described. An experimental study to evaluate the effect of the waterproof materials on the temperature and humidity regime of the road construction. The tasks, aimed at identifying patterns of change in the physical and mechanical characteristics and the migration of moisture in the subgrade of the road and in the active layer of permafrost, reinforced waterproof element, are set.

Key words: road, water and thermal regime of the roadbed, the migration of moisture, moisture transfer, waterproof material.

задачей является изучение водно-теплового режима земляного полотна и основания автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах.

Водно-тепловым режимом (ВТР) называют изменения влажности и температуры в различных точках земляного полотна, происходящие в различные сезоны года. Изучение этих изменений и надлежащий их учёт имеет важное значение при проектировании автомобильных дорог [1, 2].

Закономерностью изменения теплового и водного режимов земляного полотна автомобильных дорог занимались как отечественные, так и зарубежные авторы. Основные закономерности изменения теплового и водного режима земляного полотна и основания автомобильной дороги представлены в работах М.И. Сумгина и Л.А. Разумова [3, 4]. Большой вклад в изучение движения влаги при температурном градиенте внес А.М. Глобус, высказав мнение, согласно которому при разной влажности грунта механизм переноса влаги различен [5]. Особенности

морозного пучения и оттаивания грунтов были рассмотрены в работе В.Н. Парамонова и А.В. Набокова [6].

Процесс промерзания характеризуется замерзанием свободной воды, находящейся в порах грунта. Очень важную роль в процессе промерзания грунта играет его влажность. С одной стороны, при большой влажности грунта теплопроводность увеличивается и способствует большему прониканию отрицательных температур, а с другой – этому препятствует выделение скрытой теплоты при замерзании воды (80 кКал на 1 л воды).

Исследование водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог берет начало в 1927-1928 гг., тогда Н.А. Пузаковым была разработана методика наблюдения за изменением ВТР. В 1946 г. были выпущены рекомендации «Технические правила возведения земляного полотна автомобильных дорог». Факторы, влияющие на влажность грунтов в течение годового цикла, можно разделить на две группы. К первой группе относятся такие факторы, как рельеф местности и тип грунта, ко второй группе – температура воздуха, испарение, количество выпавших осадков.

Комплекс мероприятий по регулированию водно-теплового режима грунтов земляного полотна рассмотрен в [7]. В данной работе основные способы регулирования представлены в следующем виде:

- удаление низа дорожной одежды от горизонта грунтовых вод;
- устройство морозостойких, а также теплоизолирующих слоев;
- отвод избыточной воды путем устройства дренающего слоя;
- устройство гидроизоляционных слоев;
- рациональное конструирование дорожной одежды;
- гидрофобизация грунтов активной зоны с использованием органических и минеральных вяжущих, а также высокомолекулярных соединений.

Вопрос конструктивных решений по укреплению основания и насыпи земляного полотна автомо-

бильных дорог в условиях Крайнего Севера детально рассмотрен в работах [8-10]. Проанализировав имеющиеся достижения в области регулирования водно-теплового режима земляного полотна, необходимо отметить, что акцент сделан на промерзающие грунты, в области же вечной мерзлоты информация практически отсутствует, поэтому вопрос остается актуальным.

Температурный режим грунтов и движение фронта промерзания является важнейшей составляющей при исследовании водно-теплового режима грунтов. Для их исследования была поставлена задача проведения эксперимента с односторонним промерзанием образца грунта. Суть эксперимента заключалась в исследовании процесса промерзания образца грунта, представленного в виде суглинка. Для наблюдения за фронтом промерзания грунта были изготовлены три экспериментальные установки. Схемы экспериментальных установок для испытания образцов грунта представлены на рис. 1. Физические свойства исследуемого грунта показаны в табл. 1.

Образцы грунта были изготовлены цилиндрической формы высотой 150 мм, диаметром 102 мм.

Экспериментальная установка представляет собой цилиндрическую форму, внутрь которой помещается грунт. По высоте испытуемого образца устанавливались датчики измерения температуры: первый датчик размещался на поверхности образца; второй – посередине, на расстоянии 75 мм от поверхности грунтового образца; третий – внизу экспериментальной установки на расстоянии 150 мм от поверхности грунтового образца (рис. 1, а).

Для регистрации вертикальных перемещений использовались индикаторы часового типа с точностью измерения 0,01мм. Ножка индикатора опиралась на пластину, лежащую на поверхности грунта, а фиксация самого индикатора выполнялась с помощью магнитной стойки.

Для моделирования работы образца грунта в естественных условиях была изготовлена вторая экс-

Таблица 1

Физические свойства грунта

№ образца	Масса, г			Плотность влажного грунта ρ , г/см ³	Плотность сухого грунта ρ , г/см ³	Природная влажность w
	грунта влажного m_1	грунта сухого m_2	воды в грунте m_w			
1	91,4	66,95	24,45	1,86	1,36	0,37
2	88,15	63,90	24,25	1,78	1,29	0,38
3	89,2	64,00	25,20	1,80	1,29	0,39

периментальная установка (рис. 1, б). Она представляет собой цилиндрическую форму, выполненную из пенопласта, с установленной дополнительной цилиндрической ёмкостью из пенопласта, которая обеспечивала подток воды в образец грунта при помощи трубки. Во избежание протекания воды конструкция герметизировалась при помощи монтажной пены. По высоте испытуемого образца уста-

навливались датчики измерения температуры по аналогии экспериментальной установки №1.

Третья экспериментальная установка представляет собой цилиндрическую форму, внутрь которой помещается испытуемый образец грунта. Подток воды обеспечивается как во второй экспериментальной установке. Так как в дорожном строительстве нередко используются водонепроницаемые материалы

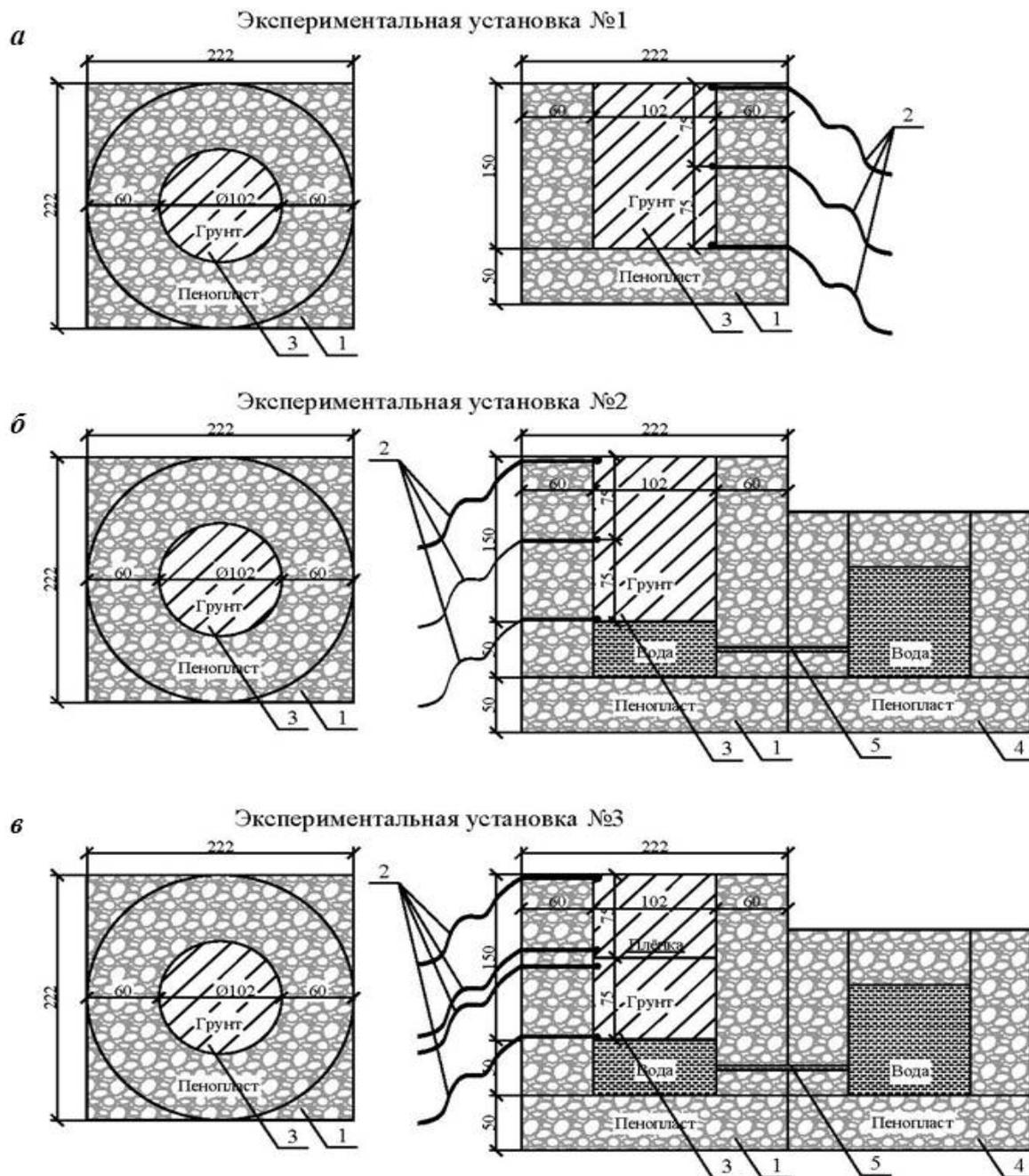


Рис. 1. Схемы экспериментальных установок для испытания образцов грунта:
1 – теплоизолятор; 2 – датчики измерения температуры; 3 – исследуемый грунт;
4 – емкость для воды; 5 – трубка для подтока воды

для предупреждения чрезмерного пучения грунта, в третьем образце было предложено устроить горизонтальную водонепроницаемую прослойку, выполненную из полиэтиленовой плёнки. Водонепроницаемая прослойка располагалась горизонтально, посередине испытуемого образца грунта. По высоте устанавливались датчики измерения температуры: первый датчик устанавливался на поверхности образца; второй – перед водонепроницаемой прослойкой на расстоянии 70 мм от поверхности грунта; третий – после водонепроницаемой прослойки на расстоянии 80 мм от поверхности грунта; четвертый – внизу испытываемого образца на расстоянии 150 мм от поверхности грунта (рис. 1, в).

Измерение и контроль температуры осуществлялся при помощи программы «Temp. Keereg».

Эксперимент проводился при температуре $T_{\text{surf}} = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Предварительно морозильная камера охлаждалась, после этого заранее подготовленные образцы выставлялись в камеру (рис. 2). Критерием полного промерзания образца считался момент времени, при котором температура нижнего датчика опускалась до температуры окружающего воздуха ($-8\text{ }^{\circ}\text{C}$). Эксперименты проводились по трем вышеперечисленным схемам.

При проведении экспериментов фиксировались следующие параметры: время заморозки, температура и вертикальные деформации поверхности образцов. После проведения серии экспериментов выполнялась обработка полученных результатов. На

рис. 3 показана зависимость температуры и деформации поверхности образца во времени.

В результате проведения эксперимента по схеме №1 (рис. 1, а) вертикальные деформации поверхности образца грунта составляют $S_{\text{max}} = 0,002\text{ мм}$. Время промерзания образца грунта при температуре наружного воздуха $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило 174 ч (7 сут 6 ч). При проведении эксперимента по схеме №2 (рис. 1, б) (с подтоком воды) время промерзания образца грунта составило 131 ч (5 сут 11 ч), максимальные вертикальные деформации образца грунта $S_{\text{max}} = 0,57\text{ мм}$. Для эксперимента, выполненного по схеме №3 (рис. 1, в) (с подтоком воды и водонепроницаемой прослойкой), время промерзания образца грунта составило 143 ч (5 сут 23 ч), максимальные вертикальные перемещения поверхности образца составили $S_{\text{max}} = 0,285\text{ мм}$.

В результате проведения эксперимента:

1) по схеме №1 (рис. 1, а):

- время промерзания образца грунта при температуре наружного воздуха $t = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило 174 ч (7 сут 6 ч);

- вертикальные деформации поверхности образца грунта $S_{\text{max}} = 0,002\text{ мм}$;

2) по схеме №2 (рис. 1, б) (с подтоком воды):

- время промерзания образца грунта при температуре наружного воздуха $t = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило 174 ч (7 сут 6 ч);

- максимальные деформации поверхности образца грунта $S_{\text{max}} = 0,002\text{ мм}$;

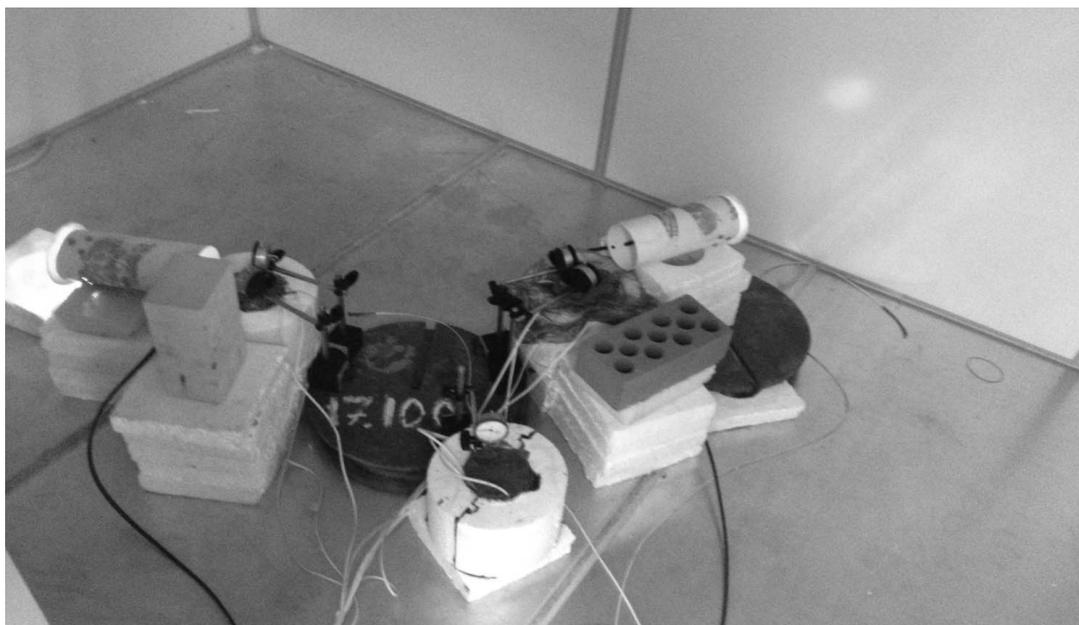


Рис. 2. Общий вид экспериментальных установок при проведении экспериментов

3) по схеме №3 (рис. 1, в) (с подтоком воды):

- время промерзания образца грунта при температуре наружного воздуха $t = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$ составило 174 ч (7 сут 6 ч);

- максимальные деформации поверхности образца грунта $S_{\text{max}} = 0,002\text{ м}$;

Выводы. 1. По результатам проведенных экспериментов при $T_{\text{surf}} = -8\text{ }^{\circ}\text{C}$ можно сделать следующие выводы:

- максимальные перемещения поверхности образца грунта наблюдались в экспериментальной

установке №2 (с подтоком воды, без водонепроницаемого элемента), что обуславливается свободным притоком воды к фронту промерзания;

- свободный приток воды к фронту промерзания в экспериментальной установке №2 сокращает период полного заморозания образца по сравнению с образцом №1 на 32 %, где подток воды отсутствует, и с образцом №3 – на 9 %, где устраивалась водонепроницаемая прослойка;

- влияние водонепроницаемой прослойки (экспериментальная установка №3) приводит к снижению

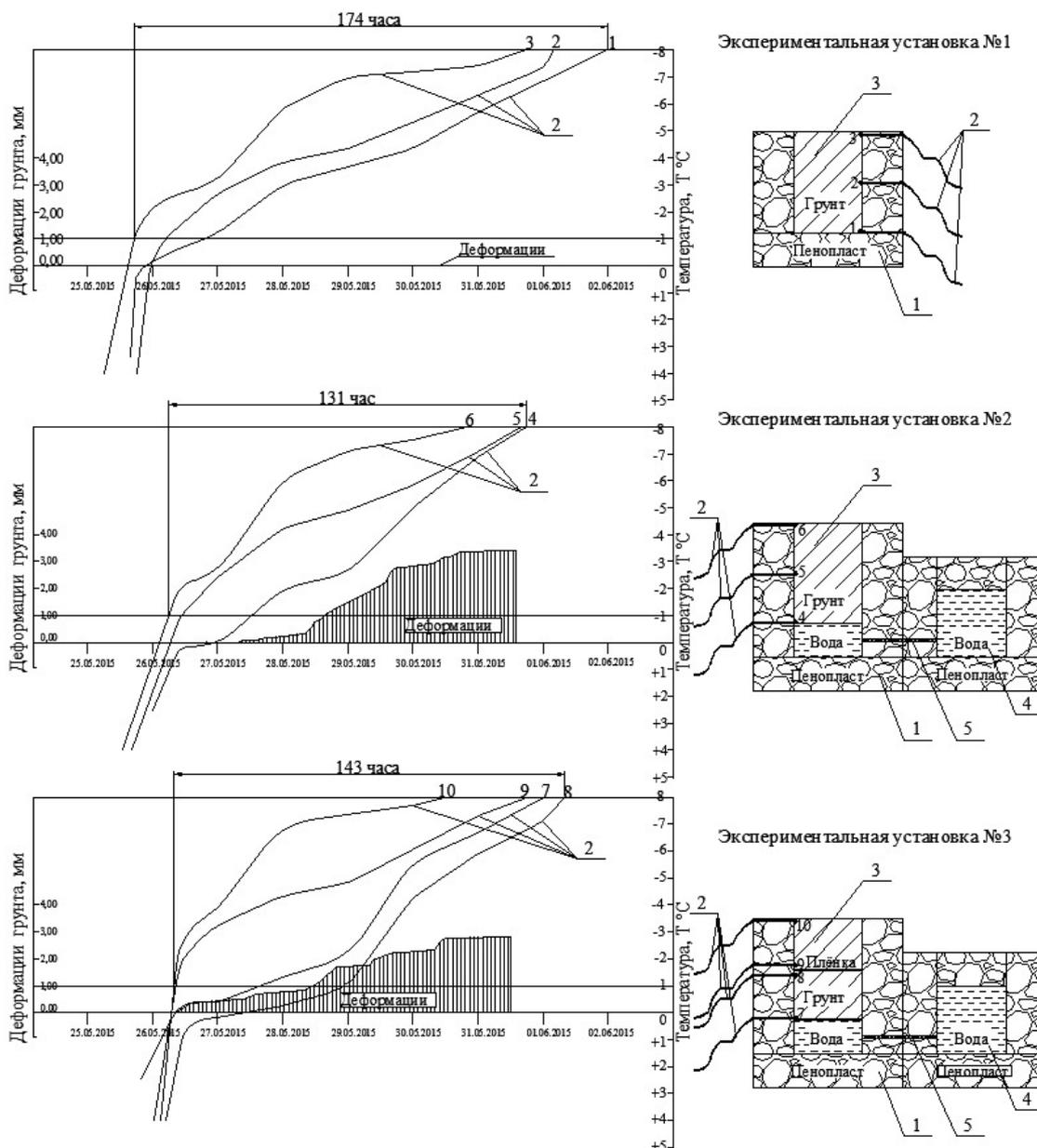


Рис. 3. Графики зависимости температуры и деформации поверхности образцов грунта от времени: 1 – теплоизолятор; 2 – датчики измерения температуры; 3 – исследуемый грунт; 4 – емкость для воды; 5 – трубка для подтока воды

деформаций поверхности образца на 21 % по сравнению с образцом №2, где прослойка отсутствует.

2. Выявлено влияние водонепроницаемого элемента, размещенного горизонтально, на перемещения поверхности грунтового образца в процессе промерзания и оценена скорость движения фронта промерзания образцов при $T_{\text{surf}} = -8 \text{ }^\circ\text{C}$.

3. Предложена гипотеза регулирования водно-теплового режима земляного полотна и основания автомобильной дороги на многолетнемерзлых грунтах, заключающаяся в размещении в конструкции земляного полотна и основания автомобильной дороги материала различной степени водопроницаемости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краев А.Н., Пермитина Т.В., Завьялов В.А. Методы прогноза водно-теплового режима земляного полотна и основания автомобильной дороги на примере ЯНАО // Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: сборник материалов Международной научно-практической конференции: в 3 т. / Ред. колл.: М.Н. Чекардовский, Л.Н. Скипин, В.В. Воронцов, А.Е. Сбитнев. Тюмень, 2014. С. 32-40.

2. Игошин М.Е. Анализ причин разрушения и меры предотвращения дальнейших деформаций автомобильной дороги // Актуальные проблемы архитектуры, строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: сборник материалов Международной научно-практической конференции: в 2 т. Тюмень: Тюменский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. С. 28-36.

3. Разулова Л.А. Изменение запасов почвенной влаги в зимний период // Метеорология и гидрология. 1950. № 1. С. 28-36.

4. Сумгин М.И., Качурин С.П., Толстихин Н.И. и др. Общее мерзлотоведение. М.: Изд-во АН СССР, 1940. 340 с.

5. Глобус А.М. Термодинамика почвенной влаги. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 240 с.

6. Пармонов В.Н., Набоков А.В. Особенности конечноэлементного моделирования деформаций мороз-

ного пучения и оттаивания грунтов // Взаимодействие оснований и сооружений. Подземные сооружения и подпорные стены: труды Международной конференции по геотехнике Технического Комитета 207 ISSMGE (16-18 июня 2014 г.; Россия, Санкт-Петербург) / Под ред.: В.М. Улицкого, М.Б. Лисюка, А.Г. Шашкина. СПб., 2014. С. 65-69.

7. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / Под ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. М.: Транспорт, 1971. 416 с.

8. Игошин М.Е., Воронцов В.В., Краев А.Н., Ушаков А.Е. Численное моделирование конструктивного решения по укреплению основания и насыпи земляного полотна автомобильной дороги // Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: сборник материалов Международной научно-практической конференции: в 3 т. / Ред. колл.: М.Н. Чекардовский, Л.Н. Скипин, В.В. Воронцов, А.Е. Сбитнев. Тюмень, 2014. С. 21-28.

9. Воронцов В.В., Краев А.Н., Игошин М.Е. Расчетное обоснование конструктивного решения по укреплению основания и насыпи земляного полотна существующей автомобильной дороги на территории ЯНАО // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. № 2. С. 119-123.

10. Воронцов В.В., Краев А.Н., Игошин М.Е. Стабилизация критических деформаций земляного полотна автомобильной дороги в криолитозоне // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2014. № 6(40). С. 67-72.

11. Маринин Е.И., Дормидонтова Т.В. О расчете переходных кривых и их влиянии на экологическую безопасность автомобильных дорог // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2014. №4 (17). С. 80-84.

12. Филатова А.В., Шеина Т.В. Вопросы строительства автодорог на закарстованных территориях // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование, наука, практика: материалы региональной научно-технической конференции / СГАСУ. Самара, 2006. С. 124-125.

13. Дорошко Г.П. Введение в температурный анализ свойств материалов: монография / СГАСУ. Самара, 2007. 390 с.

© Пермитина Т.В., 2015

Об авторе:

ПЕРМИТИНА Татьяна Владимировна

аспирант кафедры строительных конструкций
Тюменский государственный архитектурно-строительный университет

625001, Россия, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2,
тел.: (3452) 43-39-27

E-mail: tatianapermitina@mail.ru

PERMITINA Tatiana

Post-Graduate Student of Building Structures Department
Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering
625001, Russia, Tyumen, Lunacharskogo Str., 2,
tel.: (3452) 43-39-27

E-mail: tatianapermitina@mail.ru

Для цитирования: Пермитина Т.В. Экспериментальное исследование влияния водонепроницаемого материала на водно-тепловой режим грунтового образца // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. №4(21). С. 53-58.

For citation: Permitina T.V. Experimental study of the effect of waterproof material on water and thermal regime of the soil sample // Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture. 2015. № 4 (21). Pp. 53-58.