

Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023. № 2. (119). С. 6-18.

Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous District. 2023. № 2. (119). P. 6-18.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Научная статья

УДК 625.12: 624.139.62

doi: 10.26110/ARCTIC.2023.119.2.001

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УСИЛЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ, ПОДВЕРЖЕННОГО ДЕФОРМАЦИЯМ ПУЧИН, ПРОСАДОК И ОСАДОК НА СЛАБЫХ ОСНОВАНИЯХ

Андрей Александрович Зайцев

Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ)), Москва, Россия

andrei.zaitsev2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8931-0552>

Аннотация. В статье приведены результаты анализа актуальных методов оценки состояния и мероприятий по усилению земляного полотна железных дорог вследствие деформаций: пучин, просадок и осадок на слабых основаниях. Обсуждаются результаты диагностики земляного полотна на слабом основании, требования и варианты конструктивных решений по защите земляного полотна на участках, подверженных сезонному промерзанию. Приведены результаты анализа материалов по полномасштабному тестированию земляного полотна северных регионов при действии нагрузок от подвижного состава.

Ключевые слова: инфраструктура, железные дороги, деформации земляного полотна, диагностика, мониторинг, пучение грунта, защитные слои, слабые основания, усиление, полномасштабное тестирование.

Цитирование: Зайцев А.А. Решение задачи усиления земляного полотна железных дорог, подверженного деформациям пучин, просадок и осадок на слабых основаниях // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2023.(119). № 2. С. 6–18. doi: 10.26110/ARCTIC.2023.119.2.001.

Original article

THE PROBLEM SOLVING FOR THE OF STRENGTHENING THE RAILWAY SUBGRADE, WHICH IS SUBJECT TO DEFORMATIONS DUE WITH THE HEAVING, SETTLEMENTS AND DEFLECTION ON WEAK FOUNDATION

Andrey Al. Zaytsev

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

andrei.zaitsev2010@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8931-0552>

Abstract. The article presents the results of the analysis of current methods for assessing the condition and measures to strengthen the railway roadbed due to deformations: depths, subsidence and sediment on weak foundations. The results of diagnostics of the roadbed on a weak foundation, requirements and options for constructive solutions for the protection of the roadbed in areas subject to seasonal freezing are discussed. The results of the analysis of materials on full-scale testing of the roadbed of the northern regions under the action of loads from rolling stock are presented.

Keywords: infrastructure, railways, diagnostics, monitoring, soil heaving, protective layers, weak foundations, full-scale testing, deformation of the subgrade.

Citation: Zaytsev A.Al Solving's of the problem of strengthening the railway subgrade, which is subject to deformations due with the heaving, settlements and deflection on weak foundation // Scientific Bulletin of the Yamal-Nenets Autonomous district. 2023. (119). № 4. P. 6–18. doi: 10.26110/ARCTIC.2023.119.2.001.

Введение

Ямало-Ненецкий автономный округ (ЯНАО) – динамично развивающийся регион России, которому в 2023 году исполняется 93 года. Важнейшее значение для ЯНАО имеет развитие инфраструктуры транспорта и сокращение ориентации на сезонные его виды. Таким образом, развитие инфраструктуры автодорожного и железнодорожного транспорта имеет для региона важнейшее значение.

В настоящее время в области инфраструктуры железнодорожного пути и путевого хозяйства в значительной степени проработаны вопросы оценки состояния и обеспечения надежности земляного полотна железнодорожного пути в северных регионах с сезонным промерзанием грунтов, этот опыт актуален и в значительной степени может быть использован в регионах с многолетнемерзлыми грунтами [1-10].

***Вопросы оценки состояния и обеспечения надежности земляного
полотна железнодорожного пути в северных регионах с сезонным
промерзанием грунтов***

Для обеспечения безопасного и непрерывного движения подвижного состава жизненно необходимы систематические (постоянные) осмотры, проверки пути, ведение работ текущего содержания в зимний период – рисунок 2 [1].

Земляное полотно, как известно, предназначено для восприятия нагрузок от верхнего строения пути и подвижного состава, и распределением на грунтовое основание [1-6]. Оценка состояния земляного полотна помогает заранее выявить все неисправности его элементов, вовремя устранить неполадки по результатам осмотров и проверок пути, выявить причины их возникновения.

Увеличение интенсивности движения поездов приводит как к увеличению износа элементов железнодорожного пути, так и к сокращению времени по выделению «окон» для проведения ремонтных работ. Это означает, что оценка и мониторинг состояния железнодорожного пути являются решающей задачей для управляющих инфраструктурой [1-4]. При мониторинге состояния железнодорожного пути используют различные технологии. Так стратегия цифровой трансформации ОАО «РЖД» от 23.08.2021 №40 предусматривает создание целенаправленных цифровых платформ и в т.ч. по направлению развития «Диагностика и предиктивная аналитика объектов инфраструктуры и подвижного состава» реализуются в информационно-аналитической системе комплексной диагностики и мониторинга железнодорожной инфраструктуры ОАО «РЖД». В настоящее время такая цифровая платформа (ЕК АСУИ СДМИ [4]) введена в постоянную эксплуатацию на сети и активно развивается, что позволит в конечном итоге обеспечить прогноз изменения состояния инфраструктуры, снизить эксплуатационные расходы на ее диагностику и содержание [4].

В части инфраструктуры всесезонного транспорта - в земляном полотне деформации возникают по ряду причин: недостаточной несущей способности грунтов, из которых оно возведено; мощности верхнего строения пути, и его соответствия нагрузкам от подвижного

состава; отсутствию защитных слоев в верхней части земляного полотна на участках, где их устройство необходимо по условиям эксплуатации; недостаточной инженерной защите земляного полотна от неблагоприятных воздействий климатических и инженерно-геологических факторов (оползней, селей, наводнений); низком качестве содержания верхнего строения пути, например, когда не обеспечивается отвод атмосферных вод от основной площадки; не качественной эксплуатации малых водопропускных сооружений. Накопление дефектов может приводить к росту деформативности земляного полотна и возникновению отказов.

Так, например, диагностика насыпей на слабых основаниях позволяет выявить причины упругих и остаточных осадок, запроектировать мероприятия по ликвидации таких барьерных мест.

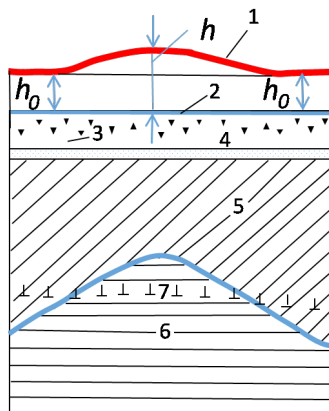


Щуп геолога для
контроля глубины
болота

Рис. 1. Насыпь на торфяном болоте (Архангельская область)

Проблемы сезонного промерзания (пучин на железнодорожном пути)

В период сезонного промерзания и оттаивания грунтов при наличии неоднородных грунтов, при неравномерном увлажнении, при загрязнённом балластном слое и при неисправностях водоотводов возникают пучины [5]. Пучиной считают неравномерное морозное пучение, вызывающее поднятие рельсошпальной решетки с искажениями колеи в профиле и по уровню, превышающие нормы содержания пути – рисунок 2. Пучины на железнодорожном пути проявляются в виде горбов; впадин или перепадов.



Двухпутный участок железной дороги

- 1 – уровень головки рельса зимой (пучинный «горб»);
 2 – уровень головки рельса летом;
 3 – балластный слой; 4 – песчаная подушка; 5, 6 – глинистые грунты;
 7 – граница промерзания;
 h_0 – величина максимального пучения (вершина «горба»);
 h_0 – величина равномерного пучения

Рис. 2. Пучины (пучинный «горб») на железнодорожном пути



Рис. 3. Пучины на железнодорожном пути. Деформации основной площадки [5]

Пучение грунта (таблица 1) наряду с балластными углублениями и выплесками балласта является фактором искажений в нормальной работе основной площадки земляного полотна, ее деформативности – рисунок 2. Деформации пучин в зимний период приводят к нарастанию отступлений содержания рельсовой колеи – рисунок 3.

Таблица 1. Характеристика грунтов по интенсивности пучения

Виды грунта	Интенсивность пучения f , доли единицы	Характеристика грунтов
Практически непучинистый	$f < 0,01$	Глинистые при $I_L \leq 0$. Пески гравелистые, крупные и средней крупности, пески мелкие и пылеватые при $S_r \leq 0,6$, а также пески мелкие и пылеватые ... , крупнообломочные грунты с заполнителем до 10%
Слабопучинистый	$0,01 \leq f \leq 0,035$	Глинистые при $0 < I_L \leq 0,25$. Пески пылеватые и мелкие при $0,6 < S_r \leq 0,8$. Крупнообломочные с заполнителем (глинистым, песком мелким и пылеватым) от 10 до 30% по массе
Среднепучинистый	$0,035 < f \leq 0,07$	Глинистые при $0,25 < I_L \leq 0,50$. Пески пылеватые и мелкие при $0,80 < S_r \leq 0,95$. Крупнообломочные с заполнителем (глинистым, песком мелким и пылеватым), более 30 % по массе
Сильнопучинистый и чрезмернопучинистый	$0,07 < f \leq 0,1$ $f > 0,01$	Глинистые при $I_L > 0,5$. Пески пылеватые и мелкие при $S_r > 0,95$



поезд для выполнения работ текущего содержания

Рис. 4. Фиксация отступлений содержания рельсовой колеи при проходе вагона – путеизмерителя, справа на рисунке – проезд для выполнения работ текущего содержания пути

При ликвидации пучинных мест традиционно выделяют три способа: снижение влажности грунтов в рабочей зоне земляного полотна с помощью дренажных конструкций; замена пучинистых грунтов на всю глубину пучинообразования непучинистыми материалами; недопущение промерзания пучинистых грунтов с использованием накладных или врезных подушек из непучинистых грунтов или теплоизолирующих материалов, в том числе пенополистирольных покрытий – рисунок 5.

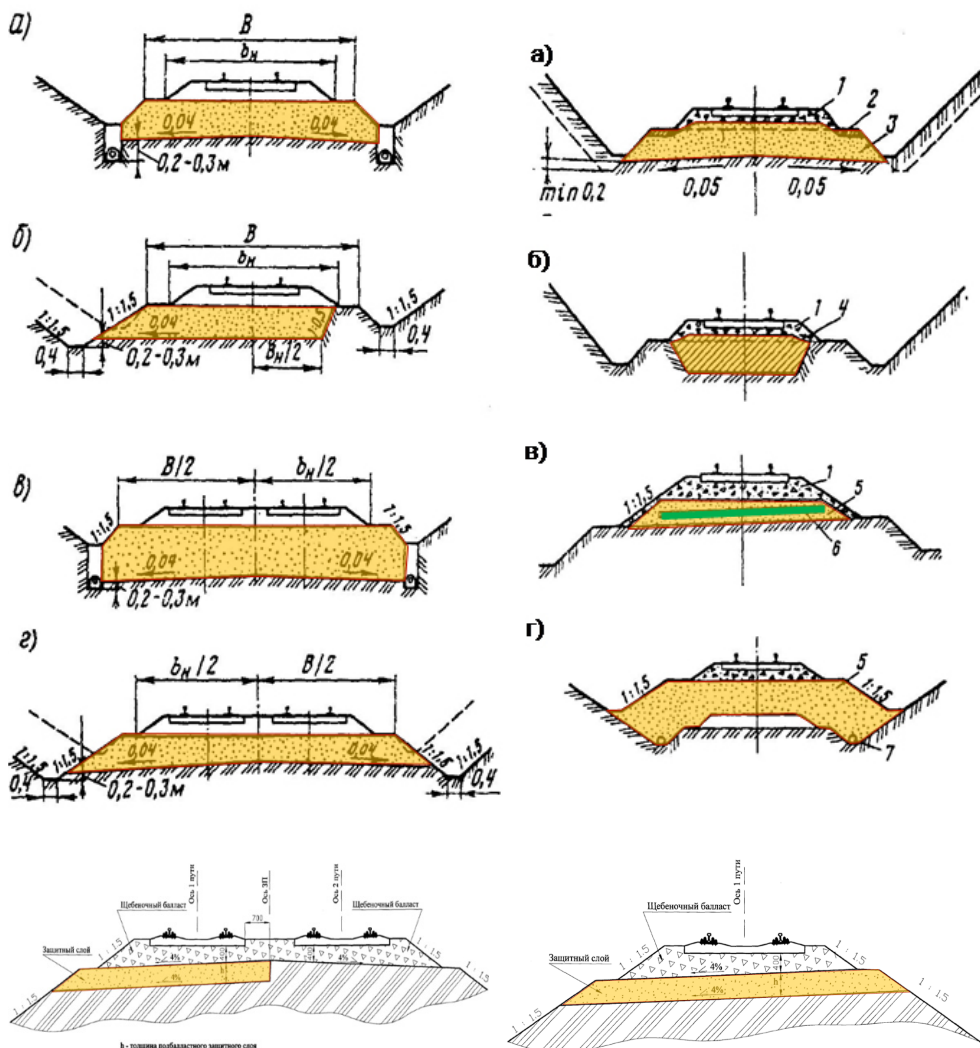


Рис. 5. Варианты технических решений по обеспечению стабильности железнодорожного пути на участках проявления пучин по ЦП 4369- 1986 г. и варианты современных конструкций защитных слоев для двухпутного и однопутного участка (по инструкции N2544р).

Проблемой ликвидации (борьбы) с пучинами на железных дорогах занимались различные научные коллективы. В последней четверти XX века коллективами ученых и специалистов МИИТ, ВНИИЖТ, НИИЖТ и др. были разработаны указания по устранению пучин и просадок железнодорожного пути (1986 г.), технические указания по применению пенопластовых покрытий для предупреждения появления пучин (1976 г.), а также технические указания по устранению пучин и просадок железнодорожного пути (1998 г.). Согласно этих норм расчет глубин промерзания с противодеформационными мероприятиями может выполняться с применением уравнений эквивалентности (метод Г.М.Шахунянца) промерзания в следующей последовательности: выбирают вид теплоизоляционного материала либо грунт защитного слоя и определяют его коэффициент эквивалентности промерзания; определяют глубину промерзания эквивалентного грунта и, фактическую глубину промерзания при устройстве теплоизоляции либо защитного слоя; рассчитывают величину пучения и сравнивают с допустимой величиной. Так, например, при интенсивности пучения f равной 0,045 (таблица 1), определяется среднепучинистый.

Работа по совершенствованию нормативной базы продолжается и в наши дни - в ОАО «РЖД» в текущем году проводится работа по актуализации технических указаний по устранению пучин и просадок железнодорожного пути. Выполнен анализ применения нормативной документации по устранению пучин и просадок пути, выявлению насколько используемая документация отвечает современным потребностям и методам работы. Проводятся инструментальные осмотры по оценке геометрических параметров железнодорожного пути в зависимости от грунтовых условий и условий текущего содержания участков проявления пучин и просадок, включающих в себя натурные измерения пучин и просадок на натуральных объектах Московской и Северной Дирекций инфраструктуры.

Как известно глубина промерзания напрямую зависит от температуры воздуха, чем дольше держится низкая температур, тем глубже промерзает грунт в течение зимнего периода. На промерзание влияют также тип и физические свойства грунта, например, у скальных грунтов интенсивность пучения минимальна. Высока зависимость величины глубины промерзания от залегания грунтовых вод (что влияет на такие деформации как наледи), от количества выпавших атмосферных осадков (снега) и влажности грунта.

В защитных слоях (слое грунта верхней части насыпи повышенной прочности) - рисунок 5) применяют непучинистые грунты, специально подбираемые на карьерах (необогатенные) песчано - гравийные смеси, или (что более технически оправданно) – ЩПГС – щебеночно-песчано-гравийные смеси (рисунок 6). Применением защитного слоя в известной степени решается задача снижения деформативности основной площадки земляного полотна.

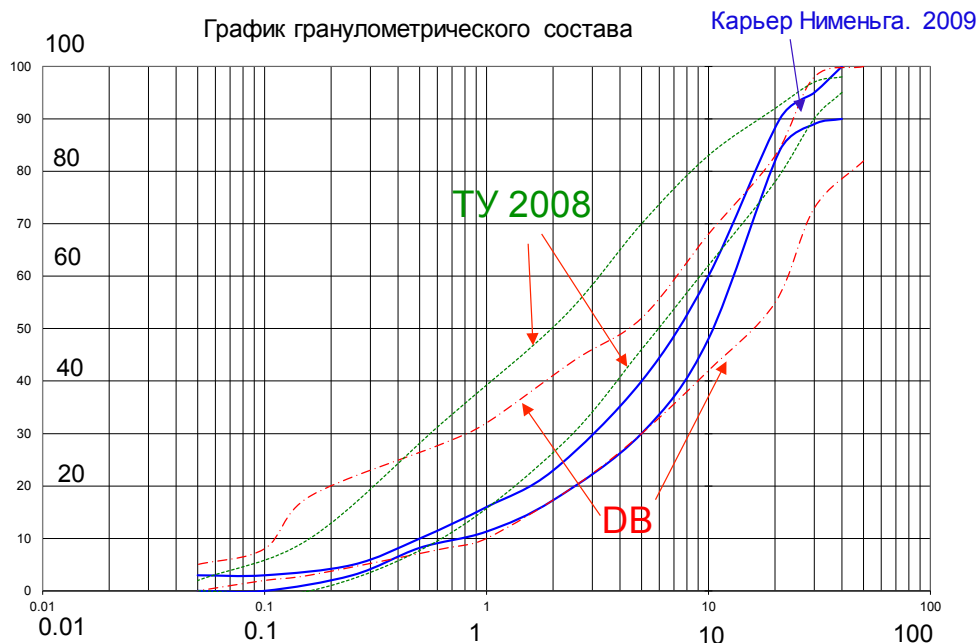


Рис. 6. Гранулометрический состав материала защитного слоя (карьер Нименьга)

Проблемы стабилизации земляного полотна на слабых основаниях

Как видно из фотографии, представленной на рисунке 1, деформации насыпей на слабых основаниях, особенно в северных регионах занимают значительное место в объеме проблемных вопросов эксплуатации инфраструктуры железных дорог. Нормативная величина заложения откосов насыпей до 6 м высоты в нашей стране по большей части 1:1,5, также как, например, в Финляндии [9]. Введение более высоких нагрузок на ось на подвижном составе, а также возрастающая интенсивность нагрузок за счет увеличения пар поездов в сутки, увеличивают скорость накопления постоянных деформаций в конструкции насыпи. Для оценки возможных методов усиления насыпей на Финских железных дорогах (полигон на западе страны) были проведены исследования по полномасштабному тестированию насыпей на слабых основаниях [9].

Одним из методов обследования является изучение накопления деформаций в насыпях железнодорожных путей, вызванных повторяющимися нагрузками на ось поездов. Благодаря возможности долгосрочных исследований, были получены следующие результаты. Ширина насыпи, величина обочины и величина заложения откоса оказывают заметное влияние на скорость накопления постоянных деформаций. Мониторинг

накопленных постоянных деформаций на нескольких участках земляного полотна проводился, при этом на каждом из участков измерения были проведены по двум поперечным профилям, отстоящим на расстоянии 10 м. В каждом из измерительных поперечных сечений в грунте насыпи было устроено по шесть опорных точек [9]. Опорные точки были установлены симметрично по откосам - сторонам насыпи по вертикальным створам, отстоящим на 0,25 м, 0,75 м и 1,50 м от подошвы балластной призмы. После установки поздней осенью хуз-координаты контрольных точек измерялись два раза в год с помощью тахеометра в течении трех лет. Благодаря проведенным исследованиям (подконтрольной эксплуатации), был проведен анализ, показавший, что ширина основной площадки насыпи и угол откоса (заложение откоса) оказывают заметное влияние на скорость накопления постоянных деформаций в многократно нагруженной насыпи. На участках насыпи с более крутыми откосами расширение (уположение под нагрузкой) происходило более чем в два раза быстрее, чем на тех, которые имели более широкую основную площадку, либо имели более пологие откосы – рисунок 7.

На отечественных железных дорогах задача усиления земляного полотна успешно решается с применением свайных конструкций, в т.ч. из традиционного для нашей страны материала – древесины, конструкция долговечна будучи защищена от контакта с открытым воздухом и в тоже время технологична – рисунок 8.

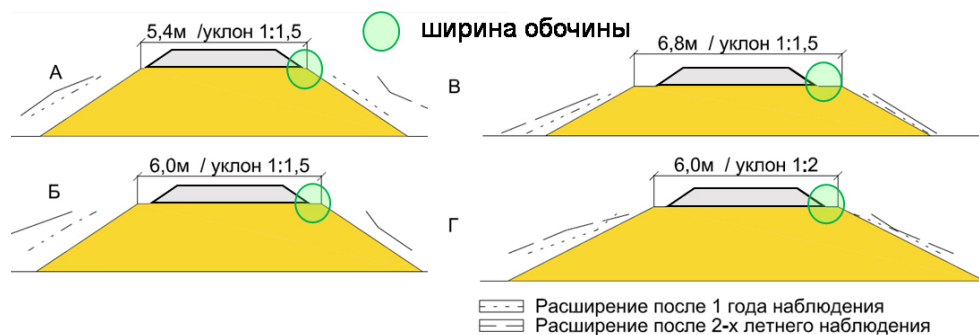
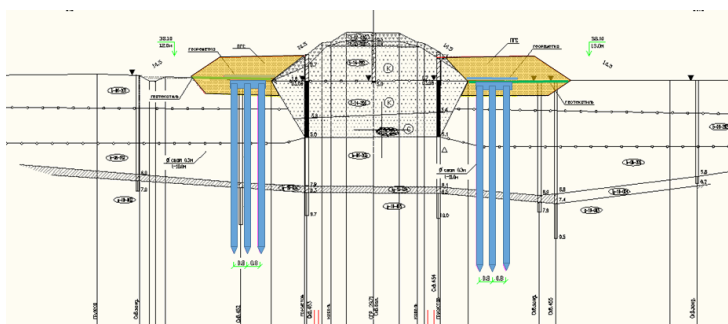


Рис. 7. Результаты полномасштабного тестирования насыпей на полигоне [9]



Вариант с деревянными сваями — три свай
(по проекту Гипротранспуть)

Рис. 8. Усиление земляного полотна железных дорог свайной конструкцией и бермой

Заключение

В статье приведены результаты анализа данных и предложены варианты решения проблем эксплуатации земляного полотна на участках, подвергаемых сезонному промерзанию [1-10].

Показаны условия проявления пучин, увязываемых с наличием в земляном полотне, особенно в верхней его части среднепучинистых, сильнопучинистый и чрезмернопучинистых грунтов. Эволюция мероприятий в этой области направлена на устройство защитных слоев на участках железнодорожного пути, в т.ч. с применением пенополистирольных покрытий.

Во второй части статьи приведены результаты анализа полномасштабных, полигонных испытаний насыпей в северных регионах, показавших необходимость обеспечения требуемой ширины обочины и уположения откосов насыпей, а также усиления земляного полотна от деформаций выпирания свайной конструкцией.

Список источников

1. ГОСТ Р 58948-2020 Дороги автомобильные общего пользования. Дороги автомобильные зимние и ледовые перепады. Технические правила устройства и содержания ГОСТ Р от 05 августа 2020 г. № 58948-2020
2. Полярная магистраль / [Афанасьев М. Ю. и др.] ; под общ. ред. Т. Л. Пашковой. - Москва : ВЕЧЕ, 2007. - 441, [1] с., [24] л. ил., портр., цв. ил., портр. : ил., портр.; 25 см.; ISBN 978-5-9533-1688-0
3. Шепитько Т.В., Зайцев А.А., Тенирядко Н.И., Бучкин В.А. Транспортное развитие северных территорий России // Известия Транссиба. 2021. № 3 (47). С. 116-130.
4. Тарабрин В.Ф., Юрченко Е.В., Лохач А.В. ЕК АСУИ СДМИ - цифровая платформа для предиктивного анализа и управления состоянием железнодорожной инфраструктуры // Путь и путевое хозяйство. 2022, № 6. С. 25-28.
5. Ашпиз Е.С. Усиление основной площадки земляного полотна в условиях ТРАНСИБА / Доклад на конференции «Трансиб на рубеже ХХ-ХХI вв», МГУ ПС 2003
6. Шепитько Т.В., Зайцев А.А., Тенирядко Н.И., Бучкин В.А. Транспортное развитие северных территорий России // Известия Транссиба. 2021. № 3 (47). С. 116-130.
7. Леонюк В.В. «Парниковый эффект» ударил по Северной // Гудок, Выпуск № 4 01.02.2008
8. ГОСТ 25100 – 2011 Классификация грунтов
9. Kolisoja P., Kalliainen A., Modeling of the effect of embankment dimensions on the mechanical behavior of railway track // Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering; M. Hamza et al. (Eds.), 2009, P.2080-2083
10. Шепитько Т.В., Зайцев А.А., Сериков С.И., Артюшенко И.А., Нестеров И.В. Полевые работы по изысканиям и мониторингу грунтовых условий в обоснование проекта железнодорожной линии на направлении Уренгой - Норильск, как связующей магистрали ЯНАО - Красноярский край // В сборнике: Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике. Салехард, 2021. С. 480-483.

Сведения об авторе

Андрей Александрович Зайцев, 1974 г.р., окончил Московский государственный университет путей сообщения (Российский университет транспорта) в 1996 году по специальности «Строительство железных до-

рог, путь и путевое хозяйство», с 2000 года кандидат технических наук. Сфера научных интересов: Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог. Разработка и рецензирование нормативных документов с разделами по применению армогрунтовых конструкций, усилению земляного полотна на слабых основаниях (в т.ч. на объектах ЯНАО и севера Красноярского края), усилению железнодорожного пути на скально-обвальных участках. Применение геосинтетических материалов в конструкциях железнодорожного пути. Полевые методы контроля качества сооружения земляного полотна, оценки его деформативности (по параметрам оценки устойчивости, несущей способности и деформативности). Физическое моделирование земляного полотна и его обустройств, вопросы эффективности геосинтетических материалов в части оценки фильтрационных свойств. Оценка качества сооружения земляного полотна и армогрунтовых конструкций. Расчетная оценка в области проектирования объектов земляного полотна на слабых основаниях. Развитие, актуализация и активизация вопросов проектирования и строительства транспортной инфраструктуры в Арктической зоне Российской Федерации.

Статья поступила в редакцию 25.05.2023 г., принята к публикации 15.06.2023 г.

The article was submitted on May 25, 2023, accepted for publication on June 15, 2023.