
ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Научная статья



УДК 551.345:625.85:638.383

DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-235-253

EDN: JLCIBA

**РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМ
МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ**

Роман Ильич Никитин¹
Дмитрий Викторович Медведев²✉
Максим Игоревич Никитин³

¹Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

²АНО «Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса» (АНО «НИИ ТСК»), Москва, Россия

³ООО «Инновационный технический центр» (ООО «ИТЦ»),
Москва, Россия

¹roman.nikitin39@gmail.com

²medvedev@niitsk.ru✉

³nmi1593@yandex.ru

Аннотация: В статье рассматривается проблема нормирования свойств геосинтетических материалов для дорожных одежд, сооружаемых в зоне многолетнемерзлых грунтов для выполнения функции теплоизоляции. Выполнен анализ действующей нормативно-технической базы Российской Федерации, а также зарубежного опыта. Выявлено, что существующие расчетные методы ориентированы преимущественно на механические характеристики слоев, тогда как теплоизоляционная функция учитывается фрагментарно, без формализованной увязки с прочностными расчетами. Обоснована необходимость функционального подхода к нормированию, аналогичного принятому для дренажных геосинтетиков. Представлены результаты циклических испытаний двухслойной системы «щебень – пенополистирол», которые демонстрируют существенное влияние

теплоизоляционной прослойки на накопление остаточных деформаций. Сделан вывод о необходимости нормирования не только теплофизических, но и деформативных характеристик теплоизоляционных материалов, а также их обязательного учета в расчетах дорожных одежд по критерию допускаемого упругого прогиба. Сформулированы основные направления развития нормативной и методической базы для оценки геосинтетических материалов, регулирующих водно-тепловой режим.

Ключевые слова: многолетнемерзлые грунты, криолитозона, дорожная одежда, геосинтетические материалы, теплоизоляция, пенополистирол, XPS (eXtruded PoliStyrene – экструдированный пенополистирол), водно-тепловой режим, нормирование, функциональный подход, расчет на прочность, допускаемый упругий прогиб, остаточные деформации, циклические испытания, взаимопроникновение материалов, разделительная прослойка.

Для цитирования: Никитин Р.И., Медведев Д.В., Никитин М.И. Разработка требований к геосинтетическим материалам для регулирования теплоизоляции автомобильных дорог на многолетнемерзлых грунтах // Дороги и мосты. 2026. №55/1. С. 235-253. DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-235-253.

ROAD CONSTRUCTION MATERIALS

Original article

DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR GEOSYNTHETIC MATERIALS FOR THERMAL INSULATION CONTROL OF ROADS ON PERMAFROST SOILS

Roman I. Nikitin¹
Dmitry V. Medvedev²✉
Maksim I. Nikitin³

¹Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

²ANO «Scientific Research Institute of Transport and Construction complex» (ANO «NII TSK»), Moscow, Russia

³Innovative Technical Center LLC (ITC LLC), Moscow, Russia

¹roman.nikitin39@gmail.com

²medvedev@niitsk.ru✉

³nmi1593@yandex.ru

Abstract: *The article addresses the problem of establishing normative requirements for the properties of geosynthetic materials used in pavements constructed in the permafrost zone to perform a thermal insulation function. An analysis of the current regulatory and technical framework of the Russian Federation, as well as of international experience, is carried out. It is shown that existing design methods are oriented primarily toward the mechanical characteristics of the layers, whereas the thermal insulation function is addressed only fragmentarily, without a formalized link to strength calculations. The need for a functional approach to standardization, similar to that adopted for drainage geosynthetics, is substantiated. The results of cyclic tests of a two-layer "crushed stone – expanded polystyrene" system are presented; they demonstrate the significant effect of the thermal insulation layer on the accumulation of residual deformations. It is concluded that it is necessary to standardize not only the thermophysical but also the deformation characteristics of thermal insulation materials, and to account for them as a mandatory part of pavement design calculations under the allowable elastic deflection criterion. The main directions for developing the regulatory and methodological framework for evaluating geosynthetic materials that regulate the water-thermal regime are formulated.*

Keywords: *permafrost soils, cryolithozone, pavement, geosynthetic materials, thermal insulation, expanded polystyrene, XPS (extruded PoliStyrene), water-thermal regime, standardization, functional approach, strength calculation, allowable elastic deflection, residual deformations, cyclic testing, interpenetration of materials, separation layer.*

For citation: Nikitin R.I., Medvedev D.V., Nikitin M.I. Development of requirements for geosynthetic materials for thermal insulation control of roads on permafrost soils // Roads and Bridges. 2026; (55/1): 235-253. (In Russ.). DOI: 10.70991/1815-896X-2026-1-55-235-253.

ВВЕДЕНИЕ

Автомобильные дороги в зоне многолетнемерзлых грунтов работают в условиях, где надежность конструкции определяется не только прочностью слоев под транспортной нагрузкой, но и устойчивостью температурно-влажностного режима основания. В Российской Федерации это широко распространенная проблема: криолитозона охватывает значительную часть территории страны, а ее

реакция на современное потепление проявляется изменением мощности сезонно-талого слоя, перераспределением влаги и ростом рисков термической дестабилизации грунтов, что непосредственно отражается на работоспособности земляного полотна и дорожных одежд [1]. На этом фоне развитие Арктической зоны РФ и сопряженное с ним расширение транспортной связности (включая строительство и модернизацию автодорожной сети) усиливают инженерные требования к долговечности и адаптивности конструктивных решений, поскольку транспортная инфраструктура рассматривается как один из ключевых факторов социально-экономического развития региона [2]. Дополнительным «ускорителем» проблем становится рост доли тяжелых транспортных средств и интенсивности движения на отдельных направлениях, что приводит к увеличению механических воздействий на дорожную конструкцию и сокращению межремонтных сроков при сохранении высокой чувствительности мерзлых оснований к нарушению теплового баланса [2].

Действующие российские нормативные документы по проектированию дорог в районах вечной мерзлоты определяют необходимость учитывать геокриологические условия и допускают применение специальных мероприятий по управлению тепловым режимом основания, включая теплоизоляционные прослойки и экраны [3]. Однако на практике формируется существенное противоречие. С одной стороны, расчетные методы проектирования дорожных одежд в массовой инженерной практике ориентированы преимущественно на механическую работу слоев (прочность, деформативность, сопротивление усталостному разрушению) и воспринимают конструкцию как систему, где ключевым «входом» являются нагрузки от движения и характеристики материалов по механическим показателям. С другой стороны, применение теплоизоляционных прослоек (в том числе геосинтетических и полимерных теплоизоляционных материалов) зачастую регламентируется фрагментарно: задаются общие конструктивные указания или допускающие положения, но отсутствует единая, формализованная связка «нормируемые свойства теплоизоляционного материала – параметры расчетной схемы – критерии работоспособности конструкции» в рамках действующих расчетных подходов [3]. В результате проектировщик вынужден выбирать материал и толщину теплоизоляции по разрозненным рекомендациям или локальному опыту, а затем отдельно проверять конструкцию по прочностному расчету,

что не гарантирует устойчивости термического режима основания в расчетном периоде эксплуатации.

Международная практика и исследования по дорогам на мерзлоте подчеркивают, что именно изменение теплового и гидрологического режимов после строительства (включая изменения условий дренирования и теплообмена) является одним из наиболее быстрых путей деградации мерзлых оснований и последующего развития деформаций [4]. В зарубежных обзорах и руководствах по проектированию дорог и аэродромов на многолетнемерзлых грунтах показано, что эффективные адаптационные решения должны одновременно учитывать механическую несущую способность и тепловую устойчивость основания, а выбор конструктивных мер (включая теплоизоляцию) должен быть привязан к расчетным моделям температурного поля и прогнозу состояния грунтов во времени [4]. При этом научные работы, выполненные на базе институтов криосферы и профильных университетов, предлагают инженерные подходы к обоснованию типа и параметров термозащитного слоя, рассматривая теплоизоляцию как элемент управляемого теплового барьера в системе «покрытие – основание – мерзлая толща» [5]. Однако даже при наличии таких результатов остается методический разрыв между «теплотехническим обоснованием» и «нормированием свойств материала» с точки зрения дорожной отрасли: какие показатели следует задавать в нормативных требованиях (например, теплопроводность в условиях увлажнения и сжатия, долговечность теплотехнических характеристик, водопоглощение, ползучесть/сжимаемость, устойчивость к циклам замораживания-оттаивания), и как эти показатели должны корректно включаться в расчет конструкции и проверку ее работоспособности в рамках действующих нормативов.

В Российской Федерации работа по формированию комплекса нормативных документов по геосинтетическим материалам началась в 2010 г. по распоряжению Федерального дорожного агентства с выходом ОДМ 218.5.006-2010 «Рекомендации по методикам испытаний геосинтетических материалов в зависимости от области их применения в дорожной отрасли» [6], который послужил основой для разработки ряда национальных стандартов. Одновременно с ним был опубликован ОДМ 218.5.005-2010 [7], устанавливающий классификацию и терминологию (документы утратили силу, не действуют с 2022 г.).

В основу формирования комплекса нормативных документов был заложен функциональный подход, заключающийся в нормировании определенного набора характеристик, обеспечивающих основную функцию геосинтетического материала (армирование, борьба с эрозией на откосах, дренирование, разделение и др.).

Основополагающим документом данного комплекса является национальный стандарт ГОСТ Р 55028-2012 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Классификация, термины и определения» [8], устанавливающий классификацию геосинтетических материалов, термины и определения. Данный документ гармонизован с международным стандартом ISO 10318:2005 «Geosynthetics – Terms and definitions» [9].

Можно сделать вывод, что нормативной базой, в частности, не в полной мере охвачены вопросы, связанные с теплоизоляцией. Для нормирования данного показателя необходимо одновременно учитывать теплофизические параметры и эксплуатационную стабильность свойств под реальными нагрузками и климатическими воздействиями, а также обеспечивать однозначное включение материала в расчетную схему дорожной одежды как в части механики, так и в части теплопереноса.

Цель настоящей статьи – разработка методологического подхода к нормированию свойств геосинтетических теплоизоляционных материалов с обеспечением их корректной увязки с расчетом дорожных одежд по действующим нормативным документам. Подход рассматривается как «первый этап» формирования будущей системы требований: от выделения ключевых свойств и условий их задания до принципов включения этих свойств в расчетные модели и критерии применимости теплоизоляционных решений для дорог на многолетней мерзлоте.

Обзор существующего подхода к применению теплоизоляционных слоев в дорожных конструкциях в зоне вечномерзлых грунтов

Несмотря на более чем полувековую историю применения теплоизоляционных материалов в дорожном строительстве в условиях криолитозоны, анализ действующей нормативно-технической документации выявляет системное противоречие. Теплоизоляция, являясь инструментом управления водно-тепловым режимом

грунтов, остается методологически обособленным элементом, не интегрированным в формализованные процедуры расчета дорожных одежд на прочность и деформативность.

Генезис рассматриваемой проблемы прослеживается в трансформации отечественных нормативных документов. Ведомственные строительные нормы ВСН 84-89 [10] впервые закрепили требование обязательного геокриологического прогноза, включая расчет ореолов оттаивания и пучения, где теплоизоляция рассматривалась как значимый фактор влияния. В последующем, СП 313.1325800.2017 [3] существенно расширил эту концепцию, установив наряду с конструктивными параметрами пороговые значения физико-механических свойств материалов: теплопроводности, водопоглощения и прочности. Данный свод правил предоставил инструментарий для квалифицированного выбора материала, ориентированного на теплотехническую функцию.

Особое место в эволюции инженерных подходов занимают «Методические рекомендации по проектированию и устройству теплоизоляционных слоев дорожной одежды из пенополистирольных плит «Пеноплэкс»» (2001 г.) [11]. Данный документ, разработанный в развитие ОДН 218.046-01 и ВСН 84-89, впервые для отечественной практики предложил комплексную методику расчета и конструирования дорожных одежд с применением экструзионного пенополистирола. В отличие от более позднего СП 313.1325800.2017, который задает лишь пороговые значения свойств, методические рекомендации 2001 г. содержат:

– две альтернативные методики расчета требуемой толщины теплоизоляционного слоя для обеспечения морозоустойчивости: метод, основанный на понятии термического сопротивления конструкции (по В.И. Рувинскому), и метод, использующий экспериментально определяемый коэффициент влагопроводности грунта (по И.А. Золотарю);

– методику учета теплоизоляционного слоя из «Пеноплэкса» в расчете дорожной одежды на прочность, включающую приведение системы «подстилающий грунт + слой утеплителя» к однородному слою с расчетным модулем упругости на его поверхности, а также проверку самого теплоизоляционного слоя на прочность при одноосном сжатии для условий строительства и эксплуатации;

– конструктивные схемы дополнительного слоя основания (ДСО) с теплоизоляционной прослойкой (варианты с

дренирующим песчаным слоем, с геотекстильной прослойкой, с использованием пучинистого грунта над утеплителем);

– требования к физико-механическим свойствам пенополистирольных плит (теплопроводность $\leq 0,032$ Вт/(м·К), водопоглощение $\leq 0,45$ % по объему, прочность при сжатии при 10 % деформации $\geq 0,40$ МПа);

– технологические регламенты устройства теплоизолирующих прослоек, включая требования к выравнивающему слою, защитному слою из песка, способам укладки и защиты плит при производстве работ.

Таким образом, методические рекомендации 2001 г. представляют собой первый и до настоящего времени наиболее полный в отечественной практике пример функционального подхода к нормированию теплоизоляционных материалов для дорожных конструкций. Они содержат замкнутый цикл проектирования: от выбора материала и расчета его параметров (как теплофизических, так и деформативных) до учета его работы в составе многослойной системы при оценке прочности. Однако данный документ разрабатывался в рамках действовавших на тот момент нормативов (ОДН 218.046-00, ВСН 84-89) и не учитывал современные расчетные модели, заложенные в ГОСТ Р 71404-2024, а также современные требования к долговечности материалов, методам испытаний (включая циклическое нагружение и комплексные климатические воздействия) и системе функциональной стандартизации геосинтетических материалов.

При этом магистральный вектор развития расчетной методологии, реализованный в ГОСТ Р 71404-2024 [12], оказался ориентирован преимущественно на механическую модель работы конструкции. Данный стандарт детально регламентирует проверки по критериям упругого прогиба, сдвигоустойчивости и сопротивления усталостному разрушению. А установленное в разделе морозоустойчивости указание свидетельствует о том, что расчет дорожной одежды с применением теплоизолирующих материалов выполняются по методикам, приведенным в соответствующих нормативных документах и технической документации. Таким образом, в настоящее время вопросы организации теплоизоляционных слоев находятся за пределами прямой области применения ГОСТ Р 71404-2024. Более того, область применения указанного стандарта ограничена дорожно-климатическими зонами II-V,

исключая зону I, что, фактически, выводит основную территорию криолитозоны из сферы его формального применения.

Складывается парадоксальная ситуация методологического дуализма. С одной стороны, прочность конструкции оценивается по принципу многослойной упругой системы. С другой стороны, тепловое состояние основания, определяющее возможность существования этой системы на мерзлоте, рассчитывается по иным, часто полуэмпирическим методикам, слабо связанным с механической моделью. Теплоизоляционный слой должен одновременно соответствовать двум группам требований: сохранять механическую целостность под нагрузкой и обеспечивать стабильность теплофизических характеристик в условиях эксплуатационного увлажнения, циклического замораживания-оттаивания и длительного сжатия.

ГОСТ Р 59120-2021 [13] вводит принципиально важное понятие – «дополнительные слои основания дорожной одежды», определяемые как слои, предусматриваемые для обеспечения требуемой морозоустойчивости и дренирования, позволяющие регулировать водно-тепловой режим конструкции. При этом, согласно ГОСТ Р 59120-2021 (п. 7.5.7), необходимо определять толщину и расположение теплоизоляционного слоя с помощью расчета, однако сам расчет стандарт не приводит, отсылая к иным нормативным документам. Однако в п. 7.3.4 зафиксирована необходимость учета характера многолетнемерзлых грунтов при проектировании в дорожно-климатической зоне I, отсылая к ГОСТ 33149-2014.

ГОСТ 33149-2014 [14] устанавливает три принципа проектирования земляного полотна: сохранение вечномерзлых грунтов в основании; обеспечение допустимых деформаций при частичном оттаивании; предварительное оттаивание с осушением. Для первого принципа ГОСТ 33149-2014 прямо предписывает укладку теплоизоляционных слоев для предотвращения оттаивания основания. Однако стандарт носит концептуальный характер, задавая общие требования к проектированию в сложных условиях, и не содержит детализированных методов расчета теплоизоляционных слоев или требований к их нормируемым характеристикам.

ГОСТ Р 59611-2021 [15] регламентирует проектирование систем поверхностного и подземного водоотвода и содержит принципиальное ограничение: он не распространяется на автомобильные дороги в вечномерзлых грунтах. Данное исключение, с одной

стороны, подчеркивает специфику криолитозоны, требующую отдельных нормативных решений. С другой стороны, стандарт вводит понятие дренирующего слоя как элемента, выполняющего дренирующие и морозозащитные функции, а также регламентирует применение геосинтетических материалов. Это создает прецедент функциональной стандартизации: для функции дренирования устанавливаются конкретные требования к материалам и методам расчета, тогда как для теплоизоляционной функции в условиях мерзлоты аналогичный подход отсутствует.

В связи с этим методические рекомендации 2001 г. [11] представляют собой методический фундамент, который, однако, требует актуализации. Входящие в их состав расчетные методики (теплотехнический расчет через термическое сопротивление, учет теплоизоляции в механической модели, проверка на прочность при сжатии) соответствуют уровню развития нормативной базы на момент их создания, но не учитывают современные требования, предъявляемые к расчету дорожных одежд по ГОСТ Р 71404-2024 (учет циклического нагружения, усталостных явлений, более широкий спектр климатических воздействий), а также современные методы оценки долговечности материалов (циклы замораживания-оттаивания, ползучесть, старение). Более того, в рекомендациях отсутствует единая функциональная увязка нормируемых свойств материала с расчетными параметрами конструкции в терминах, принятых в действующей системе государственных стандартов на геосинтетические материалы (ГОСТ Р 55028, ГОСТ Р 72315 и др.).

Таким образом, можно сделать вывод, что действующая система нормирования и расчета применения теплоизоляционных материалов содержит методологический разрыв. Документы, регламентирующие общие требования к дорожным одеждам (ГОСТ Р 59120-2021 [13]) и проектированию в сложных условиях (ГОСТ 33149-2014 [14]), указывают на необходимость применения теплоизоляции и выполнения расчетов, но не представляют формализованный механизм включения теплофизических свойств материалов в итоговую проверку конструкции на прочность. Параллельно развивающаяся система стандартизации геосинтетических материалов для дренирования (ГОСТ Р 59611-2021 [15]) демонстрирует возможность функционального подхода, но теплоизоляционная функция в криолитозоне по-прежнему не учитывается.

Следовательно, ключевым направлением развития нормативной базы является не создание принципиально новых

подходов, а актуализация и интеграция наработок, содержащихся в методических рекомендациях 2001 г. [11], в современную систему стандартов, гармонизированную с ГОСТ Р 71404-2024, с учетом современных требований к методам испытаний, долговечности материалов и функциональному нормированию геосинтетических материалов.

Значимые характеристики геосинтетических материалов для водно-теплового режима

Анализ действующих документов показывает, что в нормативном поле уже присутствуют отдельные методы оценки геосинтетических материалов, связанные с водопроницаемостью и гидроизоляцией, дренированием, а также оценкой различных физико-механических характеристик и долговечности [10]. В частности, для сплошных геосинтетических материалов (геополотен) существенными оказываются водопроницаемость, характеристика открытых пор, толщина, способность сохранять фильтрующую и дренирующую функцию при обжати и эксплуатации [10].

Однако для задач регулирования водно-теплового режима (далее – ВТР), особенно в специфических условиях мерзлоты, этого набора недостаточно. Нормируемые характеристики должны быть ориентированы не только на материал как на отдельный продукт, но и на работу системы «грунт – геосинтетический материал – грунт» или «грунт – геосинтетический материал – конструктивный слой». В противном случае, возникает ситуация, когда измеренный в лаборатории единичный показатель материала не отражает его реальную эффективность в конструкции.

С научной и прикладной точек зрения в качестве перспективных направлений нормирования следует рассматривать оценку водопроницаемости и фильтрационной способности в контакте с грунтом, дренирующей способности в плоскости материала под нагрузкой, устойчивости к кольматации, способности к капиллярно-прерыванию, изменения теплофизических свойств в процессе эксплуатации, а также сохранения этих свойств при циклическом увлажнении, замораживании и нагружении [10]. Именно в этой части действующей нормативной базой пока скорее определяются общие рамки, но не устанавливается завершенная система требований.

Поэтому тезис о том, что существующие нормируемые характеристики геосинтетиков еще не вполне показательны для

задач ВТР, представляется обоснованным. Более того, он хорошо согласуется с общей логикой развития нормативной базы: в дорожной практике уже используются более сложные инженерные подходы, чем те, которые прямо зафиксированы в ряде действующих стандартов. Следовательно, следующий этап должен быть связан с расширением состава показателей и методов испытаний применительно именно к функциям регулирования ВТР.

Особенности применения теплоизоляционных материалов и пенополистирольных плит

Теплоизоляционные материалы, включая XPS¹-элементы и пенополистирольные плиты, способны выполнять важную функцию управления температурным режимом основания. В зонах сезонного промерзания это позволяет уменьшать глубину проникновения отрицательных температур и снижать риск морозного пучения. В районах распространения многолетнемерзлых грунтов теплоизоляционный слой может выступать элементом стабилизации мерзлого основания и ограничения техногенного протаивания.

Вместе с тем такие решения нельзя рассматривать как универсальную замену дренажу. Их корректное применение возможно только в составе комплексной системы, объединяющей водоотвод, дренирующие слои, разделительные прослойки, морозозащитные мероприятия и собственно теплоизоляцию. Иначе возникает риск некорректной инженерной интерпретации, при которой теплотехническое решение подменяет собой гидрологическое.

Не менее важно и то, что включение теплоизоляционной прослойки в конструкцию потенциально влияет не только на ВТР, но и на напряженно-деформированное состояние дорожной одежды. Если материал обладает меньшей жесткостью по сравнению с традиционными минеральными слоями, это может приводить к изменению распределения напряжений, росту деформаций и снижению общей структурной жесткости системы. Именно поэтому оценка теплоизолирующего эффекта не должна проводиться в отрыве от расчета конструкции по прочности и деформативности.

Циклическое испытание с пенопластом

Применение теплоизоляционных материалов в дорожных конструкциях на многолетнемерзлых грунтах, несомненно,

¹ XPS – eXtruded PoliStyrene – экструдированный пенополистирол.

является перспективным и высокоэффективным инженерным решением, позволяющим целенаправленно регулировать водно-тепловой режим основания и обеспечивать сохранение мерзлого состояния грунтов в соответствии с первым принципом проектирования по ГОСТ 33149-2014 [14]. Однако, как показывает практика и результаты экспериментальных исследований, включение в конструкцию слоя, обладающего принципиально иными деформативными характеристиками, нежели традиционные минеральные материалы, может оказывать существенное влияние на ее напряженно-деформированное состояние и, как следствие, на расчетные параметры прочности.

Метод, закрепленный в ГОСТ Р 71404-2024 [12], ориентирован на оценку прочности дорожной одежды по трем основным критериям, одним из которых является допустимый упругий прогиб. Данный критерий характеризует обратимость величины вертикального перемещения конструкции от исходного положения под воздействием многократно прилагаемых нагрузок и напрямую зависит от модулей упругости всех конструктивных слоев. Введение в эту систему слоя из полимерного теплоизоляционного материала (пенопласта, экструзионного пенополистирола и других геосинтетических материалов) изменяет общую жесткость конструкции и перераспределяет напряжения в нижележащие слои.

В связи с этим особое значение приобретают технологические требования по защите теплоизоляционного слоя от повреждений при устройстве вышележащих слоев дорожной одежды. Так, в методических рекомендациях по проектированию и устройству теплоизоляционных слоев из пенополистирольных плит «Пеноплэкс» (2001 г.) [11] присутствует требование, что над плитами необходимо устраивать защитный слой из песка толщиной не менее 30 см, который предотвращает прямое контактное воздействие крупнообломочных материалов и строительной техники.

В рамках подготовки настоящей статьи авторами был проведен экспериментальный цикл, направленный на количественную оценку влияния прямого контакта слоя щебня с пенополистирольной плитой на накопление остаточных деформаций в условиях циклического нагружения. Испытание выполнялось на основе принципов, заложенных в ГОСТ Р 56336 [16].

В экспериментальном образце слой щебня толщиной 75 мм укладывался непосредственно на плитный теплоизоляционный материал (пенополистирол) без какой-либо разделительной или

защитной прослойки, что моделировало нарушение технологических требований. Пенополистирольная плита, в свою очередь, размещалась на жестком металлическом основании, исключая его деформацию. Для сравнительной оценки был изготовлен эталонный образец той же высоты, состоящий из двух слоев щебня (75 мм + 75 мм) без теплоизоляции.

На обе конструкции через металлический штамп подавалась циклическая синусоидальная нагрузка в диапазоне от 5 до 500 кПа в количестве 200 циклов с частотой 1 Гц, что моделирует многократное воздействие нагрузки при укладке и последующей эксплуатации теплоизоляционного материала в дорожных конструкциях (рис. 1).

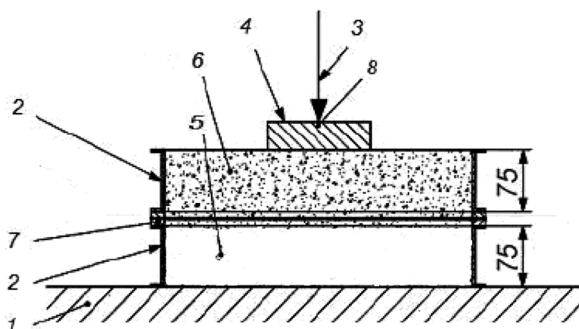


Рис. 1. Схема экспериментальной конструкции (по ГОСТ Р 56336-2015):

- 1 – массивное основание; 2 – испытательная форма;
- 3 – прикладываемая нагрузка; 4 – нагрузочная плита;
- 5 – плитный теплоизоляционный материал;
- 6 – дискретный наполнитель; 7 – прокладки;
- 8 – сферическое гнездо

По результатам эксперимента зафиксировали принципиально важное явление: величина накопленной остаточной деформации (просадки) под нагрузочной плитой для конструкции «щебень – пенополистирол» оказалась на 38 % выше, чем у эталонной конструкции аналогичной высоты, выполненной из щебня (рис. 2).

Анализ характера деформирования позволил установить причины данного эффекта. Под действием циклической нагрузки происходило локальное разрушение поверхностного слоя пенопласта в зонах контакта с острыми гранями щебеночных частиц, а также его деформация. Разрушенный материал терял несущую способность, что приводило к заглублению щебня в тело теплоизоляционной плиты. Отсутствие армирующей геосинтетической

прослойки усугубило процесс взаимопроникновения материалов, исключив перераспределение контактных давлений.

Просадка верхнего слоя

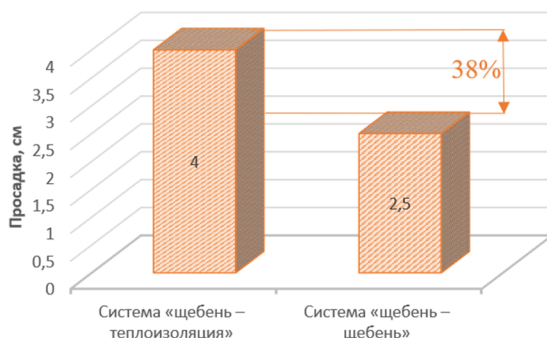


Рис. 2. Работа двухслойной системы под циклическим нагружением (по ГОСТ Р 56336-2015)

Представленные результаты наглядно демонстрируют, что теплоизоляционный слой не является пассивным элементом конструкции, нейтральным по отношению к механическим нагрузкам. Полученные экспериментальные данные служат прямым подтверждением обоснованности технологических требований, изложенных в методических рекомендациях 2001 г. [11], и указывают на важность устройства защитной песчаной прослойки над пенополистирольными плитами. При несоблюдении данных требований присутствие теплоизоляционного слоя может приводить к ослаблению общей жесткости системы и увеличению накопления остаточных деформаций, что напрямую влияет на расчет по критерию допускаемого прогиба.

Следовательно, при принятии решения об устройстве теплоизоляции для обеспечения нормативного теплового режима необходимо одновременно оценивать, как слой изменит механическое поведение дорожной одежды, а также строго соблюдать технологические регламенты, направленные на его защиту. Данное испытание служит эмпирическим обоснованием необходимости нормирования не только теплофизических, но и деформативных характеристик геосинтетических теплоизоляционных материалов, а также подтверждает важность учета взаимодействия материалов смежных слоев для их корректного учета в расчетах дорожных одежд на многолетнемерзлых грунтах.

Развитие нормативной и методической базы

С учетом проведенного анализа можно выделить несколько ключевых направлений развития.

Во-первых, требуется специальная методика оценки теплоизолирующих свойств геосинтетических материалов и теплоизоляционных элементов именно применительно к дорожным конструкциям, а не в отрыве от условий их реальной работы. Для такой методики необходимо учитывать не только исходную теплопроводность, но и изменение свойств под действием влаги, нагрузки, температурных циклов и времени эксплуатации.

Во-вторых, необходимо развивать методики оценки гидравлической эффективности материалов в конструкции. Для задач ВТР недостаточно знать только водопроницаемость свободного полотна; нужно оценивать фильтрацию, дренирование и капиллярно-прерывание в сопряжении с грунтом и минеральными слоями, а также устойчивость этих свойств к заиливанию и обжатию.

В-третьих, требуется обязательная увязка требований к материалам, регулирующим ВТР, с расчетом дорожной одежды по прочности. Нормативно это особенно важно для решений, в которых материал одновременно влияет на тепловой режим и изменяет жесткостную схему конструкции. В противном случае можно получить эффективное теплотехническое решение, которое окажется недостаточно надежным с точки зрения несущей способности.

В-четвертых, перспективным представляется переход к инструментально подтверждаемой модели проектирования, при которой расчетные решения валидируются по данным мониторинга на опытных участках. Для этого целесообразно применять станции наблюдений с контролем температуры и влажности по глубине, а также мониторингом состояния дренажной системы и конструктивных слоев в течение нескольких сезонных циклов. Такой подход позволит перейти от общих предположений о влиянии материала на ВТР к количественно подтвержденным зависимостям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показывает, что применение геосинтетических материалов для регулирования водно-теплового режима автомобильных дорог, в том числе на многолетнемерзлых грунтах, рассматривается как обоснованное и перспективное направление [2-3, 6-8, 11-16]. Современная нормативная база уже признает

необходимость учета ВТР, допускает использование дренирующих, разделительных, армирующих и теплоизоляционных решений и закрепляет отдельные виды соответствующих материалов в зависимости от выполняемой функции согласно ГОСТ Р 55028 [8].

Вместе с тем действующая система пока не обеспечивает полной прямой увязки между измеряемыми характеристиками конкретного геосинтетического материала, его реальной работой в составе конструкции и расчетом дорожной одежды по прочности и долговечности. Влияние ВТР в значительной степени учитывается опосредованно через расчетную влажность, условия увлажнения, дренирующие и изолирующие мероприятия, а также поправочные коэффициенты [12]. Для задач современного развития этого уже недостаточно.

Следовательно, дальнейшее совершенствование требований к геосинтетическим материалам для регулирования ВТР должно идти по трем взаимосвязанным направлениям: разработка специальных методов оценки теплоизолирующих и гидравлических свойств в условиях, приближенных к работе в конструкции; расширение состава нормируемых показателей с учетом функционирования системы «грунт – материал – грунт»; обязательная увязка требований к таким материалам с расчетом дорожной одежды по прочности, деформативности и долговечности. Только при таком подходе геосинтетические материалы смогут рассматриваться не как локальное дополнение к традиционной конструкции, а как полноценный инженерный инструмент управления ВТР и эксплуатационной надежностью автомобильной дороги.

© Никитин Р.И., Медведев Д.В., Никитин М.И., 2026

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Железняк М.Н., Федоров А.Н. Реакция криолитозоны на современные изменения климата: доклад (презентационные материалы). – Якутск, 2024. – 33 с.
2. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: утв. распоряжением Правительства РФ. – 2021. – 285 с.
3. СП 313.1325800.2017. Дороги автомобильные в районах вечной мерзлоты. Правила проектирования и строительства. – 2017. – 73 с.
4. Connor B. Gravel Roads and Airfields Constructed on Permafrost: A Synthesis of Practice. – Fairbanks: Alaska University Transportation Center, University of Alaska Fairbanks, 2020 – 62 P.
5. Galkin A., Pankov V.Yu. Thermal Protection of Roads in the Permafrost Zone // Journal of Applied Engineering Science. – 2022. – P. 395-399.

6. ОДМ 218.5.006-2010. Рекомендации по методикам испытаний геосинтетических материалов в зависимости от области их применения в дорожной отрасли. – 2010. – 67 с.
7. ОДМ 218.5.005-2010. Классификация, термины, определения геосинтетических материалов применительно к дорожному хозяйству. – 2010. – 15 с.
8. ГОСТ Р 55028-2012. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Классификация. Термины и определения. – 2017. – 8 с.
9. ISO 10318:2005. Geosynthetics – Terms and definitions. – 2005. – 7 P.
10. ВСН 84-89. Изыскания, проектирование и строительство автомобильных дорог в районах распространения вечной мерзлоты. – 1989. – 177 с.
11. Методические рекомендации по проектированию и устройству теплоизоляционных слоев дорожной одежды из пенополистирольных плит «Пеноплэкс». – М.: Информавтодор, 2001. – 50 с.
12. ГОСТ Р 71404-2024. Дороги автомобильные общего пользования. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования. – 2024. – 143 с.
13. ГОСТ Р 59120-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожная одежда. Общие требования. – 2021. – 22 с.
14. ГОСТ 33149-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог в сложных условиях. – 2014. – 41 с.
15. ГОСТ Р 59611-2021. Дороги автомобильные общего пользования. Система водоотвода. Требования к проектированию. – 2021. – 28 с.
16. ГОСТ Р 56336-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические. Метод определения стойкости к циклическим нагрузкам. – 2015. – 10 с.

REFERENCES

1. Zheleznyak M.N., Fedorov A.N. Reakciya kriolitozony na sovremennye izmeneniya klimata: doklad (prezentacionnye materialy). – Yakutsk, 2024. – 33 s.
2. Transportnaya strategiya Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda: utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF. – M. – 2021. – 285 s.
3. SP 313.1325800.2017. Dorogi avtomobil'nye v rajonah vечноj merzloty. Pravila proektirovaniya i stroitel'stva. – 2017– 73 s.
4. Connor B. Gravel Roads and Airfields Constructed on Permafrost: A Synthesis of Practice. – Fairbanks: Alaska University Transportation Center, University of Alaska Fairbanks, 2020 – 62 s.
5. Galkin A., Pankov V.Yu. Thermal Protection of Roads in the Permafrost Zone // Journal of Applied Engineering Science. – 2022. – P. 395-399.
6. ODM 218.5.006-2010. Rekomendacii po metodikam ispytanij geosinteticheskikh materialov v zavisimosti ot oblasti ih primeneniya v dorozhnoj otrasli. – 2010. – 67 s.
7. ODM 218.5.005-2010. Classification, terms, definitions of geosynthetic materials in relation to road construction. – 2010. – 15 s.
8. GOST R 55028-2012. Public roads. Geosynthetic materials for road construction. Classification. Terms and definitions. – 2017. – 8 s.
9. ISO 10318:2005. Geosynthetics – Terms and definitions. – 2005. – 7 s.
10. VSN 84-89. Izyskaniya, proektirovanie i stroitel'stvo avtomobil'nyh dorog v rajonah rasprostraneniya vечноj merzloty. – 1989. – 177 s.

11. *Metodicheskie rekomendacii po proektirovaniyu i ustrojstvu teploizolyacionnyh sloev dorozhnoj odezhdy iz penopolistirol'nyh plit «Penopleks».* – М.: Informavtodor. – 2001. – 50 s.
12. *GOST R 71404-2024. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Nezhestkie dorozhnye odezhdy. Pravila proektirovaniya.* – 2024. – 143 s.
13. *GOST R 59120-2021. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Dorozhnaya odezhda. Obshchie trebovaniya.* – 2021. – 22 s.
14. *GOST 33149-2014. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Pravila proektirovaniya avtomobil'nyh dorog v slozhnyh usloviyah.* – 2014. – 41 s.
15. *GOST R 59611-2021. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Sistema vodootvoda. Trebovaniya k proektirovaniyu.* – 2021. – 28 s.
16. *GOST R 56336-2015. Dorogi avtomobil'nye obshchego pol'zovaniya. Materialy geosinteticheskie. Metod opredeleniya stojkosti k ciklicheskim nagruzkam.* – 2015. – 10 s.

Информация об авторах

Р.И. Никитин – студент, Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), Академия дорожного хозяйства, Москва, Россия

Д.В. Медведев – первый заместитель генерального директора, АНО «Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса» (АНО «НИИ ТСК»), Москва, Россия

М.И. Никитин – инженер, Общество с ограниченной ответственностью «Инновационный технический центр» (ООО «ИТЦ»), Москва, Россия

Information about the authors

R.I. Nikitin – student, the Russian University of Transport (RUT (MIIT)), Academy of Road Management, Moscow, Russia

D.V. Medvedev – First Deputy General Director, ANO «Scientific Research Institute of Transport and Construction complex» (ANO «NII TSK»), Moscow, Russia

M.I. Nikitin – Engineer, Limited liability company Innovative Technical Center (LLC «ITC»), Moscow, Russia

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Рецензенты: канд. техн. наук, заместитель директора департамента научно-технического развития и стандартизации А.С. Конорев; канд. техн. наук, начальник отдела конструкций земляного полотна И.А. Рахимова (Российский дорожный научно-исследовательский институт (ФАУ «РОСДОРНИИ»)).

Статья поступила в редакцию 27.03.2026. Одобрена после рецензирования 10.04.2026. Принята к публикации 22.04.2026.

The article was submitted 27.03.2026. Approved after reviewing 10.04.2026. Accepted for publication 22.04.2026.