

EDN: **ИХХЛХ**

УДК 625.7/.8

**С. А. САЕНКО, Д. В. ГУЛЯК**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевка, г. Макеевка

## **ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЕЁ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА**

**Аннотация.** Современные автомобильные дороги являются объектами определенного риска, поскольку могут быть опасными и уязвимыми при недостаточных эксплуатационных мероприятиях и катастрофах, которые возникают под влиянием природных и антропогенных факторов. Поэтому обеспечение стабильного водно-теплового режима дорожной конструкции является одной из ведущих задач научно-технического процесса в дорожном строительстве. Стабильный водно-тепловой режим обеспечивается с помощью планировки и устройства дренажных систем, а также применения специальных материалов и технологий. Одним из методов контроля влаго- и теплопередачи является применение геотекстиля, который позволяет улучшить дренажные свойства конструкции и предотвратить промерзание дорожного покрытия зимой. Также важно учитывать климатические условия и особенности грунта при проектировании и строительстве дороги. Например, при высокой влажности или наличии подземных вод необходимо предусмотреть устройство дополнительных водоотводных систем. Для поддержания стабильного водно-теплового режима также используются системы термоизоляции, которые уменьшают потери тепла и предотвращают промерзание дорожного покрытия. Важным аспектом является также регулярное обслуживание и ремонт дорожных покрытий, чтобы предотвратить возможные нарушения в водо- и теплопередаче. В целом, обеспечение стабильного водно-теплового режима дорожной конструкции требует комплексного подхода, включающего правильное проектирование, устройство и обслуживание дорожного покрытия.

**Ключевые слова:** автомобильные дороги, совершенствование дорожной конструкции, водно-тепловой режим.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Современные автомобильные дороги являются объектами определенного риска, поскольку могут быть опасными и уязвимыми при недостаточных эксплуатационных мероприятиях и катастрофах, которые возникают под влиянием природных и антропогенных факторов. Поэтому обеспечение стабильного водно-теплового режима дорожной конструкции является одной из ведущих задач научно-технического прогресса в дорожном строительстве.

Существующие автомобильные дороги функционируют в условиях сезонного колебания температур и влажности, следствием которого является существенное изменение параметров почвенной среды, поэтому актуальной является проблема исследования прочности этих сооружений с учетом их водно-температурного режима.

Вопрос о повышении прочности активной зоны дорожной конструкции регулированием ее водно-теплового режима может быть решен: во-первых, за счет увеличения степени уплотнения грунта и внедрением мер по его замене и/или улучшению; во-вторых, за счет регулирования ее теплового режима; в-третьих, применением мер по отводу воды и/или ограничению увлажнения поверхностными и грунтовыми водами путем устройства дополнительных конструктивных элементов.

Совершенствование дорожной конструкции дополнительным элементом и обоснование технологии для внедрения этого метода регулирования водно-теплового режима, который основывается на применении новых геосинтетических материалов при сооружении дорожной конструкции является актуальной задачей технического прогресса в дорожной отрасли.

© С. А. Саенко, Д. В. Гуляк, 2024



## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В последние годы выполнены исследования и опубликованы научные работы, посвященные повышению прочности активной зоны дорожной конструкции регулированием ее водно-теплового режима. Некоторые из них посвящены разработке новых методов расчета водно-теплового режима, другие подбору материалов для дорожного покрытия с учетом климатических условий, третьи – исследованию влияния различных факторов на состояние дорог. Все эти исследования направлены на повышение безопасности дорожного движения, снижение затрат на ремонт и содержание дорог и улучшение экологической ситуации.

**Целью работы** является повышение прочности активной зоны дорожной одежды регулированием ее водно-теплового режима за счет оптимизации фильтрующей способности комбинированных геосинтетических материалов изоляционно-дренажного слоя.

В работе решены следующие задачи:

– исследование влияния изоляционно-дренажного слоя на повышение прочности активной зоны дорожной конструкции с учетом коэффициента фильтрации и показателя водопроницаемости геотекстильного материала. На основании чего будет разработана математическая модель влаготеплопереноса в активной зоне дорожной конструкции.

– экспериментально исследовано влияние начальных почвенных условий (начальной влажности почвы, градиента температур) и нагрузки на дренирующую и трансмитивную способность комбинированных геосинтетических материалов изоляционно-дренажного слоя.

## ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Систематическое изучение процесса зимнего накопления влаги в почвах, проводится с конца прошлого века. Пожалуй, первая гипотеза о причинах увеличения объема замерзающих почв была высказана в 1885 г. русским проектировщиком железных дорог В. А. Штукенбергом. В литературе существует достаточно большое количество обзоров по рассматриваемому вопросу. Они даны в работах Н. А. Цитовича, Е. Д. Ершова и др. [1].

Процессам переноса тепла и влаги посвящено большое количество статей и монографий [2–7], но до сих пор остаются невыясненными многие вопросы, в основном связанные с теорией тепло- и массопереноса при промерзании. Особенностью процессов, которые происходят при промерзании влажных материалов, является чрезвычайно тесная взаимосвязь процессов переноса тепла, влаги и растворенных в воде веществ, а также деформации среды [8]. Значительные сложности возникают при исследовании процессов переноса при промерзании из-за нелинейности самих уравнений переноса [9].

За последние годы собран большой экспериментальный материал, описывающий процессы тепло- и массопереноса, и преобразования структуры почв при промерзании, созданы основы механики мерзлых почв. Раскрыты основные закономерности тепло- и массопереноса, преобразования структуры и деформации природных дисперсных систем при промерзании и протаивании, которые показали тесную взаимосвязь тепло- и массообменных, и деформационных процессов в мерзлых почвах, сложность их математического моделирования [10].

Предложено более десяти теорий миграции влаги при промерзании почвы (капиллярная теория пор замерзания, теории осмотических давлений, порового вакуума и сил кристаллизации, адсорбционно-пленочная теория и др.). Каждая из этих теорий имеет определенную область применения. В частности, в практике физико-химических методов борьбы с миграцией влаги и морозным пучением почв используется теория химического потенциала, согласно которой миграция воды в промерзающих почвах является функцией свободной энергии поверхности минеральных частиц или их изобарного потенциала.

Основной фактор, определяющий свойства влажных дисперсных материалов при низких температурах – наличие в них определенного количества водяного пара, жидкоподобной воды и льда.

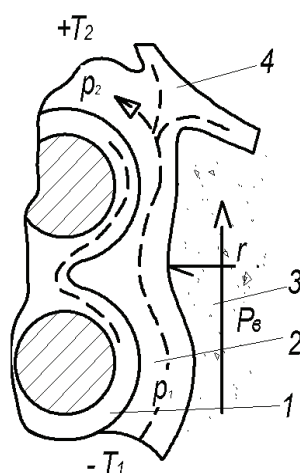
При строительстве автомобильных дорог в юго-восточных степных районах Украины применяют теорию В. Н. Сиденко [11], а в северных районах для почв, которые многократно промерзают зимой – теорию И. А. Золотаря [12], которые базируются на дифференциальном уравнении тепло- и массообмена А. В. Лыкова [13]. При этом в качестве сил миграции рассматривается потенциал массопереноса пленочной влаги.

В основу проектирования дорог в районах с сезонным промерзанием грунтов положена теория Н. А. Пузакова – М. Б. Корсунского, в которой «силы всасывания» принимаются как определенный расчетный эквивалент суммарного действия сил миграции [14].

Направление диффузии пара и жидкой фазы влаги в дорожной конструкции совпадают, интенсивность миграции обеих фаз (насыщенный пар и жидкоподобная влага) в связи с изменением температуры изменяется также по аналогичным закономерностям. Таким образом, при пленочном и диффузно-конденсационном влагообмене в процессе промерзания определяется характерное совпадение потенциалов переноса жидкой фазы влаги (из талой зоны), термоактивной влаги и насыщенного водяного пара.

При выводе уравнений тепло – и влагообмена используют закон сохранения и преобразования энергии – количество тепла или влаги, притекающей вследствие наличия разности потенциалов в элементарный слой за время  $dT$  и выходящей из него, равны изменению тепло- и влагоудержания этого слоя с учетом внутренних источников или источников тепла.

В мерзлой зоне дорожной конструкции тепловой поток состоит из тепла кондукции и тепла конвекции насыщенного пара и жидкоподобной влаги (рис. 1).



**Рисунок 1** – Схема направления миграции двухфазной влаги: 1 – прочная и рыхлая влага; 2 – капиллярная вода; 3 – водяной пар; 4 – миграция жидкой воды.

## 2. Сравнительный анализ исследуемых материалов

Для зонального расчета:

$$\frac{\partial t}{\partial T} = \alpha_M \frac{\partial^2 t}{\partial Z^2} + \frac{1}{C_M} (\varepsilon \rho_{II} + \varepsilon_1 \rho_H) \frac{\partial W}{\partial T}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial W}{\partial T} = \alpha'_H \frac{\partial^2 W_H}{\partial Z^2} + \alpha'_H b_H \frac{\partial^2 t}{\partial Z^2}, \quad (2)$$

где  $\alpha'_H$  – коэффициент влагопроводности мерзлого грунта  $m^2/g$ , который равен:

$$\alpha'_H = \frac{\alpha_H}{1 - \varepsilon - \varepsilon_1},$$

Граничные условия для процесса изменения температуры и влажности можно записать следующим образом:

$$t(Z, 0) = t_0, \quad (3)$$

$$\left. \frac{\partial t}{\partial Z} \right|_{Z = \infty} = 0, \quad (4)$$

$$t(0, T) = t_0 + t_m \cdot \sin \omega T, \quad (5)$$

$$W(Z, 0) = W_0, \quad (6)$$

$$\left. \frac{\partial W}{\partial Z} \right|_{Z = \infty} = 0, \quad (7)$$

$$W(0, T) = W_0 + mT. \quad (8)$$

Полученные А. В. Лыковым [13] дифференциальные уравнения позволили всесторонне исследовать водно-тепловой режим автомобильных дорог. Они учитывают миграцию влаги в двухфазном положении, фазовые преобразования конденсационной и кристаллизационной влаги, внутренние источники тепла при фазовых преобразованиях и комплексное влияние теплового режима на водный и наоборот.

Аналогичные исследования по тепловлагопереносу в почвах проведены в ХАДИ В. М. Сиденко [15]. На рисунке 2 приведена схема прибора для определения тепловлажностных характеристик грунтов. Основной частью прибора является цилиндр, подвешенный концами к коромыслу аналитических весов. Трубка (1) длиной 160 мм и диаметром 27 мм из органического стекла заполнялась эталонным материалом (4) – парафином с грунтом различной влажности и плотности (3) и закрывалась диском (4а) из латунной фольги. Трубка изолировалась асбестовым шнуром или поролоном (2). Температура измерялась с помощью медно-константановых термопар. С помощью гальванометра Г1 фиксировался перепад температур  $t_3 - t_4$  и  $t_6 - t_5$ , а с помощью гальванометра Г2 – температура середины образца. Холодный спай (9) погружался в сосуд Дюара (8), наполненный дистиллированной водой и льдом. Поток тепла  $q$  создавался с помощью лампы инфракрасного излучения (5). Трубка на гибких тягах (6) подвешивалась к аналитическим весам (7). Миграция влаги в образце фиксировалась весами,  $\Delta p$ .

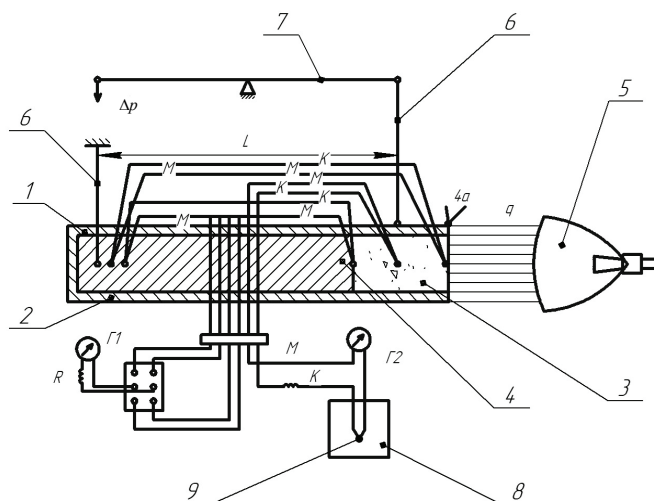


Рисунок 2 – Схема прибора ХАДИ для исследования процесса тепловлагопереноса в почвах (7).

Миграция влаги в образце фиксировалась весами  $\Delta p$ .

В результате подачи тепла в образце создавался температурный градиент

$$\nabla t = \frac{(t_3 - t_4) - (t_6 - t_5)}{l}. \quad (9)$$

Периодически определялся вес  $\Delta p$ , уравновешивавший веса вследствие миграции влаги по направлению потока тепла.

Экспериментально установлено, что при миграции влаги в образце по длине устанавливается прямолинейное распределение влажности (рис. 3), с понижением влажности в зоне теплой поверхности и повышением в холодной зоне.

Моделированию совместного переноса тепла и влаги в почвах посвящены работы, выполненные на факультете гражданского строительства Калифорнийского университета, шт. Калифорния, США [39]. Основу модели составляют уравнения потоков тепла и воды, решения которых для предельных условий экспериментов получены с применением конечно-разностной схемы.

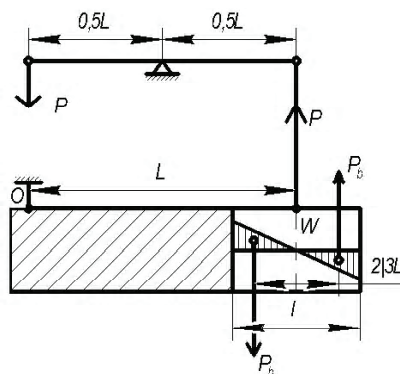


Рисунок 3 – Схема распределения влажности в образце по длине.

Уравнения теплового потока и потока воды соответственно имеют вид:

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + L \frac{\partial \varphi}{\partial t} = C \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( D \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) - \frac{\rho_l \partial \varphi}{\rho_w \partial t} = \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (11)$$

где  $y$  – пространственные координаты, м;

$t$  – время, с;

$T$  – температура, °С;

$\lambda$  – теплопроводность почвы, Джоуль / м·с·К;

$L$  – объемная скрытая теплота плавления воды, Джоуль/м<sup>3</sup>;

$C$  – объемная удельная теплоемкость почвы (минералы + жидкая вода + лед + воздух), Джоуль / м<sup>3</sup>·К;

$\theta$  – объемное содержание воды в почве, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  – объемное содержание льда в почве, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$\rho_w$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_l$  – плотность льда, кг/м<sup>3</sup>;

$D$  – коэффициент диффузии воды в почве, м<sup>2</sup>/с.

В уравнении (11) первая группа членов описывает поведение жидкой воды, поток которой обусловлен существованием градиентов ее содержания в почве, а вторая группа членов относится к источнику (или поглотителю) воды, которые возникают в результате изменения содержания льда в почве.

Обобщая результаты экспериментальных работ по исследованию миграции влаги в промерзающих почвах, Н. А. Цитович [40] выделил следующие закономерности:

1) во всех случаях (за весьма малым исключением условий резкого промерзания при достаточно низких температурах – ниже –70 °С) установлен факт миграции влаги, а не ее фиксации;

2) при промерзании дисперсных глинистых почв наблюдается внутриобъемная их усадка (консолидация) и агрегирование почвы между прослойками льда;

3) установлен разнообразный эффект миграции при промерзании крупнозернистых песков: отжим воды от фронта промерзания; и дисперсных глинистых почв; приток воды и увеличение льдосодержания во фронте промерзания;

4) доказан ритмичный и скачкообразный характер льдовыделения и вздымания почв как в лабораторных, так и в полевых условиях;

5) определен разнообразный характер перераспределения влажности и льдонакопления в закрытых и открытых системах, причем наибольшее льдовыделение имеет место в открытых системах, а в системах, закрытых наблюдается перераспределение влажности почв с ростом их к поверхности охлаждения и обезвоживанием горизонтов почвы, удаленных на некотором расстоянии от поверхности фронта промерзания;

6) выявлен и экспериментально доказан факт миграции жидкоподобной воды как в промерзающих почвах, так и в мерзлых почвах;

7) установлено, что миграция воды в промерзающих почвах происходит преимущественно в жидкой фазе в виде пленок;

8) доказано значительное влияние на интенсивность миграции воды и величину вздымания высокодисперсных почв, причем наибольшее льдовыделение наблюдается при насыщении многовалентными катионами, а меньше всего в случае одновалентных катионов;

9) миграция влаги в почвах, промерзающих во всех фазах воды (газообразной, жидкой и твердой) происходит лишь при нарушении их равновесного состояния.

Миграция воды в промерзающих почвах происходит вследствие воздействия различных сил, определяющих преимущественное значение того или иного механизма переноса влаги. Н. А. Цитович перечисляет самые главные из них:

1) силы упругости водяного пара;

2) капиллярные силы поровой воды;

3) внешнее и внутреннее давление с учетом вакуума;

4) осмотические силы;

5) силы кристаллизации льда;

6) адсорбционные силы органо-минерального скелета почвы и льда, которые возникают под действием свободной поверхностной энергии минеральных частиц, имеют первостепенное значение для любых дисперсных почв, промерзающих в зависимости от природы обменных катионов и капиллярных свойств почвы обуславливают интенсивность миграции и величину морозной поимки.

В третью группу входят мероприятия, регулирующие тепловой режим земляного полотна путем устройства теплоизоляционных слоев.

Теплоизоляционные материалы должны обладать минимальной прочностью. Это обусловлено сжимаемостью самого теплоизоляционного слоя и невозможностью достичь необходимой степени уплотнения верхних слоев. При сжатии теплоизолятора отмечается ухудшение его теплофизических свойств.

С другой стороны, важным является изучение влияния теплоизоляционных слоев на процессы влагонакопления и подъема в грунтах.

Опыт использования геосинтетических материалов для регулирования водно-теплового режима дорожной конструкции.

Геосинтетические материалы – это продукты, которые используются в геотехническом строительстве и инженерии с целью улучшения геотехнических свойств грунтов и твердых поверхностей. Они обычно состоят из полимерных материалов, таких как полипропилен, полиэстер, полиэтилен и других.

В отечественной и зарубежной практике описан значительный опыт применения геосинтетических материалов. В последние годы созданы новые материалы и технологии на их основе. Произошло существенное расширение областей использования новых материалов, разработаны методы расчета дорожных конструкций с их применением.

Отнесенные к геоматериалу изделия (геосетки, георешетки, геоматы, геоячейки, геопрошарки, геопенопласты и геотрубы) изготовлены из геосинтетики и минеральных материалов объемной формы.

Гидроизоляционные материалы (водонепроницаемые или с незначительной степенью водонепроницаемости): искусственные (полимерные) материалы, бентонитовые композиты, другие изделия из геосинтетики или геопластики плоской формы, к которым следует отнести геосинтетические барьеры и геомембраны.

Геомембрана (или геопленка) – это геосинтетический материал, изготовленный из полимера, который используется для гидроизоляции различных объектов (хранилищ, резервуаров, зданий и др.). Выделяют два основных вида геомембраны из полиэтилена высокого давления и низкой плотности (ПВД, англ. LDPE) и полиэтилена низкого давления и высокой плотности (ПНД, англ. HDPE). В состав геомембраны также входят специальные стабилизирующие добавки для повышения стойкости геомембраны к химическим веществам и УФ – излучению. Самый распространённый стабилизатор – технический углерод (сажа) до 3 %. В зависимости от состава исходного сырья, различают геопленки следующих видов: полимерные геосинтетические; глиняно-геосинтетические; битумно-геосинтетические или геомембраны.

Геомембрана обладает следующими свойствами:

- не пропускает воду, химические вещества и другие жидкости;
- обладает химической стойкостью, то есть не подвергается воздействию химических веществ;
- способна выдерживать большие механические нагрузки;
- характеризуются термостойкостью, так как геомембрану не влияют ни высокие, ни низкие температуры;
- устойчива к ультрафиолетовому воздействию;
- не подвергается воздействию грызунов и растений;
- является экологически чистым материалом;
- обладает большим сроком службы (около 50 лет).

К дополнительным преимуществам геомембраны относят: легкость транспортировки, экономичность монтажа, малые затраты на обслуживание и ремонт.

Геокомпозиты-это комбинированные материалы, которые могут состоять из геотекстиля и георешетки; геотекстиля и геомембраны; геотекстиля, георешетки и геомембраны, или в любом другом сочетании (табл. 1). Применение геокомпозитов, при наличии нескольких источников увлажнения автомобильной дороги, это новые конструктивные решения и новые технологии в строительстве, которые позволяют:



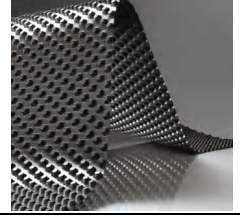
**Таблица 1** – Технические характеристики геокомпозитов

Наименование материалов	Исходный материал, полимер	Область применения	Основные необходимые показатели физико-механических свойств
композиционные: волокнистые пористые материалы	Поли-Пропилен, полиэтилен	укрепление откосов, конусов в сложных климатических и почвенных условиях. Укрепление откосов и устройство дренажей различного назначения (траншейные, откосные, пластиковые и т. д.)	водопроницаемость, прочность при разрыве, относительная деформация при номинальной прочности
многослойные структуры с пластиковым каркасом и защитными слоями из нетканых материалов малой плотности	Поли-Пропилен, полиэтилен, полиэфир	укрепление откосов и устройство дренажей различного назначения (траншейные, откосные, пластиковые и т. д.)	водопроницаемость, прочность при разрыве, легкая укладка
геомембраны (сплошные водонепроницаемые или слабо-проницаемые рулонные материалы)	Поли-Пропилен, полиэтилен	устройство жестких гидроизоляционных слоев, снижение активных сдвиговых напряжений за счет уменьшения трения в контакте с грунтом	водопроницаемость, предел прочности при разрыве, относительное удлинение при разрыве, легкая укладка, толщина, плотность
гидроизоляционные материалы	Элементы: Полипропилен + бентонит, другие изделия плоской формы	устройство полностью водонепроницаемых элементов геотехнических конструкций	водопроницаемости, в том числе и под расчетным давлением для защиты от грунтовых вод

- обеспечить долговременную и надежную эксплуатацию строительных объектов, в т. ч. дорожной конструкции;
- предотвратить разрушение дорожного покрытия, образование трещин и выбоин, размывание грунта обочин и откосов земляного полотна, проседание грунта;
- упростить технологию и сократить сроки проведения ремонтно-строительных работ;
- повысить качество возведения сооружений.

Экономичность использования геокомпозитов в любом случае сокращает объемы земляных работ и использование привозных материалов. Среди известных современных материалов для изоляции и дренажа следует обратить внимание на полимерный геокомпозитный дренажный материал, который имеет с одной стороны нетканый фильтр, а с другой гидроизоляционный слой (Стандарт «Фортек» г. Саратов, Россия) и двухслойный рулонный материал, который ISO-DRAIN 8 Geo (INTERPLAST, Германия) (табл. 2).

Таблица 2 – Сравнение современных геоматериалов для дренажа

Название (производитель)	Внешний вид	Краткая характеристика
дренажный композит Enkadrain® (фирма Bonar GmbH@Co.KG@Co.KG, Германия)		состоит из жесткого ядра заключенного между двумя слоями геосинтетического материала
дренажный композит «Славорос – дренаж» (Славорос, Россия)		состоит из объемной геосетки и прикрепленного с 2-х сторон фильтрующего нетканого материала
двухслойный рулонный материал, ISO-DRAIN 8 Geo (INTERPLAST, Германия)		состоит из шиповидной геомембраны HDPE и фильтрующего слоя из полипропиленового термически скрепленного геотекстиля Тураг SF32, соединенного между собой на заводе-изготовителе

Указанные материалы обеспечивают единственно возможное решение инженерной проблемы стабилизации уровня влажности почвы активной зоны дорожной конструкции в течение года.

Одним из главных преимуществ геокомпозитов является то, что они снижают негативное воздействие на окружающую среду. Вместо использования традиционных методов, таких как выноска и укрепление грунта с помощью бетонных конструкций, геокомпозиты позволяют сделать это безопасными и эффективными способами. Это способствует сохранению природных ресурсов и уменьшению негативного воздействия на окружающую среду.

Геокомпозиты также эффективны в эксплуатации. Они обладают высокой прочностью, гибкостью, устойчивостью к химическому воздействию и долговечностью. Это позволяет им использоваться в различных условиях и сокращает ресурсы для регулярного обслуживания и замены.

Экологическая безопасность и эффективность геокомпозитов делает их привлекательными для использования в транспортном строительстве. Они могут быть использованы для усиления дорог, мостов, железных дорог и других транспортных сооружений. Использование геокомпозитов позволяет улучшить качество и долговечность этих конструкций, а также сократить затраты на строительство и ремонт.

В итоге, геокомпозиты представляют собой экологически безопасные и эффективные строительные изделия, которые могут уменьшить вмешательство в окружающую среду и использование природных ресурсов в транспортном строительстве. Их использование является важным требованием современной строительной индустрии и помогает достичь устойчивого развития.

В результате применения геокомпозитов достигается снижение приведенных расходов, за счет:

- экономии строительных материалов;
- снижение стоимости эксплуатации машин и основной заработной платы в связи с уменьшением затрат на транспортировку дорожно-строительных материалов, их укладку, уплотнение и т. д.;
- снижение затрат на ремонт (например, увеличение срока службы элементов автомобильной дороги) и содержание дорожной конструкции в связи с ее большей эксплуатационной надежностью.

## ВЫВОДЫ

Согласно анализу состояния вопроса по регулированию водно-теплового режима дорожной конструкции выявлено что:

- миграция воды в промерзающих почвах происходит вследствие воздействия различных сил, которые определяют преимущественное значение того или иного механизма переноса влаги. Наличие воды в различных физических состояниях и увеличение ее количества в случае промерзания дорожной конструкции приводит к снижению прочности ее активной зоны. Таким образом, возникает



необходимость перехвата и отвода лишней влаги путем устройства дополнительного конструктивного слоя ниже глубины промерзания грунта;

– на основании анализа существующих методов регулирования водно-теплового режима дорожной конструкции можно сделать вывод, что наиболее эффективным к дальнейшему рассмотрению является регулирование его за счет устройства дополнительного конструктивного элемента из геосинтетического материала;

– для обеспечения дренажа и отвода воды из дорожной конструкции следует использовать геокомпозиаты, которые сочетают одновременно изоляционные, дренирующие и трансмиссивные свойства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цытович, Н. А. Механика мерзлых грунтов / Н. А. Цытович. – Москва : Высшая школа, 1973. – 448 с. – Текст : непосредственный.
2. Бровка, Г. П. Тепло-и массоперенос в естественных дисперсных системах при промерзании / Г. П. Бровка. – Минск : Навука і тэхніка, 1991. – 191 с. – Текст : непосредственный.
3. Гамаюнов, Н. И. Тепломассоперенос при промерзании почвогрунтов / Н. И. Гамаюнов, С. Н. Гамаюнов. – Текст : непосредственный // Почвоведение. – 2000. – № 2. – С. 297–308.
4. Глобус, А. М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей / А. М. Глобус. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. – 427 с. – Текст : непосредственный.
5. Гречищев, С. Е. Основы моделирования криогенных физико-геологических процессов / С. Е. Гречищев, Л. В. Чистотинов, Ю. Л. Шур. – Москва : Наука, 1984. – 230 с. – Текст : непосредственный.
6. Джаныбеков, Ч. Математическое моделирование движения грунтовых вод в многослойных средах / Ч. Джаныбеков. – Фрунзе : Илим, 1982. – 228 с. – Текст : непосредственный.
7. Лыков, А. В. Тепло-массо-обмен / А. В. Лыков. – Москва : Энергия, 1972. – 560 с. – Текст : непосредственный.
8. Ершов, Э. Д. Физико-химия и механика мерзлых пород / Э. Д. Ершов. – Москва : Издательство МГУ, 1986. – 333 с. – Текст : непосредственный.
9. Веренько, В. А. Регулирование свойств асфальтобетона модифицирующими добавками, вводимыми в смесь / В. А. Веренько, В. В. Занкович, П. П. Яцевич. – Текст : непосредственный // Вестник ХНАДУ. – 2008. – № 40. – С. 51–56.
10. Чистотинов, Л. В. Миграция влаги в промерзающих неводонасыщенных грунтах / Л. В. Чистотинов. – Москва : Наука, 1973. – 144 с. – Текст : непосредственный.
11. Сиденко, В. М. Технология строительства автомобильных дорог / В. М. Сиденко, В. Т. Батраков, А. И. Леушин : в 3 частях : часть 1. – Киев : Вища школа, 1970. – 235 с. – Текст : непосредственный.
12. Золотарь, И. А. Обеспечение надёжности автомобильных дорог по прочности при их проектировании, строительстве и эксплуатации / И. А. Золотарь. – Санкт-Петербург : ВАТТ, 1996. – 84 с. – Текст : непосредственный.
13. Пузаков, Н. А. Теоретические основы накопления влаги в дорожном полотне и их практическое применение / Н. А. Пузаков. – Текст : непосредственный // Проектирование и сооружение земляного полотна железных и автомобильных дорог. – 1950. – Москва : Издательство АН СССР. – С. 58–88. – Текст : непосредственный.
14. Лыков, А. В. Теоретические основы строительной теплофизики / А. В. Лыков. – Минск : Издательство АН БССР, 1961. – 519 с. – Текст : непосредственный.
15. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / [И. А. Золотарь, Н. А. Пузаков, В. М. Сиденко и др.] ; под редакцией И. А. Золотаря. – Москва : Издательство «Транспорт», 1971. – 416 с. – Текст : непосредственный.
16. Науменко, Д. С. Исследование физико-механических свойств глинистых сланцев с целью использования их в конструкции земляного полотна автомобильных дорог / Д. С. Науменко, А. С. Чмырь, Д. И. Бородай. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2017. – Выпуск 2017-2(124) Современные строительные материалы. – С. 116–120. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29750845> (дата обращения: 10.12.2022). – EDN: ZBAZGR.

Получена 13.12.2023

Принята 26.01.2024

STANISLAV SAENKO, DENIS GULYAK  
INCREASE OF STRENGTH OF ACTIVE ZONE OF ROAD STRUCTURE BY  
REGULATION OF ITS WATER-HEAT REGIME  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Donetsk People's Republic, Makeevka

**Abstract.** Modern highways are objects of certain risk, as they can be dangerous and vulnerable in case of insufficient operational measures and catastrophes, which arise under the influence of natural and

anthropogenic factors. Therefore, ensuring a stable water-thermal regime of the road structure is one of the leading tasks of the scientific and technical process in road construction. Stable water-thermal regime is ensured by means of layout and drainage systems, as well as the use of special materials and technologies. One of the methods of moisture and heat transfer control is the use of geotextile, which allows to improve the drainage properties of the structure and prevent freezing of the road surface in winter. It is also important to consider climatic conditions and soil characteristics when designing and constructing a road. For example, in case of high humidity or the presence of groundwater, it is necessary to provide additional drainage systems. To maintain a stable water and heat regime, thermal insulation systems are also used to reduce heat loss and prevent freezing of the road surface. Regular maintenance and repair of pavements is also an important aspect to prevent possible disturbances in water and heat transfer. In general, ensuring a stable water-thermal regime of the road structure requires a comprehensive approach including proper design, construction and maintenance of the road surface.

**Keywords:** highways, road structure improvement, water-thermal regime.

**Саенко Станислав Александрович** – магистрант кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих

**Гуляк Денис Вячеславович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: получение технологичных и долговечных дорожных бетонов для строительства конструктивных слоев нежестких дорожных одежд на основе модифицирования органических вяжущих.

**Saenko Stanislav** – master's student, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: receipts of technological and lasting travelling concretes for building of structural layers of non-rigid travelling clothes on the basis of retrofitting of organic astringent.

**Gulyak Denis** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Highways and Air Fields Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: receipts of technological and lasting travelling concretes for building of structural layers of non-rigid travelling clothes on the basis of retrofitting of organic astringent.