

## Отзыв

официального оппонента доктора технических наук, доцента Ашпиза Евгения Самуиловича на диссертационную работу Ермолова Якова Михайловича «Модификация свойств балластной призмы полимерными вяжущими материалами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 – «Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог».

### 1. Оценка содержания диссертационной работы

Диссертационная работа Ермолова Я.М. выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС) и посвящена решению актуальной проблемы – повышению устойчивости железнодорожного пути на участках кривых малого радиуса и снижению деформаций на подходах к искусственным сооружениям за счет омоноличивания полимерными связующими балластной призмы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованных источников из 156 наименований и 4 приложений. Объем диссертации составляет 166 страницы, включая 18 таблиц и 59 рисунков.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы, а также положения, выносимые на защиту, достоверность результатов исследований и апробация работы.

**В первой главе** выполнен анализ литературных источников по модификации свойств балластной призмы для увеличения поперечной и продольной устойчивости рельсошпальной решетки, а также анализ исследований по созданию переходных участков пути на подходах к искусственным сооружениям. Выполненный анализ позволил обосновать цель и основные задачи диссертационного исследования.

**Вторая глава** посвящена описанию измерительных устройств, методов их тарировки, а также приспособлений, использованных при проведении натурных и лабораторных измерений, выполненных при решении поставленных в работе научных задач. Рассмотрены: устройства и приборы для измерения механических свойств закрепленной балластной призмы; геофизическое оборудование для измерения физических и размерных свойств балластной призмы в натурных условиях; оборудование и оснастка для изготовления экспериментальных образцов геокompозита и измерения их механических свойств в лабораторных условиях.

**В третьей главе**, одной из ключевых, представлены результаты по разработке технологии полимерного закрепления плеча балластной призмы в кривых малого радиуса для повышения поперечной устойчивости рельсошпальной решетки и технологии контроля такого закрепления. Технология

создания омоноличенной балластной призмы исследована комплексно от подбора полимерных составов и определения характеристик получаемого геокомпозита, до контроля качества работ и проверки ремонтпригодности конструкции с закрепленным полимерами плечом призмы при последующем ремонте пути машинами тяжелого типа. Исследование включает в себя лабораторные и натурные эксперименты, а также анализ имеющихся материалов исследований других авторов.

**Четвертая глава** посвящена разработке метода улучшения упругих свойств балластной призмы при устройстве участков переменной жесткости, второго ключевого момента работы. В главе, построенной логически по аналогии с главой 3, изложены результаты проверки технического решения по устройству переходного участка железнодорожного пути на основе полимерного вяжущего материала на опытном участке эксплуатируемого пути; выполнен контроль сплошности и толщины омоноличивания балластного материала методом георадиолокации; выполнено изучение механических свойств омоноличенного балластного материала.

**В пятой главе** автор методами лабораторного эксперимента исследует возможности повышения прочности геокомпозита за счет применения двухкомпонентных вяжущих материалов на основе полиуретана. В главе изложена методика приготовления лабораторных образцов балласта, закрепленного филлосиликатными полимерными материалами для испытаний их механических характеристик. Автором для улучшения механических свойств геокомпозита предложено применение функциональных наноматериалов на основе органомодифицированных наночастиц монтмориллонита. В главе детально рассмотрена аппаратура для лабораторных испытаний образцов геокомпозита с модифицированным полиуретановым вяжущим, а также приведены результаты сравнительных испытаний прочностных свойств экспериментальных образцов балласта, закрепленного не модифицированными и модифицированными полимерными материалами.

**Шестая глава** посвящена компьютерному моделированию механических свойств балластной призмы, закрепленной вяжущим материалом, проведенному с применением лицензированного программного продукта COMSOL Multiphysics версии 4.2a (лицензия № 17073466). В главе выполнена верификация компьютерной модели, исследовано влияние длины модели и величины модуля упругости геокомпозита на поперечное смещение центральной шпалы, а также приведены результаты исследования работы плеча балластной призмы с геокомпозитом под действием внешних поперечных сил.

**В заключении** сформулированы основные выводы, полученные в работе, а также намечены возможные направления дальнейших исследований.

**Приложения** содержат справку о протяженности железнодорожных путей при проведении натуральных испытаний, акты комиссионных осмотров экспериментальных участков, распоряжение Центральной дирекции инфраструктуры о подконтрольной эксплуатации кривых участков пути с закреплением плеча балластной призмы.

## **2. Актуальность диссертационной работы**

Актуальность темы, выбранной диссертантом, не вызывает сомнений. Одной из наиболее ресурсоемких проблем, остро стоящей перед железнодорожным транспортом России, является проблема деформативности пути. Эта проблема вызывает значительные затраты на текущее содержание пути, сокращает время эффективной его эксплуатации, уменьшает пропускную способность железнодорожных линий, что особенно значимо в условиях роста скорости движения, веса и длины поездов. Одним из элементов конструкции пути, вызывающим нестабильность геометрии рельсовой колеи и от состояния которого зависит её устойчивость, является балластная призма, повышение надежности которой позволит улучшить стабильность пути и снизить эксплуатационные затраты на содержание. Поэтому задачи разработки технологии омоноличивания балластной призмы и технологии неразрушающего контроля качества выполнения этих работ с применением модифицированных полимерных составов, поставленные и решенные в диссертации являются актуальными.

## **3. Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.22.06 - Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог по следующим пунктам: 2 - "Конструкции верхнего и нижнего строения железнодорожного пути. Основные параметры, направления развития, проектирование, изготовление. Система технического обслуживания и ремонтов железнодорожного пути. Технология производства и организация работ", 3 - "Закономерности изменения технического состояния пути и его элементов. Диагностика железнодорожного пути. Критерии оценки его технического состояния. Мониторинг состояния пути. Аппаратура и системы контроля", 5 - "Методы исследования, испытаний и моделирования железнодорожного пути и процессов его взаимодействия с подвижным составом", 6 - "Исследования в области обеспечения безопасности движения поездов".

## **4. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

**Обоснованность** научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием теоретических и экспериментальных методов исследования, основанных на применении положений статистической обработки результатов экспериментов, георадиолокации и вибро-акустики, частотного анализа по прямому и обратному Фурье преобразованию рассеянных волн, квантовой химии наноразмерных объектов, а также численного моделирования с применением компьютера.

Полученные автором результаты, выводы и рекомендации научно обоснованы и подтверждены экспериментально.

**Достоверность** результатов лабораторных и натуральных измерений базируется на применении апробированных методик и сертифицированного и регулярно поверяемого оборудования. Достоверность теоретических результатов, полученных методами конечных элементов, определяется применением лицензированной компьютерной программы и верификацией её сходимостью с результатами экспериментальных измерений.

Проведенный анализ диссертации Ермолова Я.М. позволяет сделать вывод о достаточной обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, а также об их достоверности.

**Новизна** диссертации состоит в том, что впервые:

- измерены и рассчитаны значения сил сопротивлений поперечному сдвигу шпалы, возникающих в конструкции балластной призмы с плечом, закрепленным на всю толщину балластного слоя;
- предложен алгоритм применения георадиолокационного метода для определения положения малоконтрастной нижней границы сформированного геокомпозита и разработана технология тарирования георадиолокационной аппаратуры на определение расхода полимерного вяжущего материала и достигнутого модуля упругости геокомпозита;
- экспериментально определены модули упругости балластной призмы в зависимости от глубины закрепления щебня связующим материалом;
- для улучшения свойств полимерных вяжущих материалов на основе полиуретана при закреплении балластной призмы использованы функциональные наноматериалы на основе органомодифицированного монтмориллонита.

## **5. Научная и практическая значимость исследования и полученных результатов, рекомендации по использованию результатов диссертации**

**Научная значимость** диссертации состоит в том, что в ходе исследований теоретически:

- обоснована возможность применения георадиолокационного способа для определения положения малоконтрастной границы геокомпозита и щебня и оценки механических свойств омоноличенного балластного слоя по анализу рассеянного СВЧ излучения;
- показана особенность распространения акустических волн в омоноличенных балластных слоях.
- вскрыта особенность взаимодействия полиуретана и нанодобавок монтмориллонита, модифицированного дидецилдиметиламмония хлоридом, и определено изменение свойств геокомпозита, обусловленное этим взаимодействием;
- определены механические свойства омоноличенного плеча балластной призмы и пределы применимости линейно-упругой модели свойств геокомпозита на основе полиуретана.

**Практическая значимость** работы состоит в том, что, благодаря лабораторным и натурным экспериментам, а также математическому моделированию:

- изучено влияние колебаний температуры окружающей среды на прочностные свойства формируемого геокомпозита, что позволило обосновать возможность проведения работ при кратковременных отрицательных температурах воздуха на действующих участках железных дорог;

- определена зависимость силы сопротивления от поперечного сдвига шпалы и обоснованы оптимальные параметры геокомпозита и расход вяжущего материала при закреплении плеча балластной призмы, обеспечивающие необходимое повышение поперечной устойчивости рельсошпальной решетки в кривых малого радиуса;

- для омоноличенных участков пути на подходе к искусственным сооружениям получена связь упругих свойств конструкции балластной призмы с толщиной закрепленного балласта и расходом вяжущего материала, что позволяет обосновывать выбор длины переходного участка;

- показана ремонтпригодность балластной призмы машинами тяжелого типа после ее омоноличивания двухкомпонентными вяжущими на основе полиуретана.

**Результаты диссертации могут быть рекомендованы для использования** в организациях ОАО «Росжелдорпроекта», занимающихся разработкой проектов реконструкции и капитального ремонта железнодорожного пути, научно-исследовательских организациях при исследовании деформативности балластной призмы, а также транспортными вузами в учебном процессе при преподавании дисциплины «Железнодорожный путь».

## **6. Апробация работы, публикации и личный вклад**

Основные положения диссертации достаточно полно докладывались и обсуждались на 8 всероссийских и международных конференциях, семинарах и выставках, перечень которых приведен в тексте диссертации. Материалы диссертации изложены в трех статьях, опубликованных в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Кроме этого, список публикаций содержит работы в изданиях, реферируемых в базе данных Scopus. К ним относятся 4 тезиса и статья в журнале. Имеются 2 работы, вошедшие в базу данных РИНЦ. Список публикаций содержит 2 патента.

**Личный вклад автора** состоит в формулировании цели, задач исследования, научной новизны и положений, выносимых на защиту, разработке программ и методик выполнения экспериментальных и теоретических работ, а также непосредственном участии в их проведении, обработке и анализе полученной информации, ее обобщении и подготовке публикаций.

## **7. Оценка содержания диссертации, ее завершенность**

Диссертация является завершенной работой, написана грамотным техническим языком, изложение логично и последовательно с использованием профессиональной терминологической лексики. Структура работы цельная. Содержание диссертации соответствует поставленным целям и задачам исследования.

Диссертация и автореферат по структуре и оформлению соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011. Оформление списка литературы в виде библиографических ссылок соответствует п. 5.6 ГОСТ Р 7.0.11-2011. Оформление в автореферате списка работ, опубликованных по теме соответствует п. 9.3 ГОСТ Р 7.0.11-2011 и ГОСТ 7.1-2003.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, отражает ее структуру и положения, выносимые на защиту, и содержит полный перечень публикаций автора по теме диссертации.

### **8. Замечания по содержанию диссертации**

Положительно оценивая диссертационную работу Ермолова Я.М., необходимо сделать некоторые замечания по её содержанию.

По главе 1.

В главе приведен обзор имеющихся в нашей стране и мире решений по закреплению балластной призмы для повышения поперечной устойчивости рельсошпальной решетки и созданию участков переменной жесткости, но нет критического анализа этих решений с точки зрения, чем они не устраивают и почему и в каком направлении требуется их совершенствование. Поэтому выбор задач исследования выглядит несколько неубедительно.

По главе 2.

1) В материале главы дано описание оборудования, использованного при лабораторных и натурных исследованиях, направленных на разработку методов полимерного закрепления плеча балластной призмы в кривых малого радиуса для повышения поперечной устойчивости рельсошпальной решетки и модификации упругих свойств верхнего строения железнодорожного пути на переходных участках. Также в главе приведены основные положения методик его применения и тарирования. Вместе с тем из материала главы непонятна общая структура лабораторных и натурных экспериментов, и какие параметры в них предполагалось определять. Без описания такой методологии постановки экспериментов выбор отдельных типов оборудования выглядит не системно и не понятна его достаточность для решения сформулированных задач исследования.

2) При описании прибора ПДУ-МГ4 «Удар» указано, что им измеряется модуль упругости, что не корректно этот прибор по принятой терминологии определяет динамический модуль деформации, который обозначается  $E_d$ . Кроме того, указано, что значение его определяется по формуле (2.1), в которой коэффициент Пуассона принят  $\mu=0,35$  как для дорожных одежд. Но для балласта и балласта закрепленного этот коэффициент может отличаться от справочного значения и между собой тоже, что необходимо было исследовать либо как-то оговорить.

По главе 3.

1) В диссертации указывается, что выбор полиуретанового материала осуществлен на основании проведенного анализа видов полимерных материалов, имеющих на сегодняшний день на российском рынке продаж. Вместе с этим, критерии выбора материала и результаты анализа в диссертации отсутствуют.

2) В п.3.1.3 (стр.47-48 текста) приведены результаты лабораторного эксперимента по определению глубины закрепления балласта через относительную силу разрушения лабораторного образца (формула (3.1)) и график (рис. 3.5). Из текста не ясно как проводился эксперимент: где по высоте образца прикладывалась сила, на скольких образцах были выполнены исследования, как фиксировалось разрушение образца. Не понятно как в результате эксперимента получено проникновение полимера на глубину 412 мм, если высота образца составляла 400 мм?

3) На стр. 51 текста при выводе формулы (3.6), которая обосновывает применение в качестве неразрушающего метода контроля закрепления балластной призмы георадиолокационный метод, ошибочно дана ссылка на формулу (3.6) вместо формулы (3.4) и нет пояснения параметра  $\delta$  и не указано чему он равен.

4) На рис. 3.9 показана хорошая корреляция определения показателя глубины закрепления балласта, получаемая методом измерения модуля деформации и георадиолокационным методом. И предлагается для контроля протяженных участков применять более производительный метод георадиолокации, но, к сожалению, эта идея не подкреплена дальше предложением для практического применения, так как надо было бы разработать рекомендации по тарированию измерений.

5) К недостаткам изложения материала главы следует отнести, что в исследовании отсутствуют ответы на ряд важных вопросов, а именно:

каков предельный расход связующего, после которого его слой принимает большую толщину вокруг щебенки, изменяя его дренирующие свойства?

какова долговечность геокомпозита?

как восстанавливать свойства закрепления после проведения выправочных работ и как усложнится их проведение?

По главе 4.

1) При описании опытного участка на стр. 73 текста и на рис. 4.3 показано, что длина его составила 36 м, а количество закрепленных шпальных ящиков, в пределах которых менялась глубина закрепления, было 24 штуки. Здесь допущена ошибка при 24 закрепленных шпальных ящиках при эюре 1840 шт/км длина должна была составить 13 м, а не 36 м как указано.

2) Также требуют пояснения выполненные расчеты расхода полимера для закрепления балластной призмы в сечении перед мостом. На каком основании модуль деформации в этом сечении принят 300 МПа и почему при расчете объема закрепления плеча балластной призмы была учтена её откосная часть, хотя на рисунке 3.3 показана обработка с вертикальными границами. Также требует пояснения, каким образом достигается равномерность обработки балластной

призмы непосредственно под шпалами, что представляется важным, учитывая, что контроль этой зоны георадаром невозможен.

3) В подрисуночных подписях к рис. 4.7 нет условных обозначений кривых, что не позволяет определить, какая из них относится к расходу полимера, а какая к показателю преломления балластного слоя. Если предположить, что кривая красного цвета относится к георадиолокационным измерениям, то отклонения от кривой черного цвета в отдельных точках составляют до 20%. Эти отклонения необходимо было количественно оценить. Писать просто без количественной оценки, что «достаточно приемлемое схождение» не корректно.

4) Недостаточно внимания уделено анализу результатов прямых измерений модуля деформации балластной призмы, приведенных на рисунке 4.8. Желательно узнать, как автор работы планирует преодолевать значительную погрешность прямых измерений, не позволяющих оценить эффект от закрепления балласта на подходе к мосту.

5) Очевидна ограниченность метода закрепления балластной призмы для решения задачи создания участков переменной жесткости, что отмечается в работе. Его применение для внедрения выработанных предложений в практику возможно при совмещении его с другими обычно используемыми способами, что потребует вернуться к этому вопросу еще раз.

По главе 5.

1) Полученные в главе результаты лабораторных измерений представляются достаточно убедительными, но остается нерассмотренным вопрос поведения модифицированного и исходного материала в полевых условиях при длительной эксплуатации, где они могут подвергаться не рассмотренным в работе воздействиям.

2) Выводы, сформулированные по результатам исследований 5 главы, ставят вопрос о технологии выбора добавок к связующим. Исследования, выполненные в работе, показывают существенное улучшение свойств геокомпозита при их использовании, но остается вопрос о том, является ли используемая добавка оптимальной?

По главе 6

1) Обоснование длины компьютерной модели желательно связывать с натурным поведением балки геокомпозита при приложении локальной силы. Кроме этого, переход от локальной силы к погонной позволил бы увязать результаты выполненного исследования и используемые технологии расчета железнодорожного пути на устойчивость.

При оформлении диссертации и автореферата не удалось избежать грамматических ошибок и неточностей при оформлении графического материала.

## **9. Заключение**

Проведенный анализ материалов диссертации указывает, что по актуальности, содержанию и значимости основных результатов диссертация



Ермолова Якова Михайловича «Модификация свойств балластной призмы полимерными вяжущими материалами актуальна для железнодорожного транспорта, обладает научной новизной и практической значимостью, результаты исследований уже внедрены или имеют высокую перспективу для внедрения. Полученные в диссертации результаты позволяют формулировать направления дальнейших научных исследований, как по теме исследований, так и в смежных областях и иных научных направлениях.

Автореферат и публикации соискателя полностью отражают основные положения и результаты диссертационной работы. При использовании материалов и отдельных результатов в работе имеются ссылки на авторов и источники заимствования.

Отмеченные замечания к работе не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертации и в целом не меняют общей положительной оценки выполненной диссертационной работы. В целом диссертация соответствует критериям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям. В части п.9 указанного Постановления диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, имеющие существенное значение для железнодорожного транспорта.

Автор диссертации – Ермолов Яков Михайлович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.06 - Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог.

Официальный оппонент: заведующий кафедрой «Путь и путевое хозяйство» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта»

доктор технических наук, доцент

Ашпиз Евгений Самуилович

ФГАОУ ВО РУТ (МИИТ)

127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9

Тел.: 8(495) 681-19-13, электронный адрес: [geonika@inbox.ru](mailto:geonika@inbox.ru)

Подпись руки   
Заверяю \_\_\_\_\_  
Начальник Отраслевого центра подготовки научно – педагогических кадров высшей квалификации  С.Н. Коржин

09.12.2020

