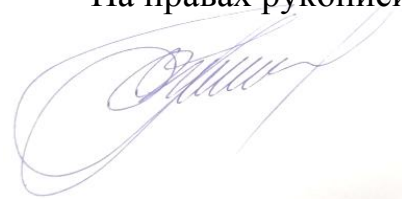


На правах рукописи



ТУКМАКОВА Оксана Викторовна

**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ**

Специальность 2.9.2 – Железнодорожный путь, изыскание и проектирование
железных дорог

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Хабаровск – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ДВГУПС).

Научный руководитель:

Жданова Светлана Мирзахановна, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

Официальные оппоненты:

Хохолов Юрий Аркадьевич, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории горной теплофизики обособленного подразделения Института горного дела Севера им. Н.В.Черского Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

Мошенжал Андрей Вячеславович, кандидат технических наук, главный инженер проектов общества с ограниченной ответственностью «МИАКОМ СПб»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет»

Защита состоится «11» октября 2022 года в 15:15 часов на заседании диссертационного совета 44.2.001.01 (Д 218.003.07) при ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» по адресу:

680000, г. Хабаровск, ул. Серышева, д. 47, ауд.204

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», <https://dvgups.ru/2015-08-19-05-45-43/upravlenie-aspirantury-i-doktorantury/2221-dopolnitelnye-stati-i-dokumenty-uaid/16956-tukmakova-oksana-viktorovna-2-9-2-11-10-2022-goda>

Автореферат разослан «16» июля 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета: Кабалык Юрий Сергеевич



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

В соответствии с посланием президента России Федеральному Собранию и указом президента от 7 мая 2018 года №204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», а также с учетом «Стратегии 2030» перед российскими учеными и инженерами стоят задачи по развитию инфраструктурного комплекса Российских зеленых дорог и вхождению в ТОП-10 мировых компаний по инфраструктурному развитию, развитию Восточного полигона и Северного широтного хода. При этом под развитием Восточного полигона понимается четкая задача построить 2156 км дополнительных железнодорожных путей в течение нескольких ближайших лет.

Строительство новых и реконструкцию существующих железнодорожных линий предполагается осуществить в сложных инженерно-геологических условиях Дальневосточного региона. Как известно, суровые тяжелые природные условия приводят к скорому появлению и развитию деформаций в земляных инфраструктурных сооружениях, что требует индивидуального подхода к выбору мероприятий по стабилизации земляного полотна и выбору их расчетно-теоретического обоснования. Типовые существующие решения, применяемые для стабилизации земляного полотна двухпутных линий на участках с различными топографическими условиями, в течение периода эксплуатации не всегда неэффективны, что проявляется в нарушении целостности земляных сооружений, постоянных деформациях, появлении угрозы безопасности и бесперебойности движения поездов.

Объектом исследования является земляное полотно дополнительных строящихся и подлежащих модернизации существующих путей железнодорожных линий в северных регионах, в том числе, на многолетнемерзлых грунтах.

Цель исследования – разработка и расчетно-теоретическое обоснование технических решений, обеспечивающих стабильность и долговечных дополнительных путей, их безопасность при эксплуатации в сложных мерзлотно-грунтовых условиях, а также целостность двухпутной конструкции.

Задачи исследования:

- анализ существующих конструктивно-технологических решений строительства дополнительных железнодорожных путей и противодеформационных конструкций для обеспечения стабильности двухпутного и деформирующегося земляного полотна;
- анализ существующих методик обоснования устойчивости дополнительных путей и применяемых конструктивно-технологических решений в условиях различной топографии холодных регионов;
- критический анализ полноты и достаточности исходных данных в методиках расчетно-теоретического обоснования существующих и новых конструктивно-технологических решений при проектировании дополнительных путей;
- экспериментальное моделирование грунтовых процессов, возникающих и развивающихся при отсыпке второго пути на слабых грунтах;

- разработка новых конструктивно-технологических решений;
- подбор необходимых и достаточных исходных данных для разработанных методик обоснования надежности конструктивно-технологических решений в сложных условиях.

Научная новизна диссертации:

1. Разработаны и обоснованы новые комплексные конструктивно-технологические решения при строительстве и реконструкции дополнительных путей в холодных регионах, направленные на обеспечение устойчивости земляного полотна и обеспечивающие его стабильность за счет осушения грунтов на обводненных участках (*патенты ДВГУПС №2593270; №2618108*);

2. Подобраны необходимые и достаточные компоненты исходных данных для разработки методик расчетно-теоретического обоснования новых конструктивно-технологических решений (*патенты ДВГУПС №2593270; №2618108; №22157; №2208091; №2006552*)

3. Выполнено расчетно-теоретическое обоснование и экспериментальные исследования нового конструктивно-технологического решения по патенту ДВГУПС №2593270 (отсыпка насыпи второго пути), расчетно-теоретическое обоснование и внедрение армодренажной водоотводной системы (патент ДВГУПС №2618108), расчетно-теоретическое обоснование и внедрение в проектной документации (*«ликвидация деформаций земляного полотна железнодорожной линии на км 58 ПК 1 – км 59 ПК 6 перегона Чульбасс–Тенистый железнодорожной линии Беркамит–Томмот–Якутск ОАО «АК «ЖДЯ»*) земляного сооружения на карстующемся основании «упругая эстакада» (патент ДВГУПС №2208091).

Разработанные в соавторстве новые конструктивно-технологические решения и самостоятельно разработанные методики расчетного обоснования для обеспечения стабильности земляного полотна дополнительных железнодорожных путей и усиления существующего земляного полотна, а также осушения его грунтов путем эффективного отвода от него поверхностных и грунтовых вод, позволяют учитывать механизм взаимодействия грунтового материала и армирующих прослоек, влияние на него водонасыщения и осушения многослойного армированного массива, в том числе, за счет температурной сдвижки в положительную сторону в годовом цикле.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке конструктивно-технологических решений, направленных на обеспечение стабильности дополнительного строящегося и модернизируемого земляного полотна в холодных регионах, а также разработке методик расчетов прочности и единой целостности существующего земляного полотна, армированного геосинтетическими материалами с дополнительным железнодорожным путем. Методика может быть использована при проектировании дополнительных путей с применением армирующих прослоек в условиях продолжительных отрицательных температур окружающего воздуха и наличии избыточной влаги в грунтах зоны строительства. Конструктивно-технологические решения универсальны, их можно использовать в

сложных инженерно-геологических условиях на различных объектах существующего и строящегося земляного полотна.

Экспериментальные исследования, которые выполнялись в лабораторных условиях на базе научно-исследовательской лаборатории «Основания и фундаменты» Дальневосточного государственного университета путей сообщения позволили доказать достоверность результатов, полученных по разработанным методикам расчетов путем моделирования грунтовых процессов.

Экспериментальное внедрение конструктивно-технологического решения по патенту № 2618108 на перегоне Маревая – Змейка Дипкунской дистанции пути Дальневосточной дирекции инфраструктуры – структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД» «Армодренажная система для отвода поверхностных и грунтовых вод» осуществлено по рекомендации центральной экспертной комиссии ОАО «РЖД» и поручению генерального директора ОАО «РЖД» О.В. Белозёрова от 20 ноября 2019 года №ПП-93 на Дальневосточной железной дороге.

Методология и методы исследования

Для решения поставленных задач были выполнены экспериментально-теоретические исследования и использован опыт внедрения технических решений ДВГУПС на реальных объектах БАМ и АЯМ.

В процессе теоретических исследований вариантов обеспечения стабильности и устойчивости строящегося и реконструируемого земляного полотна дополнительных железнодорожных путей рассматривались методики расчета балок и плит на упругом основании, пологих оболочек, термодинамические расчеты.

Экспериментальные исследования выполнялись в лабораторных условиях на базе научно-исследовательской лаборатории «Основания и фундаменты» Дальневосточного государственного университета путей сообщения.

Основные результаты исследования, выносимые на защиту:

- результаты анализа существующих и обоснование разработанных новых универсальных и многофункциональных конструктивно-технологических решений для строительства и реконструкции дополнительных путей в условиях протаивающих многолетнемерзлых грунтов;

- результаты анализа существующих методик расчетно-теоретического обоснования технических решений в условиях сложной топографии и водоотведения, а также полноты и достоверности исходных данных для их расчетов;

- обоснование многофункциональности и целесообразности комплексного решения проблем стабилизации земляного полотна дополнительных железнодорожных путей в суровых условиях;

- результаты моделирования процессов влияния новых конструктивно-технологических решений в лабораторных и в реальных условиях на внедренных объектах Дальневосточной железной дороги и Железных дорогах Якутии.

Достоверность результатов обусловлена применением теоретических основ и объективных методов научного исследования, соответствием теоретических выводов

и результатов экспериментального исследования, исследованием ранее реально внедренных объектов, а также апробацией и подтверждением теоретических данных практическими результатами в течение последующего трехлетнего внедрения заявленных решений на реальных объектах транспортной сети железных дорог Дальневосточного Федерального округа.

Личный вклад автора

Разработаны новые конструктивно-технологические решения для обеспечения стабильности земляного полотна дополнительных путей и усиления существующего земляного полотна, а также осушения его грунтов путем эффективного отвода от него поверхностных и грунтовых вод. Разработаны методики их расчетного обоснования. Предлагаемые решения учитывают механизм взаимодействия грунтового материала и армирующей прослойки, водонасыщение и осушение многослойного армированного массива, при этом сохраняют естественный температурно-влажностный режим грунтового сооружения снаружи и изнутри. Представленные в настоящей работе цели и задачи, обзор и анализ современного состояния проблемы стабилизации дополнительных путей и отведения поверхностных и грунтовых вод от земляных сооружений, экспериментальные исследования, выполнены автором лично. Выполнена работа по разработке и предоставлению проектов «Земляное сооружение двухпутного железнодорожного пути», «Армодренажная система для отвода поверхностных и грунтовых вод» центральной экспертной комиссии ОАО «РЖД» для реализации на полигоне Дальневосточной железной дороги. Осуществляется мониторинг за эксплуатацией объекта «Армодренажная система для отвода поверхностных и грунтовых вод» на участке Дипкунской дистанции пути Дальневосточной дирекции инфраструктуры – структурного подразделения Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД».

Внедрение результатов выполнено в 2015-2021 годах при разработке основных конструктивно-технологических решений в рабочих проектах:

- «Ликвидация деформаций земляного полотна железнодорожной линии на км 58 ПК 1 – км 59 ПК 6 на перегоне ст. Чульбасс – раз. Тенистый железнодорожной линии Беркамит – Томмот – Якутск ОАО «АК «ЖДЯ»»;
- «Ликвидация деформаций земляного полотна железнодорожной линии на км 11 ПК 1 – км 12 ПК 5 на перегоне ст. Нерюнгри – раз. Денисовский железнодорожной линии Беркамит – Томмот – Якутск ОАО «АК «ЖДЯ»»;
- «Ликвидация деформаций земляного полотна железнодорожной линии на км 291 ПК 2 – км 292 ПК 4 на перегоне ст. Алдан – раз. Тамарак железнодорожной линии Беркамит – Томмот – Якутск ОАО «АК «ЖДЯ»»;
- «Ликвидация деформаций земляного полотна на км 28 ПК3 – ПК 10 входной горловины ст. Чульман железнодорожной линии Беркамит – Томмот – Якутск ОАО «АК «ЖДЯ»»;
- Принимала участие в работе и подготовке отчета о НИР гранта РОСЖЕЛДОРА в научно-исследовательской лаборатории «Основания и фундаменты» ДВГУПС по теме: «Создание системы управления стабильностью земляного полотна в условиях вечной мерзлоты и криогенных деформаций», 2019 г.;

- В соответствии с поручением генерального директора – председателя правления ОАО «РЖД» О.В. Белозерова от 20.11.2019 г. №ПП-93 на полигоне Дальневосточной железной дороги в 2019-2020 гг. подлежит внедрению «армодренажная система для отвода поверхностных и грунтовых вод»;

- «Устройство армодренажной системы для отвода поверхностных и грунтовых вод на участке км 2454 ПК2 – км 2454 ПК7 перегона Маревая-Змейка Тындинского территориального управления Дальневосточной железной дороги»;

- «Разработка Руководства по перспективному применению адресных комплексов противодеформационных мероприятий земляного полотна железнодорожного пути Саха Якутии путем его дифференцирования по прогнозируемой степени отказов (рискам)».

Апробация работы

Основные результаты исследования докладывались и получили одобрение на XVII краевом конкурсе «Молодые ученые – Хабаровскому краю» (г. Хабаровск, ТОГУ, 2014г.); на Всероссийской конференции «Инновационные тенденции строительства: теоретические и прикладные аспекты» (г. Нижний Новгород, НФ МИИТ, 2014г.); на международной конференции «Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований» (г. Новосибирск, 2015г.); на Всероссийской конференции с международным участием «Повышение эффективности транспортной системы региона: проблемы и перспективы» (г. Хабаровск, ДВГУПС, 2015г.); на Всероссийской конференции с международным участием «Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке» (г. Хабаровск, ДВГУПС, 2016г.); на международной конференции «Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследования» (г. Новосибирск, 2016г.); на заседании кафедры «Железнодорожный путь, изыскания и проектирование железных дорог», (г. Хабаровск, ДВГУПС, 2017г.); на полуфинале конкурса «Новое звено», (г. Москва, 2018г.); на слете молодежи Дальневосточной железной дороги, (г. Хабаровск, 2018г.); на III слете молодежи Центральной дирекции по ремонту пути (г. Волгоград, 2018г.); на полуфинале, финале конкурса «Новое звено» с присвоением звания Лауреата (г. Москва, 2019г.); на IV слете молодежи Центральной дирекции по ремонту пути (г. Казань, 2019г.), на XI Международной научно-технической конференции «Политранспортные системы» (г.Новосибирск, 2020г.).

Публикации: по теме диссертации опубликовано 17 печатных научных трудов, в том числе 3 работы, входящие в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 2 работы – в международном рецензируемом сообществе (Web of MATEC, Scopus), 3 патента на изобретение/полезную модель.).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка терминов и списка литературы. Общий объем работы составляет 193 страницы машинописного текста, в том числе 63 рисунка, 39 таблиц. Список литературы содержит 111 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, в частности актуальность возведения дополнительных путей, планируемые объемы строительства дополнительных путей в холодных регионах в соответствии с Транспортной Стратегией 2030. Сформулированы цели и решаемые в ходе исследования задачи, отмечена научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе представлен обзор и анализ существующих способов и конструктивно-технологических решений возведения дополнительных путей в различных условиях, в частности в условиях холодных регионов.

Выявлены внешние факторы, негативно влияющие на геотехническую систему «земляное полотно-основание» в холодных регионах, проблемы строительства и последующей эксплуатации дополнительных путей, возведенных в условиях холодного климата.

Рассмотрены противодеформационные устройства и конструкции для обеспечения стабильности и надежности вторых путей. Дана принципиальная оценка изученности данной темы с точки зрения отечественного и зарубежного опыта.

Многолетние исследования отечественных и зарубежных авторов и специалистов в изучении влияния сложных криогенных условий на стабильность земляного полотна железнодорожных линий (*Цытович Н.А., Цернант А.А., Пассек В.В., Герасимов В.А., Цуканов Н.А., П.И.Дыдышко, Жданова С.М., Кудрявцев С.А., Грицык В.И., Ашпиз С.Я., Кондратьев В.П. и др., Ernest T.Selig, T. Sussmann, W. Qinhui*) и установленные ими причины указывают на то, что использование армирования железнодорожных насыпей целесообразно, особенно в комплексе с осушающими водоотводными устройствами.

Во второй главе выполнен анализ причин потери стабильности земляного полотна железнодорожного пути на слабом, в том числе протаивающем основании. Приведены существующие технологические приемы строительства дополнительных путей, в том числе, в холодных регионах.

При этом определенную трудность при разработке и выборе конструктивно-технологического решения играет именно отсутствие подтверждающего его эффективность расчетно-теоретического обоснования. Так для подтверждения эффективности принимаемого для устранения деформаций КТР оно должно содержать методику расчетно-теоретического обоснования, опирающуюся на догмы и постулаты законов физики, механики, математики и учитывающую влияние как можно большего количества внешних и внутренних факторов. Зачастую такие расчеты весьма сложны и массивны, а порой и вовсе произведены с большим количеством допущений либо не учитывают некоторых основных параметров, а именно влияние воды в различных её фазах, наличие пучинистых грунтов и прочее.

Третья глава содержит новые конструктивно-технологические решения по стабилизации и усилению дополнительных железнодорожных путей, их обоснование, а также методики их расчета.

При выборе конструкции для обеспечения стабильности земляного полотна необходимо учесть ряд факторов, из-за которых происходит деформирование нуждающегося в усилении участка. Корректный анализ и выявление причин деформаций способствуют правильному подбору конструкции, которая будет эффективно работать именно в данных условиях, а математический расчет подтвердит целесообразность выбора проведение деформационных мероприятий.

Основная проблема, связанная с осадками земляного полотна на слабых грунтах, заключается в увеличении его веса за счет отсыпки на откосы скального грунта. Данное мероприятие направлено на стабилизацию насыпи, но зачастую имеет обратный эффект, так как увеличение веса насыпи приводит к увеличению интенсивности осадки земляного сооружения в слабое основание.

Для оценки целесообразности усиления земляного полотна и отвода грунтовых и поверхностных вод выполнено расчетно-теоретическое обоснование конструкций:

- армодренажная конструкция для усиления земляного полотна на слабых грунтах, выполненная в виде «гибкой эстакады» с использованием современных геосинтетических материалов и сортированного скального грунта (по полезной модели, защищенной авторским свидетельством №22157, НИЛ «Основания и фундаменты», ДВГУПС), для осушения земляного полотна и обеспечения его устойчивости на бессточных участках (рис.1);

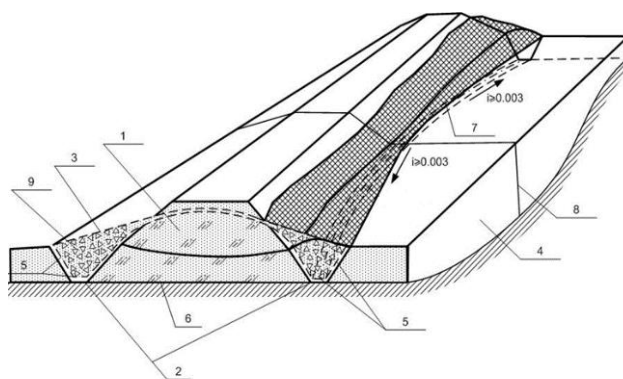


Рис. 1 «Конструкции усиления земляного полотна «гибкая эстакада»»

- противодеформационная конструкция «упругая» эстакада для усиления земляного полотна на слабых, в том числе подверженных карстовым провалам основаниях (патент на изобретение № 2208091, НИЛ «Основания и фундаменты», ДВГУПС) (рис.2);

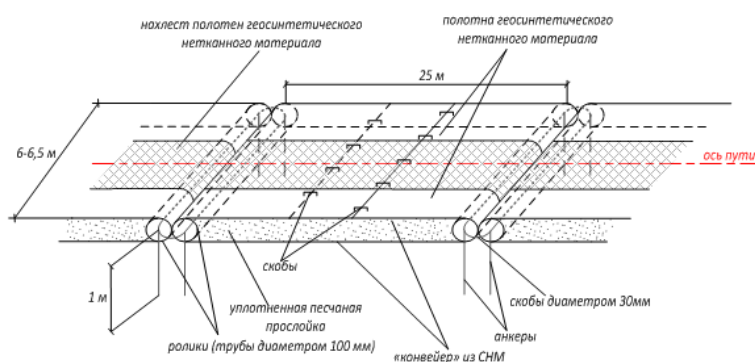


Рис. 2 «Противодеформационная конструкция «упругая эстакада»»

- конструкция для усиления возводимых насыпей вторых путей железных дорог на слабых при оттаивании вечномёрзлых грунтах и болотах (патент на изобретение №2006552, НИЛ «Основания и фундаменты», ДВГУПС) (рис.3);

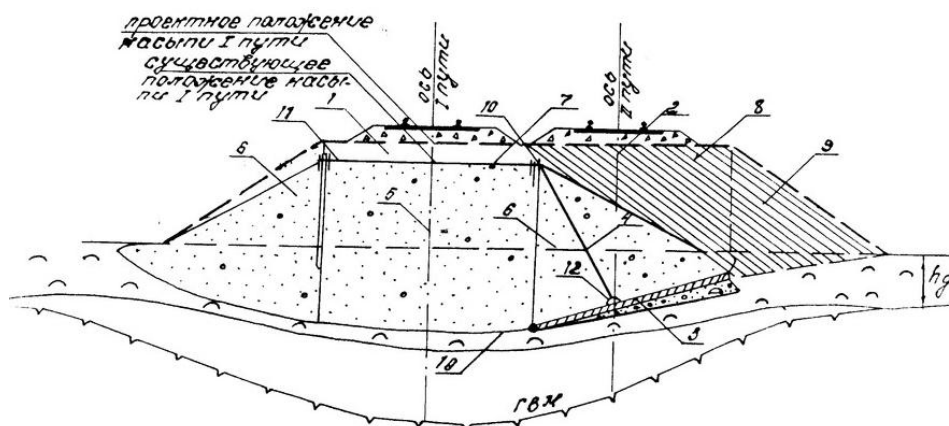


Рис. 3 «Земляное сооружение на слабом основании»

- противодеформационная конструкция для усиления присыпаемого дополнительного пути на слабом основании, в том числе подверженном карстовым провалам, «земляное сооружение двухпутного железнодорожного пути» (патент на изобретение №2593270, НИЛ «Основания и фундаменты», ДВГУПС) (рис.4);

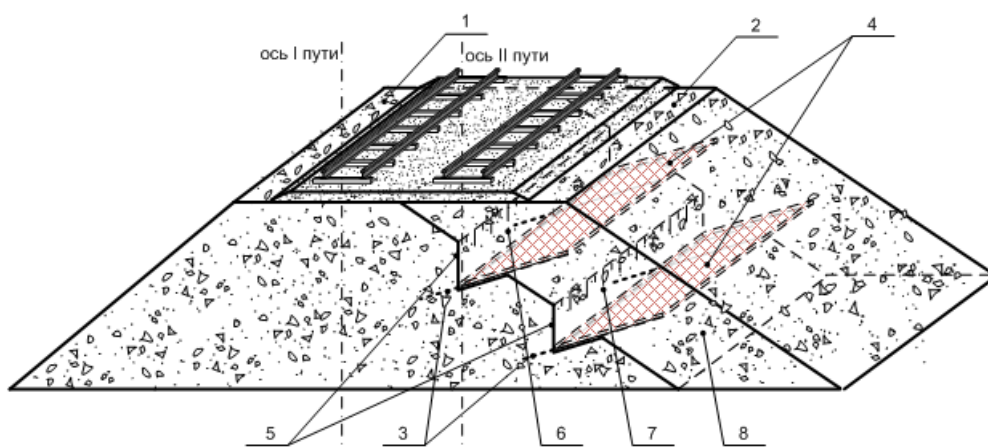


Рис. 4. «Земляное сооружение двухпутного железнодорожного пути»

- армодренажная конструкция для отвода поверхностных и грунтовых вод от тела земляного полотна (патент на изобретение №2618108, НИЛ «Основания и фундаменты», ДВГУПС) (рис. 5).

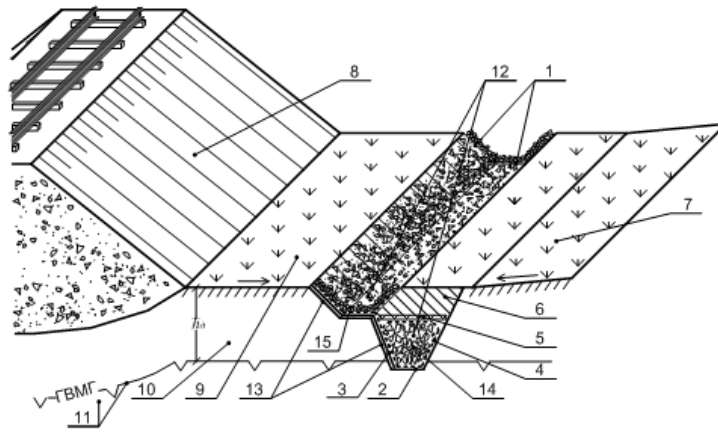


Рис. 5 «Армодренажная система для отвода поверхностных и грунтовых вод»

По результатам расчетно-теоретического обоснования приведенных конструкций сформированы выводы.

1. Результаты теоретического анализа конструкции «гибкая эстакада», применяемой для усиления земляного полотна на слабых грунтах и воспринимающей вибродинамическую нагрузку:

1) конструкция «гибкая эстакада» упруго воспринимает внешние нагрузки и эффективно распределяет их по сферической поверхности геосинтетической оболочки, что в свою очередь снижает давление по контуру и, преимущественно, в нижней зоне земляного полотна и препятствует оползанию и вымыванию грунта из тела насыпи;

2) наименьшее поперечное сечение «скальной обоймы» выполняется в месте аккумуляции влаги, что, соответственно, создает также наименьшее давление на эти участки и исключает возникновение осадочных деформаций.

3) за счет наименьшей высоты насыпи в наивысшей грани оболочки (при высоте насыпи $h = 7\text{ м}$ и стреле подъема оболочки ($f = 6\text{ м}$)) больший процент динамической нагрузки от подвижного состава будет приходиться на данную грань. С учетом поглощения части нагрузки телом насыпи, интенсивность продольных усилий на данном участке составит $39,808 \frac{\text{Н}}{\text{см}}$, что в сравнении с разрывной нагрузкой для Геоспана ($\approx 80 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$) значительно меньше.

4) отмечено, что при расчетах учитывался лишь один слой геотекстиля. Также учтено то, что за счет распределения нагрузки по поверхности геотекстиля, а точнее в его верхней грани, продольные усилия будут уменьшаться по мере приближения к месту со слабыми грунтами. Это обеспечивает уменьшение просадок грунта основания в слабые грунты.

5) максимальные сдвигающие усилия возникают в концевых участках траншей. Оболочка из СНМ со скальным грунтом на данных участках препятствует оползанию и выдавливанию грунта основания при обводнении. За счет дополнительного пригруза от статического веса скального грунта на 2-х опорных участках создается естественный продольный уклон для отвода воды из слабого основания (максимальные значения прогиб принимает в угловых зонах).

2. Оценена возможность перераспределении нагрузки от подвижного состава и собственного веса насыпи на прочные грунты основания за счет применения армирующих слоев и анкерных закреплений в конструкции «упругая эстакада»:

1) полученные теоретические данные о величине напряжений в теле полотна «упругой» эстакады свидетельствуют о восприятии армирующими полотнами нагрузки. При этом величина получаемой нагрузки не превышает предельно допустимых напряжений (для рассчитываемого материала), что позволяет обеспечивать целостность сооружения;

2) физические характеристики рассчитываемого армирующего материала позволяют упруго воспринять и обеспечить распределение нагрузки от веса грунтового сооружения на анкерные крепления для последующей передачи нагрузки на прочные грунты основания;

3) расчетная, оказываемая на анкерные крепления, нагрузка от веса грунтового сооружения обеспечивает их устойчивость, что делает возможным восприятие нагрузки и её последующую передачу на прочные грунты основания без потери устойчивости всей конструкции;

4) достижение планируемого эффекта от применения конструкции возможно на участках локальных деформаций (карстовые провалы, локальный вынос грунта, суффозия и т.п.) в виду необходимости монтажа анкерных креплений в прочные грунты. Фиксация анкерных креплений в местах с прочными грунтами позволяет обеспечить восприятие нагрузки от армирующих полотен, которые в свою очередь обеспечивают удержание грунтового массива насыпи на своей поверхности и препятствуют его обрушению в локальные грунтовые провалы;

5) применение конструкции «упругая» эстакада на протяженных деформирующихся участках, расположенных на слабых основаниях, не целесообразно по причине отсутствия на таких участках прочных грунтов, служащих опорой для устройства анкерных креплений и невозможности последующего перераспределения напряжений от веса насыпи и подвижного состава на прочные основания.

3. Расчетное обоснование конструкции «плита на упругом основании» позволило сделать следующие выводы:

1) расчетные показатели конструкции «плита на упругом основании» свидетельствуют об обеспечении целостности элементов конструкции под действием внешней нагрузки;

2) применение конструкции «плита на упругом основании» целесообразно на участках строительства дополнительных путей по причине обеспечения целостности грунтового массива существующего и присыпаемого пути и избежания просадки насыпи присыпаемого пути в слабое основание. При этом целостность грунтового массива существующей и присыпаемой насыпей обеспечивается за счет удержания грунта присыпаемой насыпи на поверхности плиты и перераспределения нагрузок от её веса на стабилизированное в течение длительной эксплуатации основание существующего пути;

3) конструкция «плита на упругом основании» также позволяет избежать трещин разрыва, неизбежно появляющихся в процессе эксплуатации возведенного пути и

возникающих за счет уплотнения возведенной насыпи под действием нагрузки от подвижного состава и её последующей просадки в слабое основание;

4) оценка целесообразности применения конструкции «плита на упругом основании» должна опираться на прочностные характеристики материалов, планируемых к использованию для устройства конструкции «плита на упругом основании». Так, предполагаемый к использованию материал плиты в конструкции должен обеспечивать жесткость и устойчивость к поперечному излому, а также быть неподверженным к агрессивному окислительному воздействию грунтовой среды. Данные обстоятельства сокращают возможность широкого применения данной конструкции, однако в случае использования в качестве плиты композитного материала с необходимой жесткостью и прочностью, предлагаемое решение позволит обеспечить целостность массива грунта двухпутной насыпи и предотвратит появление и развитие трещин разрыва.

4. На основании расчетно-теоретического обоснования «конструкции двухпутного железнодорожного пути» сделаны выводы:

1) расчетные данные об увеличении значений внутренних усилий в армирующих элементах при приближении последних к месту фиксации в грунтовой массиве существующего пути без превышения предельно-допустимых значений указывают на увеличение воздействия от веса присыпаемой насыпи на насыпь существующего пути;

2) обеспечение целостности земляного сооружения двухпутного железнодорожного пути достигается за счет перераспределения нагрузок от веса насыпи присыпаемого пути через армирующие элементы с грунтов насыпи второго пути на массив грунтов насыпи первого пути;

3) рассчитанная нагрузка на армирующие элементы не превышает предельно-допустимых значений, что обеспечивает сохранение прочностных характеристик используемых в расчете материалов;

4) армирующие слои в теле насыпи присыпаемого пути препятствуют оползанию грунта в слабое основание;

5) армирующие слои между существующим и присыпаемым путем позволяют грунтовому сооружению «работать» под нагрузкой как единое целое.

5. Оценка результатов эксплуатации конструкции для отвода поверхностных и грунтовых вод «двухступенчатая армодренажная система» и проведенные теплотехнические расчеты привела к следующим выводам:

1) динамика распределения температур в дренажной системе свидетельствует о сохранении положительных температур внутри закрытого дренажа на протяжении периода октябрь-ноябрь в то время, когда среднесуточные температуры окружающего воздуха равны в среднем -15°C . Сохранение положительных температур внутри дренажа обусловлено устройством пенополистирольного теплоизолирующего слоя, не пропускающего внешние температуры (температура внешнего слоя грунта и температура окружающего воздуха) вглубь. При этом данный теплоизолирующий слой также позволяет сохранять относительно постоянную температуру внутри дренажа в годовом цикле, препятствуя процессу растепления нижних слоев мерзлого грунта;

2) температурное регулирование в дренажной системе позволяет обеспечивать аккумуляцию грунтовых вод в тот период времени в годовом цикле, когда при понижении температуры окружающего воздуха происходит промерзание верхних слоев грунта. Увеличенный период (за счет теплоизолирующего слоя) сохранения положительных температур внутри дренажа аккумулируя и отводя грунтовую влагу в пониженные места позволяет избежать в дальнейшем образования бугров пучения на осушаемом участке пути.

3) важным фактором обеспечения сбора и отвода грунтовой воды посредством грунтового дренажа является наличие снежного покрова. Расчет подтверждается известный факт, что наличие снежного покрова на поверхности грунта способствует увеличению периода сохранения положительных температур внутри низлежащих грунтовых слоев.

Четвертая глава содержит экспериментальное моделирование грунтовых процессов, возникающих и развивающихся при отсыпке дополнительного пути с примененной конструкцией для его усиления, а также моделирование различных физико-геологических и температурных условий (в том числе в программном комплексе PLAXIS).

Объектом экспериментального исследования стало земляное сооружение двухпутного железнодорожного пути (рис. 4). В ходе эксперимента решены следующие задачи:

1. определен характер распределения напряжений в теле двухпутной насыпи с применением армирующей конструкции и без нее в равных для обоих случаев условиях с помощью моделирования процессов в лабораторных условиях;

2. выявлена зависимость между распределением напряжений в слабосвязных грунтах и последующими деформациями земляного сооружения с применением армирующей конструкции и без нее;

3. оценено влияние армирующей конструкции в теле насыпи на характер распределения напряжений в массиве насыпи;

4. сопоставлены результаты, полученные в ходе эксперимента, сформулированы выводы, подтверждающие расчетно-теоретические результаты оценки разработанной конструкции.

В четвертой главе также приведен теплотехнический расчет армодренажной системы для отвода поверхностных и грунтовых вод (рис. 5), рассмотренной в качестве комплексного решения, позволяющего исключить потери устойчивости земляного полотна из-за его переувлажнения. Оценены результаты эксплуатации армодренажной системы для отвода поверхностных и грунтовых вод, внедренной на км 116 Железных дорог Якутии и км 2454 перегона Маревая-Змейка Дальневосточной железной дороги (рис. 6).



Рис. 6 «Внедрение армодренажной системы в 2019-2020 гг. на перегоне Маревая-Змейка Дальневосточной железной дороге»

Теплотехническим расчетом определена плотность термического потока при послойном промерзании дренажной системы при понижении среднесуточных температур, влияющая на фазовый переход компонентов системы. В расчете учтены теплофизические свойства и геометрические параметры слоев армодренажной конструкции.

Расчет тепловых уровней элементарной призмы $\prod_{x_i}^{x_i+1}$ в границах рассматриваемого участка $\prod_{0,001}^{2,105}$ производился по формуле, полученной сотрудниками Института мерзлотоведения Сибирского отделения АН СССР под руководством Н.С. Иванова

$$Q_{TY} = \left(c_{ск} + c_B \cdot \frac{W_0 + W_{н.з.}(\theta)}{2} + c_A \cdot \frac{W_0 + W_{н.з.}(\theta)}{2} \right) \cdot \Delta h \cdot \gamma_{ск} \cdot \theta + \gamma_{ск} \cdot \Delta h (W_0 - W_{н.з.}) \cdot q_0$$

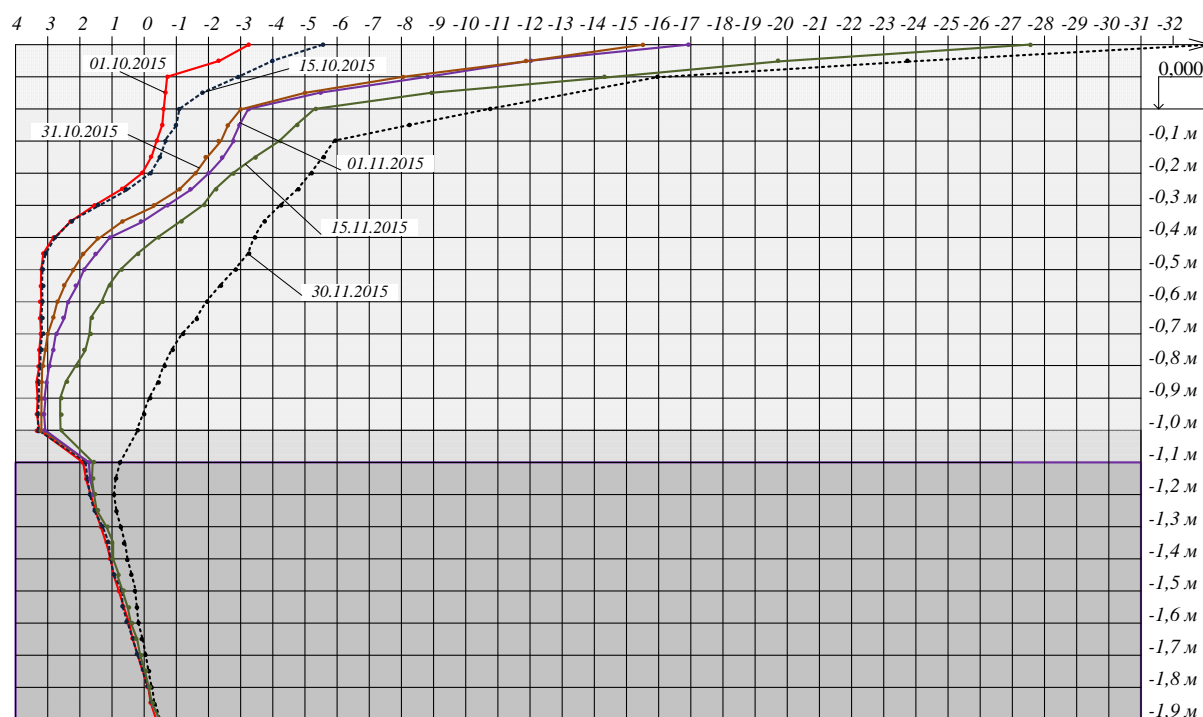


Рис. 7. Динамика распределения температур в °C по глубине (в м) промерзающей дренажной системы в октябре–ноябре 2015 г.

Теоретические расчеты показали высокую сходимость с натурными данными, полученными в результате мониторинга на участке внедрения (АК «ЖДЯ», Беркамит-Томмот), и подтвердили аналитические выводы:

- применение армодренажной системы увеличивает период аккумуляции грунтовых вод на 16% в годовом цикле;
- увеличенный период сбора и отвода грунтовых вод приводит к сокращению деформаций морозного пучения и последующих осадок в весенний период на 27%;
- сокращение эксплуатационных затрат на содержание пути в среднем на 31% с 1 км пути ежегодно (данные Дальневосточной дирекции инфраструктуры, 2016-2020 гг.)

Результатом экспериментальных исследований на моделях испытанных насыпей стало следующее:

1. применение армирующей конструкции эффективно в условиях сухих и влажных грунтов массива и основания насыпи, т.е. на прочном основании;
2. применение армирующей конструкции также эффективно при строительстве насыпи из песчано-гравийного грунта, при строительстве насыпи на основании из песчано-гравийного и мягкопластичного грунта с показателями влажности не выше 0,6;
3. при интенсивном влагонасыщении грунтов насыпи (т.е. на слабом основании и водонасыщении) применение армирующих слоев является недостаточным условием, обеспечивающим стабильного грунтового сооружения. Для обеспечения стабильности земляного полотна в таких условиях необходимо предусматривать дополнительные решения, направленные на устранение влаги;

4. положительным фактом является то, что применение армирующей конструкции позволяет избежать осыпания откосной части насыпи за счет удержания грунта откоса на поверхности георешетки с прикатанным геотекстилем;

5. сравнение результатов двух экспериментов, проведенных в равных грунтовых и температурных условиях, с разницей лишь в том, что в первом случае не была применена армирующая конструкция, а во втором была применена, подтвердило теоретические выводы. Так в первом случае осадка насыпи под действием вибродинамической нагрузки была существенно суммарно на 8 мм, чем в случае с примененными армирующими слоями (рис. 8).

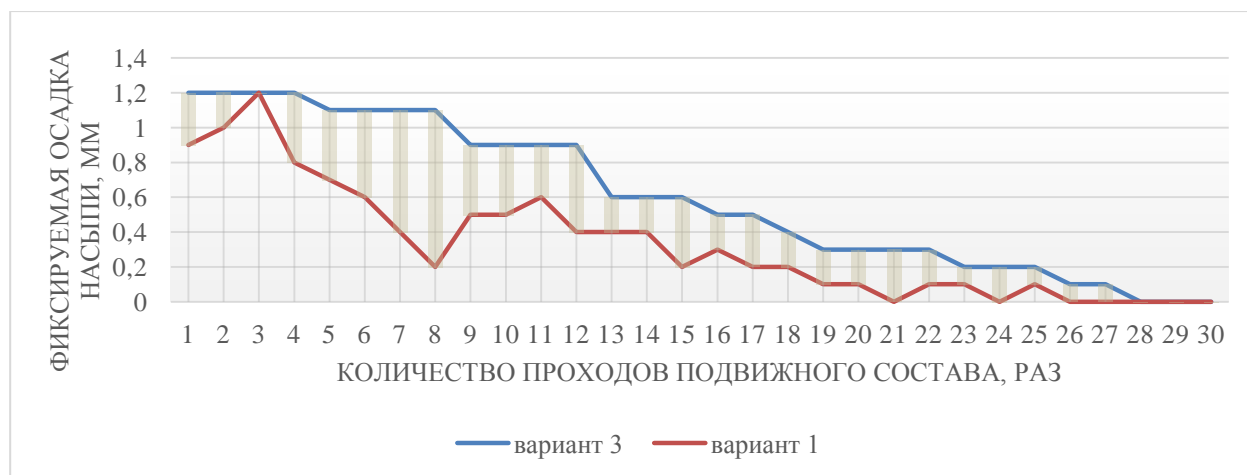


Рис. 8 «Сравнение графиков зависимости между нагрузкой и осадкой земляного полотна под вторым путем двухпутной насыпи в случае её усиления армированными слоями (вариант 1) и в случае отсутствия армированных слоев в теле насыпи (вариант 3)»

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Выполненный анализ существующих методик обоснования устойчивости дополнительных путей и применяемых конструктивно-технологических решений в сложных инженерно-геологических условиях показал единообразный подход к разработке проектных решений и строительству дополнительных железнодорожных путей.

2. Обзор и анализ существующих вариантов строительства дополнительных железнодорожных путей в холодных регионах, а также противодеформационных конструкций для обеспечения долговечности и надежности земляного полотна показали, что наиболее перспективным и ресурсосберегающим способом обеспечения стабильности земляного полотна является применение армирующих прослоек при одновременном водоотведении поверхностных и грунтовых вод от тела земляного полотна. При этом широкий спектр геосинтетических материалов и подтвержденная эффективность их армирующих свойств пока не нашла массового признания и строительство дополнительных железнодорожных путей ведется с типовым мероприятием – нарезкой уступов на откосах насыпей существующих путей.

3. Выполнен подбор исходных данных и методики расчетно-теоретического обоснования новых конструктивно-технологических решений при проектировании дополнительных путей, критический анализ их полноты и достаточности.

4. Проанализированны и рекомендованы для теоретического обоснования математические модели И.А.Симвулиди и А.Н.Крылова 5 новых конструкций для укрепления насыпей дополнительных железнодорожных путей: «гибкая эстакада» патент №22157, ДВГУПС; «упругая эстакада» патент №2208091, ДВГУПС; «плита на упругом основании» патент № 2006552, ДВГУПС, «конструкция двухпутного железнодорожного пути» патент №2593270, ДВГУПС; «армодренажная система» патент №2618108, ДВГУПС.

5. В результате проведенных экспериментальных исследований и на основании данных мониторинга внедренных решений получены: графические зависимости коэффициента распределительной способности и модулей упругости обычных грунтов и грунтов, усиленных геосинтетическими материалами. Применение армирующих прослоек в грунтовых сооружениях позволяет уменьшить общую деформацию конструкции и снизить величины вертикальных напряжений. Полученные зависимости температурно-влажностного режима объектов с обеспеченным (в том числе фильтрационным грунтовым) водоотводом и с обводненных мест. Наличие комбинированного водоотвода, обеспечивающего сбор и отвод поверхностных и грунтовых вод увеличивает общую стабильность осушаемого земляного полотна железнодорожного пути и снижает его деформативность от пучин и просадок на 30%. Теоретические расчеты подтверждены натурными данными, полученными по результатам мониторинга объектов внедрения.

6. При интенсивном влагонасыщении грунтов насыпи (т.е. на слабом основании и водонасыщении) применение армирующих слоев является недостаточным условием, обеспечивающим стабильного грунтового сооружения. Для обеспечения стабильности земляного полотна в таких условиях необходимо предусматривать дополнительные решения, направленные на устранение влаги.

7. Для обеспечения стабильности слабых оснований дополнительного пути, в том числе на многолетнемерзлых грунтах в качестве первого слоя, соприкасающегося с грунтами основания могут быть использованы дополнительные конструкции, приведенные в главах 2-3, в частности конструкции «гибкая эстакада» по полезной модели ДВГУПС №22157, «двухступенчатая армодренажная система» по патенту ДВГУПС №2618108.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утверждаемого Минобрнауки России:

1. О.В. Тукмакова, С.М. Жданова. Укрепление насыпей второго пути на слабых грунтах.// Путь и путевое хозяйство. – М.: Изд-во Транспорт, 2016. – с. 20-22;
2. О.В. Тукмакова, С.М. Жданова. Усиление откосов дополнительных путей.// Путь и путевое хозяйство. – М.: Изд-во Транспорт, №11, 2017. – с. 17-19;
3. О.В. Тукмакова, С.М. Жданова, О.А. Нератова. Отвод поверхностных и грунтовых вод на многолетнемерзлых грунтах.// Путь и путевое хозяйство. – М.: Изд-во Транспорт, 2019. – с. 13-16.

Статьи, входящие в международную систему цитирования Scopus:

1. Svetlana Zhdanova, Oksana Neratova, Aleksey Piotrovich, Oksana Tukmakova. Analysis of roadbed destabilization causes on sections with thaw underground ice and reinforcement reconstructions measures.// MATEC Web of Conferences 265, International Geotechnical Symposium “Geotechnical Construction of Civil Engineering & Transport Structures of the Asian-Pacific Region” (GCCETS 2018), 2019.
2. Svetlana Zhdanova, Arkadii Edigarian, Oksana Tukmakova, Oksana Neratova. New designs of drainage and discharge facilities of dewatering endorgelic sections in cold regions.// VIII International Scientific Siberian Transport Forum. TrasSiberia 2019/ Advanced in intelligent system and computing, vol 1116. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37919-3_7.

Патенты:

1. Тукмакова О.В., Жданова С.М., Патент на изобретение №2593270. Земляное сооружение двухпутного железнодорожного пути, опубл. 10.08.2016, бюл. №22;
2. Жданова С.М., Тукмакова О.В., Серенко А.Ф., Патент на изобретение №2618108. Дренажная система на вечномерзлых грунтах, опубл. 02.05.2017, бюл. №13;
3. С.М. Жданова, О.А. Нератова, А. Р. Едигарян, О.В. Тукмакова., Патент на изобретение № 2761272. Дренажная система для стабилизации дорожного полотна на протаявших слабых грунтах, опубликован 06.12.2021 г, бюл. №34.

Прочие публикации:

1. О.В. Тукмакова. Расчетно-теоретическое обоснование армодренажной конструкции для усиления земляного полотна на слабых основаниях.// Материалы XVI краевого конкурса молодых ученых и аспирантов. – Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2014. – с. 366-374;
2. О.В. Тукмакова, С.М. Жданова. Методика расчетного обоснования армирующей конструкции для усиления основания насыпи второго пути на слабых при протаивании вечномерзлых грунтах.// Материалы II Всероссийской студенческой

научно-практической конференции. – Н. Новгород: Изд-во ООО «Стимул-СТ», 2014. – с. 42-46;

3. О.В. Тукмакова, С.М. Жданова. Конструкция для усиления присыпаемого земляного полотна дополнительного пути на реконструируемых участках железнодорожных линий.// Сборник материалов XV Международной научно-практической конференции. – Новосибирск: Изд-во «СИБПРИНТ», 2015. – с. 172-178;

4. С.М. Жданова, О.В. Тукмакова. Актуальные проблемы содержания земляного полотна линейных сооружений в сложных условиях (результаты экспериментального внедрения новых разработок ДВГУПС). //Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2015. – с. 47-53;

5. О.В. Тукмакова, Е.В. Сидоренко, А.А. Рафанович, С.М. Жданова. Анализ деформативности земляного полотна при реконструкции развязов БАМ с учетом топографии местности. // Всероссийская молодежная научно-практическая конференция с международным участием. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2016. – с. 415-418;

6. О.В. Тукмакова, Е.В. Сидоренко, А.А. Рафанович, С.М. Жданова. Анализ деформативности земляного полотна при реконструкции развязов БАМ с учетом топографии местности. // Всероссийская молодежная научно-практическая конференция с международным участием. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2016.- с.162;

7. О.В. Тукмакова, С.М. Жданова. Инновационная разработка для усиления земляного полотна в сложных инженерно-геологических условиях.// XXIV Международная научно-практическая конференция. – Новосибирск: Изд-во «СИБПРИНТ», 2016. – с. 160-167;

8. С.М. Жданова, О.М. Костенко, О.В. Тукмакова. Экологические проблемы содержания дорог и прилегающих к ним территорий на многолетнемерзлых грунтах/ Проектирование региональной сети ж.д, № 5. 2017, стр. 70-77;

9. А.Р. Едигарян, С.М. Жданова, О.А. Нератова, О.В. Тукмакова. О создании системы управления стабильностью длительно эксплуатируемого земляного полотна в суровых условиях. /Материалы XI международной научной конференции. – Новосибирск, 2020, с. – 119-124;

10. О.В. Тукмакова. Экспериментальные исследования процессов обеспечения стабильности дорожного полотна двухпутной линии с помощью новых конструкций и технологий.// Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – Хабаровск.: Изд-во ДВГУПС, 2021. – с. 44-47.