



Дубровская Татьяна Алексеевна

**ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ
ПОЕЗДОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

05.22.06 - Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ)

Научный руководитель

Кандидат технических наук, доцент
Миронов Виктор Степанович

Официальные оппоненты:

Подвербный Вячеслав Анатольевич,
доктор технических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Иркутский государственный университет путей
сообщения», кафедра «Строительство железных
дорог, мостов и тоннелей», профессор

Шкурников Сергей Васильевич,
кандидат технических наук, доцент
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I», кафедра
«Изыскания и проектирование железных дорог»,
доцент

Ведущая организация

Акционерное общество «Научно-исследовательский
институт железнодорожного транспорта»

Защита состоится «27» февраля 2020 года в 14 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 218.005.15 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, ауд. 7618.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), www.mii.ru.

Автореферат разослан «__» декабря 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Королев Вадим Вадимович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Интеграция Белорусской железной дороги в международную систему транспортных коридоров, соединяющих Россию и страны Запада, страны Прибалтики с Украиной и выход к Черному морю, а также обеспечение мобильности населения страны и ускорение доставки пассажиров из областных центров в столицу Республики, обуславливают необходимость повышения скоростей движения поездов. Эту задачу можно осуществить строительством новых либо путем развития и модернизации существующих магистральных железнодорожных линий.

В настоящее время в мировой практике решение проблемы повышения скоростей движения осуществляется по двум направлениям:

- строительство новых высокоскоростных магистралей со скоростями движения до 300-400 км/ч;
- реконструкция существующих линий со скоростями до 200-250 км/ч.

При проведении реконструктивных мероприятий наиболее капиталоемким является реконструкция плана линии. Объем реконструкции плана можно существенно сократить за счет использования специального подвижного состава. Кроме того, при обосновании проектных решений по выбору рациональных параметров реконструкции железных дорог под скоростное движение большое значение приобретает необходимость учета частичной неопределенности исходных данных об условиях реконструкции и эксплуатации дороги.

Необходимость увеличения скорости движения на всех видах транспорта с целью ускорения перевозок пассажиров и грузов предопределена требованиями повышения эффективности производства и производительности труда. Государственная программа развития транспорта Республики Беларусь на 2016 - 2020 годы в области железных дорог, направленная на решение этих и других задач, предусматривает приобретение и производство тягового и моторвагонного подвижного состава, дальнейшую электрификацию железнодорожных линий, развитие скоростного межрегионального пассажирского сообщения и прежде всего повышение скоростей движения во II международном транспортном коридоре Восток – Запад (Москва – Минск – Берлин).

Существующая средняя ходовая скорость по всему коридору составляет примерно 95 км/ч, максимальная 140 км/ч. Только на отдельном участке, станция Лесная – станция Доманово максимальная скорость движения поездов составляет 160 км/ч. Таким образом, задача повышения скорости движения поездов до 160-200 км/ч на всем коридоре актуальна.

Кроме этого, начиная с декабря 2019-го, планируется запуск подвижного состава ОАО РЖД «Ласточка» (5+5, номер 729/736, круглогодично/ежедневно) по направлению Москва (РФ) – Орша (РБ) с дальнейшим продлением маршрута до г. Минска, что подтверждает еще большую необходимость в исследовании данного транспортного коридора.

Степень разработанности темы исследования. Анализу реконструкции существующих железнодорожных линий под скоростное движение посвящены работы Г.З. Верцмана, Г.М. Шахунянца, А.И. Иоаннисяна, В.А. Лазаряна, И.В. Турбина, В.О. Певзнера, В.С. Миронова, В.А. Подвербного, Г.Л. Аккермана, В. А. Копыленко, Л. З. Прасова, Е. С. Свинцова, С.В. Шкурникова, Д.Н. Кургана, Н.Б. Кургана и др.

Изученный автором опыт внедрения скоростного движения в различных странах мира, с учетом особенностей Республики Беларусь, показал, что в имеющихся публикациях и практической работе имеется ряд вопросов, обусловленных современными условиями эксплуатации.

Однако, в этих методиках недостаточно обоснованы некоторые слагаемые критерия эффективности, а также не учтены факторы неопределенности исходной информации.

Цель работы. Целью диссертационной работы является разработка методики обоснования технических параметров и средств оснащения линии, переустраиваемой под скоростное движение пассажирских поездов, в условиях частичной неопределенности исходной информации для железных дорог Республики Беларусь.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

- выполнен анализ тенденций развития скоростного движения в мировой практике, в том числе – с использованием различных типов подвижного состава;
- проведено технико-экономическое обоснование использования нового подвижного состава, способного реализовывать более высокие скорости при непогашенном ускорении, равном $0,9 \text{ м/с}^2$ (на примере Белорусской железной дороги);
- разработан алгоритм методики выбора радиуса круговых кривых в плане для реконструкции дорог с учетом использования различного типа подвижного состава;
- определена структура денежного критерия, определяющего наиболее эффективный вариант комплекса технических параметров при реконструкции железных дорог для скоростного движения;
- выполнен анализ способов определения стоимости пассажира-часа;

- выполнен анализ факторов частичной неопределенности, присущих исходной информации, необходимой для разработки проектов реконструкции железных дорог под скоростное движение пассажирских поездов;

- разработана методика обоснования параметров реконструкции железных дорог под скоростное движение, учитывающая неопределенность исходной информации;

- методика апробирована на участке Красное-Минск-Брест II транспортного коридора.

Объектом исследования является железная дорога как сложная многофункциональная техническая система.

Предметом исследования является выбор и обоснование проектных решений при реконструкции железных дорог для скоростного движения пассажирских поездов с учетом неопределенности исходной информации.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- выполнен анализ методики выбора рациональных параметров плана линии при повышении скоростей движения на существующих линиях;

- исследована и обоснована эффективность применения норматива непогашенного ускорения $a_{нп} = 0,9 \text{ м/с}^2$ на Белорусской железной дороге (подтверждена актом внедрения);

- получена аналитическая зависимость для определения радиусов кривых в условиях смешанного грузового и пассажирского движения при различном типе подвижного состава;

- разработан алгоритм определения рекомендуемого радиуса и возвышения наружного рельса с учетом индивидуальных условий эксплуатации каждой кривой;

- установлена структура доходов и затрат для определения сравнительной и общей эффективности решений при реконструкции линий для скоростного движения пассажирских поездов;

- исследована стоимость пассажиро-часа, используемая при обосновании технических параметров реконструкции и эффективности внедрения скоростного движения; предложена новая методика расчета стоимости времени нахождения пассажиров в пути;

- разработана методика обоснования параметров реконструкции железных дорог под скоростное движение, учитывающая неопределенность исходной информации; методика апробирована на одном из участков Белорусской железной дороги.

Теоретическая и практическая значимость. Показана возможность реализации скоростного движения пассажирских поездов на существующих линиях при смешанных грузовых и пассажирских перевозках. Предложен наиболее эффективный способ сокращения времени хода для Белорусской железной дороги: применение подвижного состава с наклоном кузова или увеличение нормативного значения непогашенного ускорения до $0,9$

м/с² с использованием современного подвижного состава, что подтверждено актом внедрения Службой пути Белорусской железной дороги.

Предложен алгоритм принятия решений в условиях частичной неопределенности исходной информации, обоснованный на базе участков Красное – Минск, Минск – Брест Белорусской железной дороги. Для каждого участка предложен свой вариант комплекса технических параметров для введения скоростного движения.

Алгоритмы реализации разработанных методик проектирования можно использовать в практике проектирования железных дорог, переустраиваемых под скоростное движение пассажирских поездов, а также при разработке автоматизированных систем проектирования.

Потенциальными потребителями работы являются Белорусская железная дорога, проектные организации, а также научно-исследовательские институты, осуществляющие разработку проектов и исследования по реконструкции железных дорог для скоростного движения.

Результаты исследования могут быть использованы в учебном процессе при подготовке инженеров путей сообщения.

Методология и методы исследования. При анализе задач исследования и разработки способов их решения использован системный подход.

Определение зависимостей радиусов кривых от скоростей движения поездов выполнено с применением основных положений теоретической механики.

Определение общего критерия для выбора решения в условиях неопределенности и риска базируется на основных принципах теории игр и принятия решений.

При обосновании проектных решений применены методы выбора оптимальных решений, разработанные и используемые в практике изысканий и проектирования железных дорог.

Положения, выносимые на защиту:

- алгоритм методики выбора радиуса круговых кривых в плане для реконструкции дорог с учетом использования различного типа подвижного состава;
- анализ обоснования эффективности применения увеличенного норматива непогашенного ускорения $a_{нп} = 0,9 \text{ м/с}^2$, учитывающие особенности работы Белорусской железной дороги;
- методики расчета стоимости пассажиро-часа при увеличении скоростей движения на основании сравнения скоростных и пассажирских поездов, курсирующих на реконструируемом участке, и с использованием проектных данных (величина капвложений, эксплуатационных расходов и сокращение времени нахождения пассажиров в пути);

- методика выбора параметров реконструкции железных дорог для скоростного движения с учетом частичной неопределенности исходной информации.

Степень достоверности и апробации результатов. Основные положения диссертации докладывались и получили одобрение на заседаниях кафедр «Изыскания и проектирование железных дорог» и «Проектирование и строительство железных дорог» РУТ (МГУПС (МИИТ)) – 2010 – 2014 гг., 2019 г.; кафедры «Изыскания и проектирование железных дорог» ПГУПС – 2013 г.; кафедры «Изыскания и проектирование дорог» БелГУТ (БИИЖТ) – 2013-2018 гг.; научно-практических конференциях «Неделя науки» 2011 г, 2013 г. (МГУПС (МИИТ)); научно-методической конференции «Путь XXI века» (ПГУПС) 2013г.; ХLI научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Железнодорожный транспорт: современные проблемы науки» (ДЕГУТ, Киев), 2012 г.; VI международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем в условиях реформирования железнодорожного транспорта: управление, экономика и технология» (Киев), 2013 г.; III международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (БелГУТ (БИИЖТ), г. Гомель), 2013 г.; VI международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» (БелГУТ (БИИЖТ), г. Гомель), 2013 г., VII международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» (БелГУТ (БИИЖТ), г. Гомель), 2015 г., VIII международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» (БелГУТ (БИИЖТ), г. Гомель), 2017 г., X международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте» (БелГУТ (БИИЖТ), г. Гомель), 2018 г., девятой международной научно-практической конференции «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (ИрГУПС 2018), а также вошли в состав научно-исследовательской работы кафедры «Изыскания и проектирование дорог» (БелГУТ (БИИЖТ), г. Гомель) за 2012 – 2017 гг.

Основные результаты работы приняты для дальнейшего изучения и внедрения Службой пути Белорусской железной дороги, а также внедрены в учебный процесс Белорусского государственного университета транспорта для студентов строительных специальностей.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 16 печатных работах, в том числе 3 работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем работы составляет 158 страниц машинописного текста, в том числе 43 рисунка, 32 таблицы, 1 приложение. Список литературы содержит 127 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, дана характеристика и степень изученности решаемых в диссертации вопросов, сформулированы цели и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость проведенной работы. Определены потенциальные потребители работы.

Первая глава «Тенденции развития скоростного движения» посвящена обзору трудов отечественных и зарубежных ученых, занимающихся вопросами внедрения скоростного движения на существующих железнодорожных линиях, дается постановка задачи, формируются цели исследования, устанавливается критерий исследования.

Сравнительный анализ основных направлений развития скоростного и высокоскоростного движения – за рубежом, в России и Республике Беларусь показывает, что мировая практика внедрения скоростного движения насчитывает уже более полувека. Лидерами в данной области всегда были Япония, Французская Республика, Федеративная Республика Германия и т.д. Однако уже с 2008 г. очень быстрыми темпами начинает внедряться скоростное и высокоскоростное движение в Китайская Народная Республика, который на сегодняшний день и является мировым лидером скоростного движения.

Проанализированы особенности внедрения скоростного движения пассажирских поездов на территории Республики Беларусь. Отмечено, что скоростное движение будет осуществляться на существующих линиях при смешанных грузовых и пассажирских перевозках. Выделены основные направления, на которых планируется ввести скоростное движение пассажирских поездов. Эти направления совпадают со II транспортным коридором «Восток-Запад», а также железнодорожные линии, соединяющие столицу республики с областными центрами. Основным недостатком существующих железных дорог является наличие в плане кривых малых радиусов, ограничивающих скорости движения. Увеличение радиусов кривых в плане помимо значительных капиталовложений, потребует реконструкцию всей существующей инфраструктуры, находящейся вблизи реконструируемой железной дороги (перенос опор и линий контактной сети, ЛЭП, снос зданий и строений и т.д.). Альтернативным вариантом реконструкции является применение нового улучшенного подвижного состава, способного за счет своих конструктивных особенностей, преодолевать криволинейные участки пути с большей скоростью, по сравнению с обычным подвижным составом. Применение таких составов позволяет уменьшить объемы реконструкции железнодорожной линии.

В первой главе рассмотрен три вида современного подвижного состава, построенные и эксплуатируемые различными предприятиями и в различных странах: вагоны концерна Stadler-Минск, курсирующие на территории Республики Беларусь ($V_k = 160$ км/ч), вагоны

электropоездов «Ласточка» с допускаемым непогашенным ускорением $0,9 \text{ м/с}^2$ ($V_k = 160 \text{ км/ч}$), подвижной состав «Стриж» с принудительным наклоном кузова (вагоны Talgo) ($V_k = 200 \text{ км/ч}$). Изучены их преимущества и недостатки.

Выделены два принципиальных подхода повышения скоростей движения на существующих линиях, суть которых заключается в следующем:

1. Повышение скоростей движения поездов можно достичь за счет изменения геометрических параметров линии (план и продольный профиль), которые потребуют значительных капитальных вложений.

2. Повышение скорости можно достичь путем введения модернизированного подвижного состава с возможностью реализации непогашенного поперечного ускорения $a_{\text{нп}} = 0,9 \text{ м/с}^2$ или/и подвижного состава с наклоном кузова при безусловном обеспечении уровня комфортабельности езды пассажиров.

Вторая глава посвящена разработке алгоритма выбора оптимального радиуса кривых при реконструкции существующих линий под скоростное движение поездов и исследованию и обоснованию эффективности увеличения норматива непогашенного ускорения $a_{\text{нп}} = 0,9 \text{ м/с}^2$ на Белорусской железной дороге при использовании специального подвижного состава.

Для выбора оптимального варианта реконструкции существующего пути под скоростное движение предложен алгоритм определения рекомендуемых радиусов круговых кривых в плане для каждой отдельной кривой с учетом скорости проследования ее поездами разных категорий и размеров движения (рисунок 1).

Предварительно необходимо выполнить тяговые расчеты для всех категорий поездов и установить скорости движения по каждой из кривых (блок 1).

С использованием данных тяговых расчетов и заданных на заданный год размеров перевозок вычисляется средневзвешенная скорость движения поездопотока $V_{\text{ср}}$ (блок 2).

В блоке 3 выполняется расчет радиуса кривой по условию одинакового износа рельсов ($R_{\text{из}}$) и комфортабельной езды пассажиров ($R_{\text{ком}}$) при максимальном возвышении 150 мм.

В блоке 4 выполняется сравнение радиусов, полученных по равномерному износу и по комфортабельности. На рисунке 2 показана зависимость $R_{\text{из}}$ и $R_{\text{ком}}$ от возвышения наружного рельса.

При $R_{\text{ком}} \geq R_{\text{из}}$ необходимо установить положение точки пересечения кривых $R_{\text{ком}}(h)$ и $R_{\text{из}}(h)$. При этом будут выполнены оба условия – по одинаковому износу и комфорту пассажиров. Необходима циклическая операция расчета до тех пор, пока разность между $R_{\text{ком}} - R_{\text{из}}$ не будет ≤ 0 (блоки 5-8). На каждой итерации возвышение наружного рельса уменьшается на n мм, кратно 5 (блок 6).

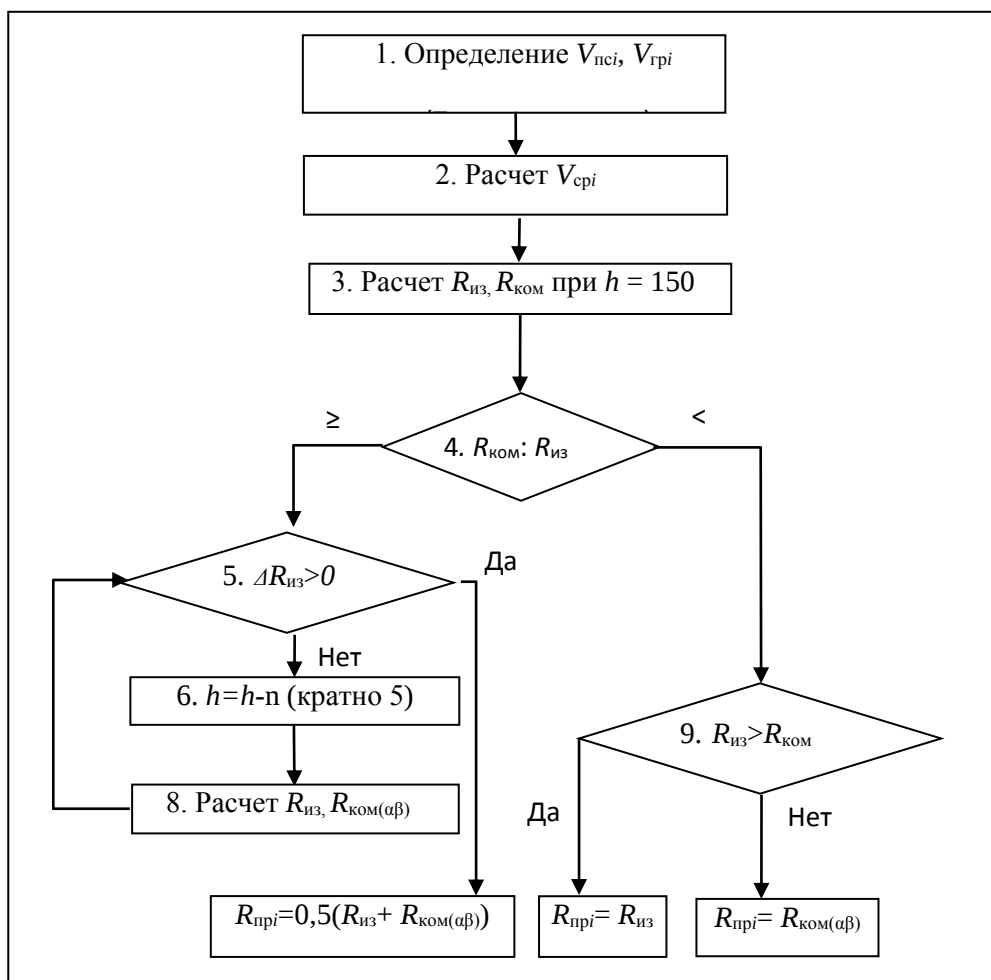


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма определения нормативных радиусов кривых

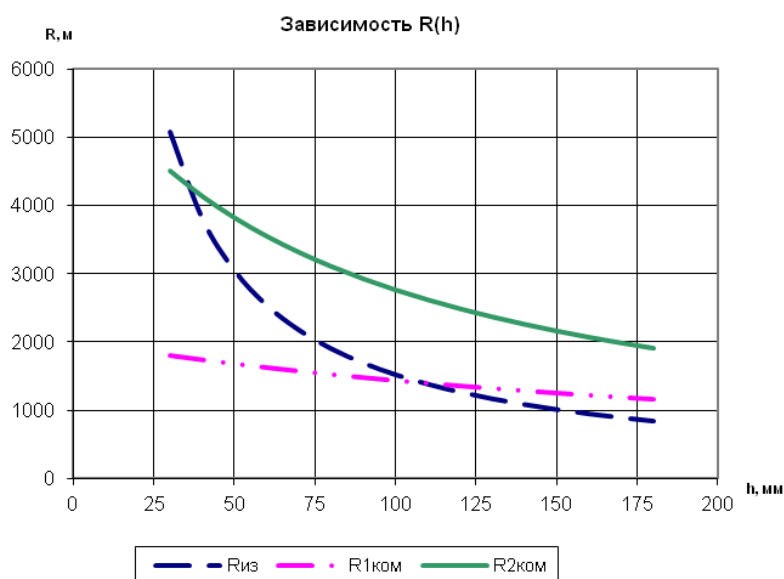


Рисунок 2 – График зависимости величины радиуса кривой от возвышения наружного рельса: $R_{из}$ – радиус по условию одинакового износа рельсов; $R_{1ком}$ – радиус по условию комфортной езды пассажиров в вагонах с наклоном кузова; $R_{2ком}$ – радиус по условию комфортной езды пассажиров в обычных вагонах

При $R_{\text{ком}} < R_{\text{из}}$ определение радиуса производится в блоке 9. В этом случае необходимо принимать больший из радиусов $R_{\text{из}}$ и $R_{\text{ком}}$ при $h=150$ мм. При этом, если $R_{\text{из}} > R_{\text{ком}}$, то при проектном значении радиуса, равном $R_{\text{из}}$, будет обеспечено равномерное давление на рельсы и непогашенное ускорение меньше нормативного значения.

Если $R_{\text{ком}} > R_{\text{из}}$, то будут обеспечены комфортабельные условия, а давление на внутренний рельс и его износ будут большими (в данном случае износ определяется с учетом грузового движения).

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет определять величины радиуса кривой с учетом условий её эксплуатации – скоростей движения и размеров перевозок. Алгоритм реализуется в электронных таблицах Excel.

На рисунке 3 приведен пример таких расчетов. В первой таблице приводятся характеристики условий эксплуатации реконструируемой железной дороги: размеры грузового движения по рассматриваемому пути $\Gamma_{\text{н}}$, т; число пар пассажирских поездов $n_{\text{пс}}$; масса пассажирского поезда $Q_{\text{пс}}$; непогашенное ускорение $a_{\text{нп}}$; угол наклона кузова вагона α° (для обычного подвижного состава $\alpha^\circ=0$).

Во второй таблице заданы скорости движения пассажирских ($V_{\text{пс}}$) и грузовых ($V_{\text{гр}}$) поездов по каждой кривой, полученные в результате тяговых расчетов. В последних двух колонках приведены результаты определения рекомендуемого радиуса $R_{\text{рек}}$ и соответствующего ему возвышения наружного рельса h .

Таблица 3.1 - Общие характеристики линии

Грузонапряженность $\Gamma_{\text{н}}$, млн ткм нетто/км в год		$n_{\text{пс}}$, п. п./сут.	$Q_{\text{пс}}$, Т	$a_{\text{нп}}$, м/с ²	α°
45,066		25	651	0,5	6

Таблица 3.2 - Расчет радиуса и возвышения наружного рельса (вагоны с наклоном кузова)

№ кривой	$V_{\text{пс}}$, км/ч	$V_{\text{гр}}$, км/ч	$V_{\text{ср}}$, км/ч	$R_{\text{из}}$, м	$R_{\text{ком}}$, м	$R_{\text{рек}}$, м	h , мм
1	200	86	100	1012	1246	1394	108
2	150	90	97	934	702	934	150

Рисунок 3 – Определение радиуса в таблицах Excel

Во второй части главы 2 проводится сравнительный анализ двух принципиальных подходов к увеличению скорости прохождения криволинейных участков существующих линий на примере Белорусской железной дороги:

- реконструктивные мероприятия по увеличению радиусов кривых;
- использование улучшенного подвижного состава, способного реализовывать более высокие скорости в кривых.

При рассмотрении реконструктивных мероприятий изучен и определен состав затрат на реконструкцию дороги, в которую входят капиталовложения в реконструкцию плана линии ($K_{рек}$) (стоимость досыпки или устройства нового земляного полотна, верхнее строение пути и другое) и стоимость переустройства существующей инфраструктуры ($K_{инф}$) (опоры контактной сети и сама контактная сеть, здания и сооружения и так далее).

$$Z_t = K_{рек} + K_{инф}. \quad (1)$$

Кроме всего прочего, существующая инфраструктура не всегда позволяет произвести увеличение радиусов. Анализ линий Белорусской железной дороги приводит к тому, что порядка 35 % всех кривых переустраивать невозможно.

В качестве примера для дальнейших расчетов принят участок II транспортный коридор, проходящий по территории Республики Беларусь: Красное – Минск – Брест. Характеристика участка представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика плана линии Красное – Минск – Брест

Наименование участка	Длина участка, км	Протяженность кривых радиусами, км							
		общая	>1900	1899-1600	1599-1200	1199-900	899-680	679-500	150
Красное – Брест	603,1	137,1	42,5	5,6	10,3	30,5	14,3	33,1	0,8
		22,7	7,0	0,9	1,7	5,1	2,4	5,5	0,1

Расчет стоимости переустройства участка показал, что стоимость реконструкции всего участка существующей железнодорожной линии Красное – Минск – Брест (603,1 км) равен 42,125 миллиона белорусских рублей (1,369 миллиарда российских рублей).

Альтернативный вариант – применение улучшенного подвижного состава, который позволяет повысить скорость прохождения кривых без проведения реконструкции плана. В работе рассмотрены следующие типы подвижного состава: ЭП^м «Stadler» ($a_{нп} = 0,7 \text{ м/с}^2$), курсирующий на данный момент в Республике Беларусь, ЭС2Г «Ласточка» ($a_{нп} = 0,9 \text{ м/с}^2$) и ЭП20 «Стриж» ($a_{нп} = 1,0 \text{ м/с}^2$). Два последних курсируют на территории Российской Федерации и позволяют увеличить скорость прохождения кривых за счет увеличенного норматива непогашенного ускорения.

Возможность применения увеличенного норматива непогашенного ускорения $a_{нп} = 0,9 \text{ м/с}^2$ для подвижного состава типа «Ласточка» доказана работами ВНИИЖТа¹. Данная методика предусматривает обследование и анализ состояния участков, где планируется применение увеличенного норматива непогашенного ускорения, в том числе по достаточности длин переходных кривых и других параметров устройства пути.

Увеличение непогашенного ускорения до $0,9 \text{ м/с}^2$, согласно исследования ВНИИЖТа большинство людей переносит удовлетворительно.

Подвижной состав «Стриж» курсирует на направлении Москва – Берлин. У данной модели поезда при входе в криволинейные участки появляется дополнительный наклон кузова, который обеспечивает специальная система подвеса. Благодаря этому скорость прохождения кривых увеличивается. Увеличивается и величина непогашенного ускорения до 1 м/с^2 . При этом, за счет наклона кузова большинство людей увеличение непогашенного ускорения практически не чувствуют. Подвижные составы с наклоном кузова очень дорогие в закупке и являются не выгодными в экономическом плане для Республики Беларусь.

Подвижной состав ЭП^м «Stadler» (производство Беларусь, г. Фаниполь) является сейчас действующим в Республике Беларусь и курсирует между г. Минском и некоторыми областными центрами. За счет локализации производства в стране, стоимость данного подвижного состава значительно ниже стоимости остальных.

Выполненные тяговые расчеты всех трех подвижных составов (таблица 2) показали, что время нахождения в пути подвижного состава с допускаемым непогашенным ускорением $0,9 \text{ м/с}^2$ (ЭС2Г «Ласточка») сокращается по сравнению с обычным подвижным составом примерно на 13%.

Таблица 2 – Время прохождения криволинейных участков пути при применении различного подвижного состава (участок ст. Красное– Минск–Брест Бел.ж.д. 603,1 км)

Наименование участка	План линии		Тип подвижного состава		
	Прямые, км	Кривые, км	ЭП ^м «Stadler» ($a_{нп}=0,7 \text{ м/с}^2$)	ЭП20 «Talگو» ($a_{нп}=1,0 \text{ м/с}^2$)	ЭС2Г «Ласточка», («Stadler») ($a_{нп}=0,9 \text{ м/с}^2$)
Красное – Минск	181,50	78,50	88 мин	80 мин	81 мин
Минск – Брест	286,40	58,60	41 мин	35 мин	34 мин
			129 мин	115 мин	114 мин

Из таблицы видно, что суммарная длина кривых участков составляет 137,1 км, на которых имеем сокращение времени хода на 15 мин (при движении с $a_{нп}=0,9 \text{ м/с}^2$). Следовательно, применение подвижного состава «Ласточка» позволит сократить время

¹ Типовая методика для проведения работ по повышению скоростей движения современного скоростного подвижного состава по существующему пути

нахождения пассажиров в пути по сравнению с курсирующим подвижным составом ЭПМ «Stadler» ($a_{\text{нп}}=0,7 \text{ м/с}^2$) за счет более быстрого прохождения кривых.

Вывод об эффективности применения скоростного подвижного состава выполняется на основании расчета чистого дисконтированного дохода (далее - ЧДД) и срока окупаемости затрат по формуле

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (C_{\text{п-ч}} + Д + K_{\text{пс(возв.)}} \pm \Delta C_t - K_{\text{рек}} - K_{\text{пс}}) \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (2)$$

где $C_{\text{п-ч}}$ – дополнительная плата пассажиров за сокращение времени поездки; $Д$ – дотации государство на введение скоростного движения, млн. руб.; $K_{\text{пс(возв.)}}$ – возврат денежных средств от продажи освободившегося подвижного состава, млн. руб.; ΔC – изменение в эксплуатационных расходах, с учетом увеличения затрат на тягу поезда при увеличении скорости движения, млн. руб.; $K_{\text{рек}}$ – стоимость переустройства линии под скоростное движение поездов, млн. руб.; $K_{\text{пс}}$ – стоимость приобретения нового подвижного состава, млн. руб.; E – норма дисконтирования затрат.

Использование нового подвижного состава в пассажирском движении и модернизация технического состояния дороги после реконструкции изменят и эксплуатационные расходы как в пассажирском, так и грузовом движении. В частности, реализация более высоких скоростей требует больших затрат энергоресурсов, а улучшение плана трассы позволит уменьшить расходы на содержание пути в кривых. Уменьшение времени оборота подвижного состава влияет на потребность в локомотивных бригадах. Также следует учитывать дополнительные эксплуатационные издержки, связанные с дополнительным простоем поездов из-за увеличения съема грузовых поездов скоростными пассажирскими. Поэтому в состав показателя критерия эффективности внедрения скоростного движения необходимо включить разность эксплуатационных расходов, вызванную переустройством линии и заменой подвижного состава ($\pm \Delta C_0$).

Общий показатель ЧДД при различных стоимостях пассажиро-часа приводится на рисунке 4.

Из рисунков видно, что при существующей стоимости пассажиро-часа ЧДД станет положительным через 1,5 года и проект будет считаться выгодным. При увеличении стоимости пассажиро-часа в 1,5 раза проект окупиться через полгода. При увеличении стоимости в 2 раза, проект начнет окупаться практически сразу. Так как проект социальный, сокращение времени хода на 10 минут на участке в 603,1 км при существующей стоимости пассажиро-часа, а, следовательно, и при существующей стоимости билетов будет самым оптимальным вариантом. При этом срок окупаемости 1,5 года является меньше нормативного.

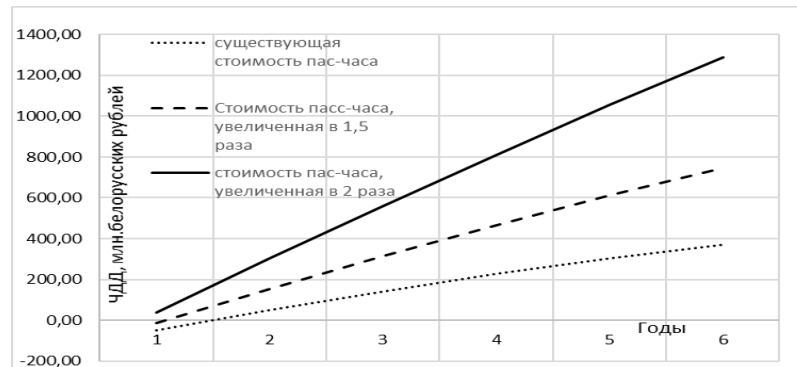


Рисунок 4 – Общий показатель ЧДД при различной стоимости пассажиро-часа:

1 – при стоимости пас-часа, увеличенной в 2 раза; 2 – при стоимости пас-часа, увеличенной в 1,5 раза; 3 – при существующей стоимости пас-часа (6,6 бел.руб.)

Сроки окупаемости при различной стоимости пассажиро-часа в зависимости от размера движения представлены на рисунке 5.

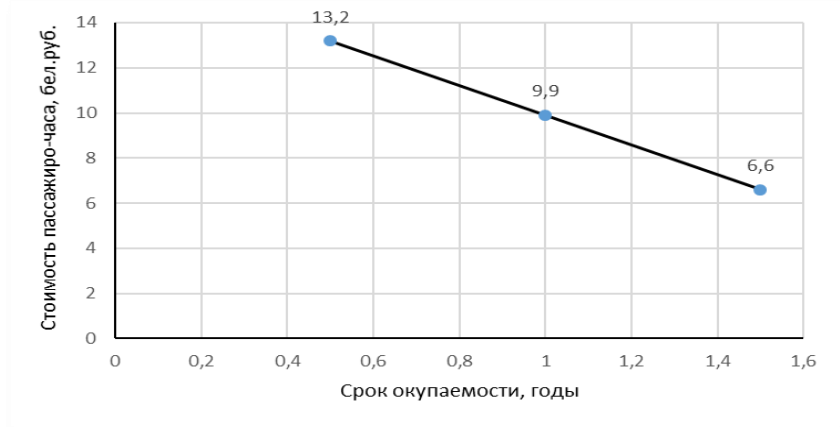


Рисунок 5 – Срок окупаемости введения скоростного движения при различной стоимости пас-ч

Таким образом, произведено обоснование методики возможности увеличения норматива непогашенного ускорения до $0,9 \text{ м/с}^2$ на Белорусской железной дороге. Доказана целесообразность применения подвижного состава с увеличенным непогашенным ускорением до $0,9 \text{ м/с}^2$ при введении скоростного движения на существующих линиях. В 2019 году на базе данных исследований, а также собственных разработок, Белорусская железная дорога поставила задачу перед компанией «Stadler» на разработку новой модели подвижного состава с усиленными динамическими свойствами для дальнейшей экспериментальной проверки и возможности эксплуатации подвижного состава ЭПМ «Stadler» с $a_{\text{нп}}=0,9 \text{ м/с}^2$.

Последним этапом второй главы проведено исследование стоимости пассажиро-часа, используемой при обосновании эффективности скоростного движения. Рассмотрены существующие способы определения стоимости пассажиро-часа и предложена методика

расчета, основанная на проектных затратах по реконструкции и эксплуатации дороги для скоростного движения.

Эффект увеличения скорости движения выражается количеством сэкономленного времени пассажиров в пути (пассажиро-часами), а в денежном выражении – стоимостью сэкономленных пассажиро-часов и входит в формулу ЧДД, определяющий срок окупаемости введения скоростного движения

$$C_{\text{пас-ч}} = 365n_{\text{пас}} \cdot m \cdot \alpha_{\text{зап}} \cdot \Delta T \cdot e_{\text{пас-ч}} \cdot 10^{-6}, \text{ млн. руб./год}, \quad (3)$$

где $n_{\text{пас}}$ – количество скоростных пассажирских поездов в сутки;

m – вместимость поезда, чел.;

$\alpha_{\text{зап}}$ – коэффициент использования вместимости поезда в долях единицы;

$e_{\text{пас-ч}}$ – стоимость пассажиро-часа в руб.;

ΔT – сокращение времени нахождения пассажиров в пути (в оба направления), час.

Для целей сравнения вариантов и принятия решений в проектах строительства и реконструкции железных дорог в данном исследовании предлагается использовать при определении стоимости пассажиро-часа строительные и эксплуатационные затраты, необходимые для реализации скоростного движения пассажирских поездов.

Предположим, что на реконструкцию линии для увеличения скоростей движения затрачено $K_{\text{рек.}}$, на приобретение подвижного состава с учетом возврата от продажи существовавшего подвижного состава – $(K_{\text{пс.}} - K_{\text{пс(воз.)}})$.

При этом общие эксплуатационные затраты изменились на $\pm \Delta C$.

Пусть пассажиры, сэкономившие в пути за счет внедрения скоростного движения ΔT часов, платят за это в период нормативного срока окупаемости $T_{\text{н}}$.

$$\text{Тогда} \quad [K_{\text{рек}} + (K_{\text{пс.}} - K_{\text{пс(воз.)}})]/T_{\text{н}} + \Delta C(1 + P_{\text{ср}}) = 730n_{\text{пас}} \cdot m \cdot \alpha_{\text{зап}} \cdot \Delta T \cdot e_{\text{пас-ч}}. \quad (4)$$

Из этого выражения, с учетом средней прибыли $P_{\text{ср}}$, можно определить фактическую стоимость пассажиро-часа сэкономленного времени

$$e_{\text{пас-ч}} = \frac{K_{\text{рек}} + (K_{\text{пс}} - K_{\text{пс(воз.)}}) \pm \Delta C \cdot (1 + P_{\text{ср}}) \cdot T_{\text{н}}}{730n_{\text{пас}} \cdot m \cdot \alpha_{\text{зап}} \cdot \Delta T \cdot T_{\text{н}}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{ср}}$ - средняя прибыль в отрасли.

Таким образом, предложенная во второй главе сравнительная оценка эффективности переустройства участков железной дороги под скоростное движение пассажирских поездов позволяет выбрать наиболее рациональный вариант повышения скоростей на существующих линиях с учетом критерия снижения затрат и ускорения доставки пассажиров.

Расчетами подтверждено, что применение нового подвижного состава с непогашенным ускорением $a_{\text{нп}} = 0,9 \text{ м/с}^2$ позволяет реализовывать более высокие скорости на существующем пути без значительных капиталовложений в реконструкцию линии. Следовательно, для Белорусской железной дороги предлагается усовершенствовать нормативную базу и увеличить величину допускаемого непогашенного ускорения до $0,9 \text{ м/с}^2$.

В третьей главе диссертации «Выбор параметров реконструкции железных дорог для скоростного движения с учетом неопределенности» рассмотрены методы принятия решений и изложена методика выбора технических параметров реконструируемых железных дорог в условиях частичной неопределенности исходной информации.

Задачи по принятию решений можно классифицировать по разным признакам. Исходя из классификации, участок железной дороги рассматривается как однокритериальная статическая недетерминированная система. Однокритериальная - так как единственным критерием в рассматриваемой задаче является минимум затрат на строительство и эксплуатацию дороги. Статическая - так как участок дороги уже с устоявшимися условиями эксплуатации и принят за определенный промежуток времени без изменений (с постоянной грузонапряженностью и т.д.). По степени достоверности информации - недетерминированная, так как планируемые параметры цели подвержены по разным причинам изменениям (в момент принятия решения (выбора параметра) можно только прогнозировать (утверждать с некоторой вероятностью) обстановку, которая сложится в будущем (например, размеры перевозок, единичные расценки и т.д.), что вносит неопределенность в их значения, а значит, делает задачу недетерминированной.

Принятие решений в условиях неопределенности основано на том, что вероятности различных вариантов развития событий неизвестны. Существует несколько классических критериев принятия решений в условиях неопределенности и риска (критерии Байеса-Лапласа, Сэвиджа, произведений, Ходжа-Лемана, Гурвица, Гермейера и т.д.).

Отдельно рассмотрен интегральный вероятностный критерий. Его отличительной особенностью является то, что для каждого варианта расчетных условий, определяются интервалы вероятностей, в которых то или иное решение является рациональным. Окончательное решение принимается по максимуму суммы вероятностей. Одновременно устанавливается интервал вероятностей реализации каждого варианта расчетных условий, при котором намеченные варианты решений будут экономически выгодными.

В методике выбора технических параметров реконструируемых железных дорог в условиях частичной неопределенности исходной информации в качестве основы для принятия решений предложен алгоритм в виде блок-схемы (рисунок 6). Процесс принятия решений по выбору оптимального комплекса технических параметров железнодорожной линии согласно данному алгоритму происходит следующим образом.

В блоке 1 изучаются условия строительства и эксплуатации линии, выбираются факторы неопределенности, определяются варианты расчетных условий.

С учетом мощности переустраиваемой линии и прогнозируемых размеров перевозок назначаются варианты переустройства дороги (блок 2).

В блоке 3 предполагается выполнить расчеты возможной пропускной способности состояний и, сопоставив их с потребной пропускной способностью, выявить их соотношение. Отсеиваются технические состояния в некоторых расчетных условиях, если они не справляются с заданными размерами перевозок.

В блоке 4 выполняется комплекс расчетов по определению стоимости переустройства магистрали и размеров эксплуатационных затрат.

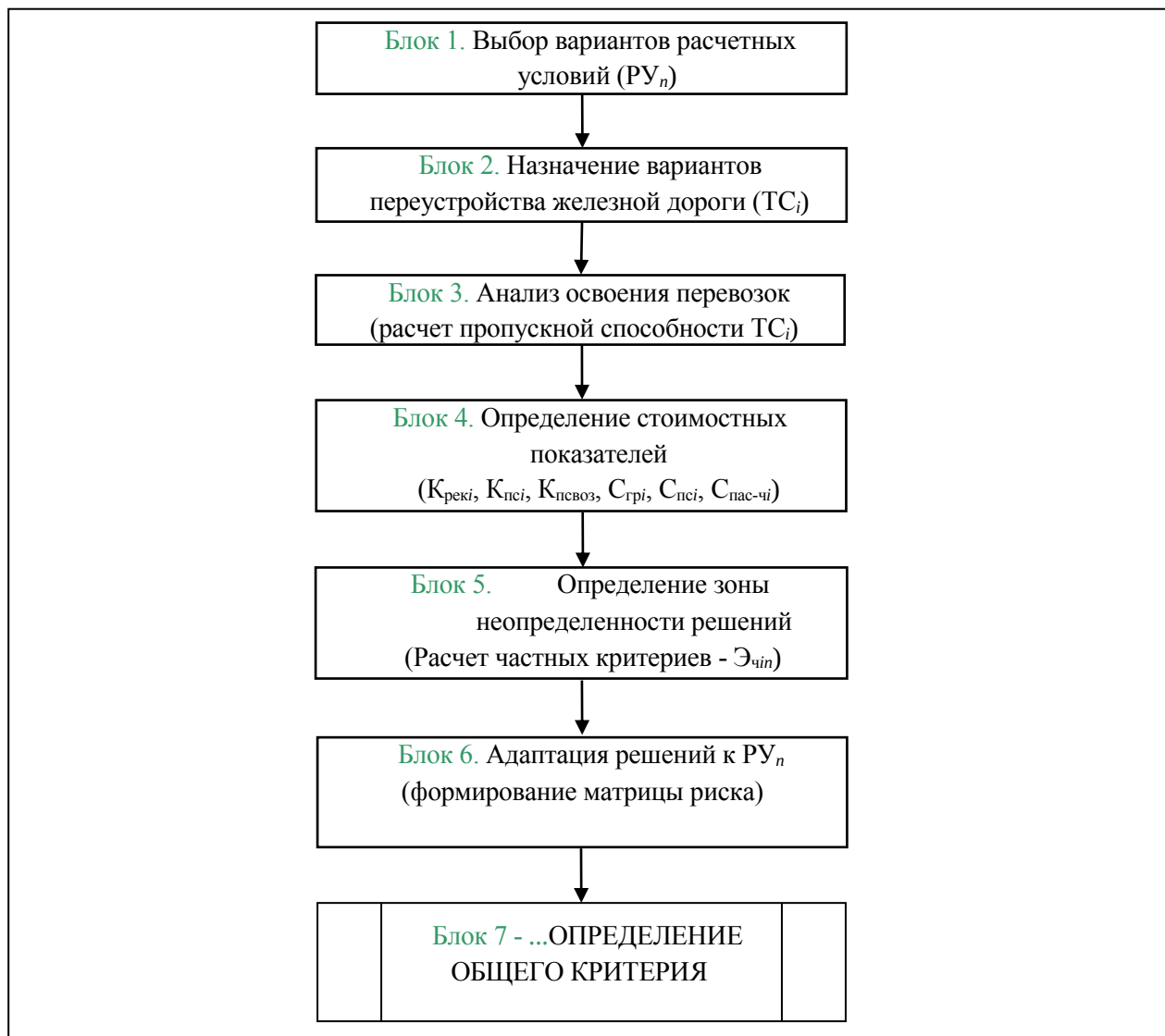


Рисунок 6 – Алгоритм выбора параметров реконструкции с учетом неопределенности

В блоках 5-7 выполняется расчет общего интегрального вероятностного критерия (ИВК). Основой для определения ИВК служит анализ вероятности осуществления расчетных условий (РУ) и определение в ходе анализа значений границ вероятностей, в которых то или иное решение будет оптимальным.

Вероятность реализации рассматриваемого РУ (p_n) принимается переменной и изменяется в диапазоне (0;1).

Вероятности остальных РУ принимаются равными:

$$p_j = \frac{1 - p_n}{N - 1}. \quad (6)$$

С учетом этого, получаем следующую зависимость для вычисления математического ожидания частного критерия

$$M_{in}(p_n) = r_{in}p_n + \sum_{j=1}^{N-1} r_{ij}p_j, \quad (7)$$

где r_{in} – значение частного критерия для рассматриваемого РУ; r_{ij} – значения частных критериев при остальных РУ.

Подставляя выражение (6) в выражение (7), получаем:

$$M_{in}(p_n) = \left(r_{in} - \frac{\sum_{j=1}^{N-1} r_{ij}}{N-1}\right) \cdot p_n + \frac{\sum_{j=1}^{N-1} r_{ij}}{N-1}. \quad (8)$$

Введем следующие обозначения:

$$k_i = r_{in} - \frac{\sum_{j=1}^{N-1} r_{ij}}{N-1}, \quad b_i = \frac{\sum_{j=1}^{N-1} r_{ij}}{N-1}. \quad (9)$$

В результате выражение (9) можно записать следующим образом:

$$M_{in}(p_n) = k_{in} \cdot p_n + b_{in}. \quad (10)$$

В развернутом виде для каждого варианта расчетных условий $n \in N$ получаем A линейных зависимостей (A – количество оптимальных решений зоны неопределенности)

$$M_{1n}(p_n) = k_{1n} \cdot p_n + b_{1n}$$

.....

$$M_{in}(p_n) = k_{in} \cdot p_n + b_{in}$$

.....

$$M_{In}(p_n) = k_{In} \cdot p_n + b_{In}.$$

Анализ абсцисс этих точек пересечений (рисунок 7) позволяет установить интервалы вероятностей реализации расчетных условий, в которых то или иное решение является наиболее рациональным.

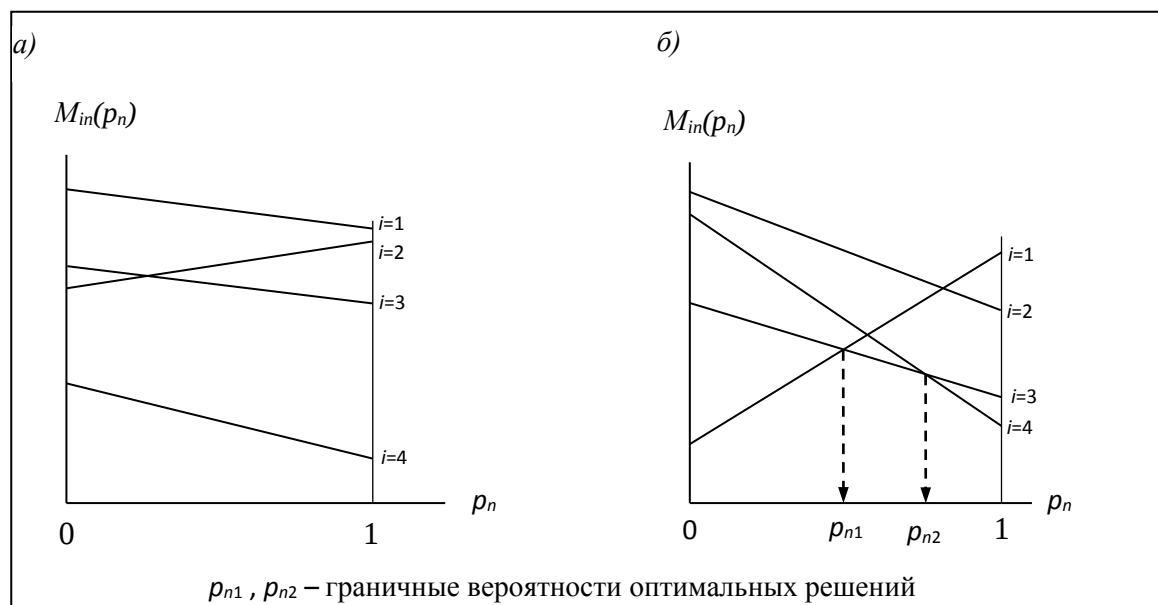


Рисунок 7 – Варианты соотношения зависимостей $M_{in}(p_n)$

Далее вычисляется интегральный вероятностный критерий (ИВК) в последовательности, указанной на рисунке 8.

Блок 1. Формируется матрица частных критериев. Выполняется анализ соответствия решений каждому из принятых к рассмотрению варианту расчетных условий. В случае необходимости решение должно быть оценено с учетом адаптации к данным расчетным условиям. На основании матрицы частных критериев составляется матрица рисков (потерь).

Блок 2. По формулам (9) выполняется расчет коэффициентов линейных уравнений k_{in} и b_{in} .

Блок 3. Анализ зависимостей $M_{in}(p_n)$ для исключения неконкурентных проектных решений (параллельных линий). С использованием правила Крамера или графика необходимо исключить технические состояния, зависимости которых параллельны, а потери больше. Например, на рисунке 6 необходимо исключить состояние $i=1$, параллельное состоянию $i=3$ и уступающее ему по потерям.

Блок 4. Анализ зависимостей $M_{in}(p_n)$ для определения однозначности решений. В некоторых случаях, возможно, что результаты сравнения вариантов решений при всех значениях вероятностей дают однозначный ответ. Тогда наиболее рациональное решение очевидно и необходимо перейти к блоку 6.

Блок 5. Определение координат точек пересечения. Необходимо решить систему линейных уравнений одним из известных способов (последовательным исключением неизвестных, с использованием правила Крамера и т.д.).

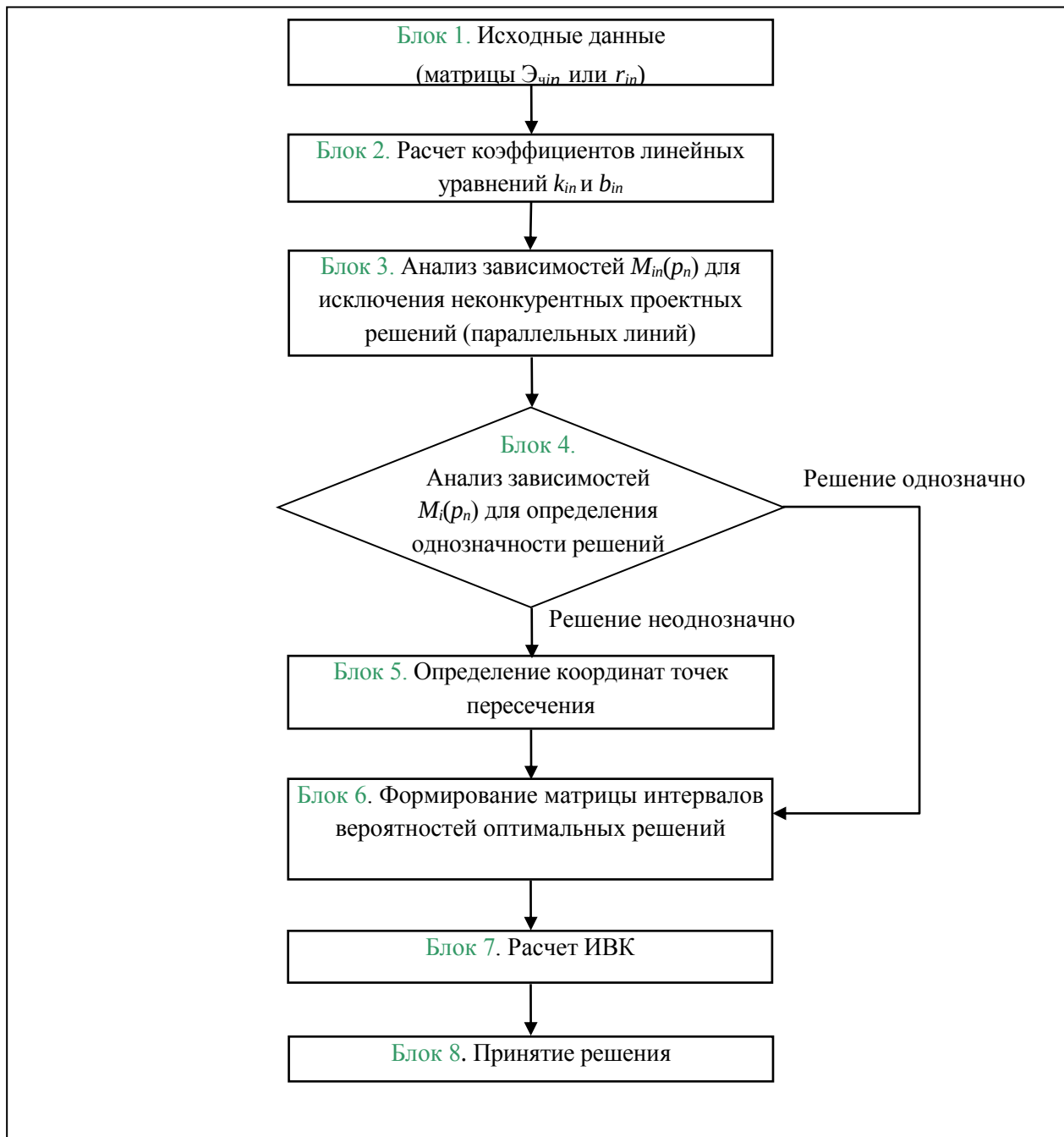


Рисунок 8 – Блок-схема алгоритма расчета интегрального вероятностного критерия

Блок 6. Формирование матрицы интервалов вероятностей оптимальных решений. Необходимо выполнить анализ полученных в блоке 5 координат точек пересечения.

Сначала следует определить принадлежность абсциссы точки пересечения к интервалу $0 \leq p \leq l$. Точки вне интервала исключаются из рассмотрения. Далее выполняется поиск минимальной ординаты, то есть устанавливается решение с минимальными показателями общего критерия анализируемых решений при данном значении вероятности.

Из оставшихся после анализа точек формируется вектор интервалов вероятностей оптимальных решений в данных расчетных условиях. В результате получаем таблицу интервалов изменения вероятности, в которых то или иное решение оптимально (таблица 3).

Таблица 3 – Интервалы вероятностей оптимальных решений и расчет показателей ИВК

Проектное решение	Расчетные условия						$\sum_{j=1}^{j=N} \Delta p_j$
	1	2	3	4	...	N	
1	$(p_n \div p_k)_{11}$	0	0	$(p_n \div p_k)_{41}$	...	0	...
2	0	$(p_n \div p_k)_{22}$	0	$(p_n \div p_k)_{42}$	...	0	...
3	$(p_n \div p_k)_{13}$	0	$(p_n \div p_k)_{33}$	0	...	0	...
4	0	0	0	0	...	$(p_n \div p_k)_{N4}$	...
...	...	...	...	...	...	...	...
I	0	0	$(p_n \div p_k)_{3A}$	$(p_n \div p_k)_{4A}$	...	0	...

Блок 7. Расчет ИВК. Таблица 3 служит основанием для вычисления интегрального вероятностного критерия по формуле

$$\alpha_p = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} \Delta p_j}{N}, \quad (11)$$

где $\Delta p_i = p_k - p_n$, p_k , p_n – значения вероятностей конца и начала интервала оптимального решения соответственно (см. рисунок 7).

В качестве оптимального выбирается вариант с максимальными значениями α_p .

В четвертой главе диссертационной работы автором приведена проверка предложенной методики на примере проекта реконструкции участка железнодорожной линии под скоростное движение с учетом частичной неопределенности. Для примера взят участок, примыкающий к Минску в пределах второго Критского коридора (ст. Красное – ст. Минск, ст. Минск – ст. Негорелое). Процесс принятия оптимального решения осуществлялся в соответствии с приведенным ранее алгоритмом (см. рисунок 4).

В качестве факторов неопределенности рассматривалась стоимость пассажиро-часа ($e_{п-ч}$) и неточность прогноза размеров пассажирских перевозок (П). Были приняты три значения прогнозных размеров пассажирских перевозок и два варианта стоимости пассажиро-часа. В результате сформированы 6 вариантов расчетных условий.

Был выполнен анализ освоения перевозок при существующем и перспективном технических состояниях при увеличении скорости до 200 км/ч.

В результате анализа существующего технического состояния линии и возможных вариантов усиления линии приняты следующие реконструктивные мероприятия:

- 1) увеличение полезной длины приемо-отправочных путей от 850 до 1050 м, что позволит повысить весовую норму поезда от 3200 до 4000 т;
- 2) строительство III главного пути;
- 3) строительство III главного пути совместно с удлинением приемо-отправочных путей.

В рассматриваемом примере вариант удлинения полезной длины приемо-отправочных путей конкурентен во всех случаях, так как увеличение весовой нормы грузового поезда позволит уменьшить эксплуатационные расходы по движению поездов, а вариант с использованием III-го пути в конкретном данном случае не подходит.

В качестве критерия принят минимум суммы приведенных строительно-эксплуатационных затрат и стоимости времени нахождения пассажиров в пути на расчетный год эксплуатации

$$\Delta_{\text{ч}} = (K_{\text{рек}} + K_{\text{пс}} - K_{\text{пс(возв)}}) \cdot E \pm C_t + C'_{\text{п-ч}}. \quad (12)$$

К единовременным затратам, включенным в показатель критерия, отнесены капиталовложения на реконструкцию дороги ($K_{\text{рек}}$) и приобретение подвижного состава ($K_{\text{пс}}$). Принят электропоезд ЭС2Г «Ласточка», имеющий величину допускаемого непогашенного ускорения $0,9 \text{ м/с}^2$. Учтена возвратная стоимость за счет высвобождения используемых пассажирских вагонов и локомотивов ($K_{\text{пс(возв.)}}$).

На основании результатов расчетов показателей критерия для принятых вариантов переустройства в различных расчетных условиях (таблица 4) вычислена матрица рисков (таблица 5).

Таблица 4 – Матрица показателей частных критериев решений в различных расчетных условиях

Проектные решения i	Расчетные условия n					
	$n_{\text{пс}}=10 \text{ п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6$ бел.руб.	$n_{\text{пс}}=20 \text{ п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6$ бел.руб.	$n_{\text{пс}}=30 \text{ п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=6,6$ бел.руб.	$n_{\text{пс}}=10 \text{ п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=13,2$ бел.руб.	$n_{\text{пс}}=20 \text{ п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=13,2$ бел.руб.	$n_{\text{пс}}=30 \text{ п.п.}$ $e_{\text{п-ч}}=13,2$ бел.руб.
	1	2	3	4	5	6
1. Удл. $l_{\text{по}}$	269,334	348,650	482,952	284,214	378,410	527,592
2. III путь	280,982	380,336	477,498	295,862	410,096	522,138
3. Удл. $l_{\text{по}} +$ III путь	289,375	404,270	474,936	304,254	434,03	519,576

С использованием полученных матриц расходов и риска для выбора оптимального решения способов усиления мощности реконструируемой железной дороги, проведены расчеты по различным классическим критериям.

Таблица 5 – Матрица рисков

Проектные решения i	Расчетные условия n					
	$n_{пс}=10$ п.п. $e_{п-ч}=6,6$ бел.руб.	$n_{пс}=20$ п.п. $e_{п-ч}=6,6$ бел.руб.	$n_{пс}=30$ п.п. $e_{п-ч}=6,6$ бел.руб.	$n_{пс}=10$ п.п. $e_{п-ч}=13,2$ бел.руб.	$n_{пс}=20$ п.п. $e_{п-ч}=13,2$ бел.руб.	$n_{пс}=30$ п.п. $e_{п-ч}=13,2$ бел.руб.
	1	2	3	4	5	6
1. Удл. $I_{по}$	0	0	8,016	0	0	8,016
2. III путь	11,648	31,686	2,562	11,648	31,686	2,562
3. Удл. $I_{по}$ + III путь	20,41	55,620	0	20,040	55,620	0

Применение разных критериев при выборе технических параметров железной дороги в условиях неопределенности, в данном случае дает два варианта решений удлинение приемо-отправочных путей и строительство третьего пути с удлинением существующих приемо-отправочных путей, т.е. решение не однозначно.

В качестве поддержки принятия окончательного решения рекомендовано применение интегрального вероятностного критерия ИВК. С помощью матрицы рисков определяются зависимости общего критерия от вероятности реализации вариантов расчетных условий. Эти зависимости имеют линейный характер. Их пересечения позволяют установить границы вероятностей, при которых оптимальное и субоптимальное решения равноценны. Для этого определены интервалы изменения вероятностей оптимальных решений во всех расчетных условиях (рисунок 9).

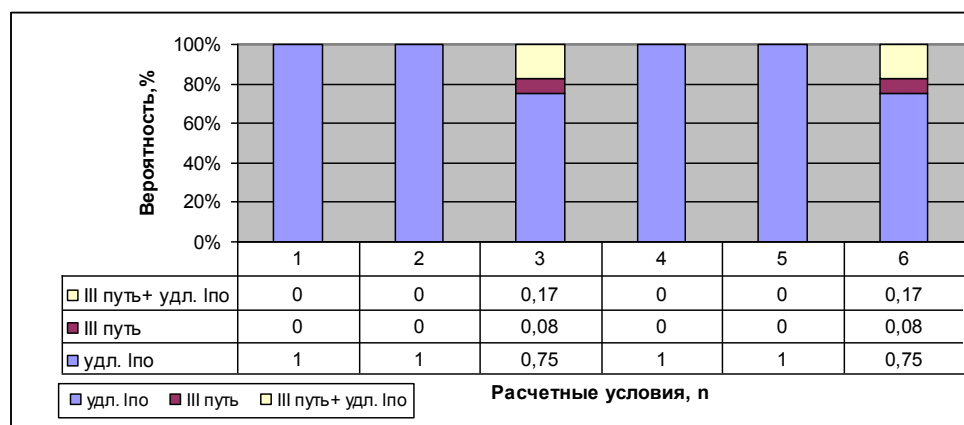


Рисунок 9 – Графическое представление интервалов вероятностей оптимальных решений

Далее вычисляется интегральный вероятностный критерий по формуле (11). На рисунке 10 графически показаны вероятности, с которыми то или иное решение будет оптимальным для рассмотренного примера.

Из приведенного рисунка видно, что с вероятностью 91% для всех принятых расчетных условий за оптимальный следует принимать вариант решения по удлинению приемо-отправочных путей, т.к. для данного решения значение $\alpha = \max \alpha$. Преимущество данного варианта существенно.

Значение вероятностей остальных решений зоны неопределенности составляют 3% и 6% для решений III путь и III путь с удлинением приемо-отправочных путей соответственно. Следовательно, ЛПР может с большей уверенностью принять решение об удлинении приемо-отправочных путей в качестве окончательного варианта реконструкции существующей линии.

Выбор решения в случае анализа вероятностей реализации не отдельных расчетных условий, а значений факторов частичной неопределенности производится аналогично. Различны лишь подходы к формированию векторов граничных вероятностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате исследования получены аналитические зависимости для определения радиусов кривых в условиях смешанного грузового и пассажирского движения при различных типах подвижного состава, предложен алгоритм определения рекомендуемого радиуса и возвышения наружного рельса с учетом индивидуальных условий эксплуатации каждой кривой.

2. Разработана методика технико-экономической оценки увеличения норматива непогашенного ускорения на Белорусской железной дороге, которая реализована на направлении II транспортного коридора Красное – Минск – Брест Белорусской железной дороги при $a_{\text{нп}} = 0,9 \text{ м/с}^2$.

Выполнено сравнение обычного подвижного состава при $a_{\text{нп}} = 0,9 \text{ м/с}^2$ и подвижного состава с наклоном кузова. По данным расчетов более эффективным для Белорусской железной дороги следует считать использование обычного подвижного состава при увеличении нормативного значения непогашенного ускорения до $0,9 \text{ м/с}^2$.

3. Предложены две новых методики расчета стоимости пассажиро-часов:

- на основании сравнения скоростных и пассажирских поездов, курсирующих на реконструируемом направлении;

- на базе затрат на реконструкцию, подвижной состав и эксплуатацию скоростной линии, обуславливающих увеличение скоростей движения, установленных в проекте.

4. Выполнена адаптация и развитие методики выбора решений в проектах железных дорог с учетом частичной неопределенности к условиям задачи по реконструкции линии для скоростного движения, в том числе: уточнение структуры частного критерия, анализ факторов неопределенности при проектах реконструкции железных дорог для скоростного движения,

формализация задачи по определению граничных значений вероятности эффективности проектных решений.

5. Выполнена апробация методики обоснования параметров реконструкции с учетом частичной неопределенности на примере Белорусской железной дороги. Проведенный анализ показал, что наиболее эффективным мероприятием повышение скоростей на участках Минск – Негорелое (направление Минск-Брест), Коханово – Орша (участка Красное-Минск) является удлинение приемо-отправочных путей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Миронов, В. С. Техничко-экономическая эффективность использования вагонов с наклоном кузова в проектах реконструкции железных дорог для скоростного движения поездов / В.С. Миронов, Т.А. Руденко // Вестник Транспорта Поволжья. – 2013. – №6(42). – С. 96– 102.

2. Миронов, В. С. Радиусы круговых кривых для скоростных железных дорог при использовании вагонов с наклоном кузова / В. С. Миронов, Т. А. Руденко // Вестник Транспорта Поволжья. – 2014. – №3(45). – С. 44–50.

3. Дубровская, Т. А. Обоснование параметров реконструкции железной дороги для введения скоростного движения с учетом неопределенности исходной информации / Т. А. Дубровская // Известия Транссиба. – 2019. – № 1(37). – С. 122-129.

Другие издания:

4. Руденко, Т. А. Определение величины дополнительного угла наклона поездов с наклоняемыми кузовами при недостаточном возвышении наружного рельса в кривой для обеспечения уровня безопасности пассажиров / Т.А Руденко // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VI междунар. научн.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 144.

5. Миронов, В. С. Анализ эффективности скоростного движения пассажирских поездов в Республике Беларусь / В.С. Миронов, Т.А Руденко // материалы III междунар. научн.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса». – Гомель : БелГУТ, 2013. – С. 300 – 302.

6. Дубровская, Т. А. Выбор параметров реконструкции железных дорог для скоростного движения с учетом неопределенности исходной информации / Т. А. Дубровская // Материалы VII междунар. научн.-практ. конф. «Проблемы безопасности на транспорте». – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 241 – 242.

7. Дубровская, Т. А. Определение нормативных радиусов кривых для скоростных железных дорог с учетом условий эксплуатации / Т. А. Дубровская // Материалы VIII междунар. научн.-практ. конф. «Проблемы безопасности на транспорте». – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 24 – 26.

8. Миронов, В. С. Сфера эффективности скоростного пассажирского транспорта на железных дорогах / В.С. Миронов, Т. А Дубровская // Сб. трудов Девятой междунар. научн.-практ. конф. «Транспортная инфраструктура Сибирского региона». – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – С. 534 – 538.

13 Дубровская, Т.А. Определение стоимостъ пассажи́ро-часа при введении скоростного движения на существующих линиях / Т. А. Дубровская // Вестник экономики транспорта и промышленности. – 2018. – № 62 (Спецвыпуск). – С. 180 – 181.

14 Миронов, В. С. Повышение скоростей движения на существующих линиях / В.С. Миронов, Т. А Дубровская // Материалы IV междунар. научн.-практ. конф. «Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплекса». – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 43 – 45.

15 Дубровская, Т.А. Выбор подвижного состава при введении скоростного движения на существующих линиях / Т. А Дубровская // М-лы 78 междунар. научн.-практ. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Днепр : ДИИТ, 2018. – С. 268 – 269.

16 Ерофеев, А. А. Проблемы повышения скорости движения поездов на существующих железнодорожных линиях / А. А. Ерофеев, П. В. Ковтун, Т. А. Дубровская // Вестник БелГУТа: наука и транспорт. – 2018. – № 181. – С. 57–60.

Дубровская Татьяна Алексеевна

**ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ
ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ПОЕЗДОВ
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

05.22.06 – Железнодорожный путь,
изыскание и проектирование железных дорог

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать _____. Заказ - _____. Формат бумаги 60х90/16.

Усл. печ.л. – 1,75

Тираж 80 экз.

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, УПЦ ГИ РУТ (МИИТ)